

情境二 直线外形轴类零件加工

在数控车床上加工的零件形状主要以回转类零件为主，因此如图 2-1 所示结构的零件是会经常遇到的，而外圆和端面加工又是零件加工的基本步骤和前期工步，所以应首先掌握零件基本结构的加工工艺、加工特点、要求及方法，以及控制机床动作的加工程序和编程指令。

工作任务 1 短轴加工

任务描述

图 2-1 所示为工件的实体图，图 2-2 为零件图，工件的毛坯为 $\phi 60\text{mm} \times 105\text{mm}$ 的 45 钢。试编写其数控车加工程序并进行加工。

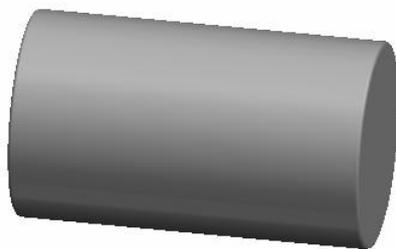


图 2-1 短轴实体图

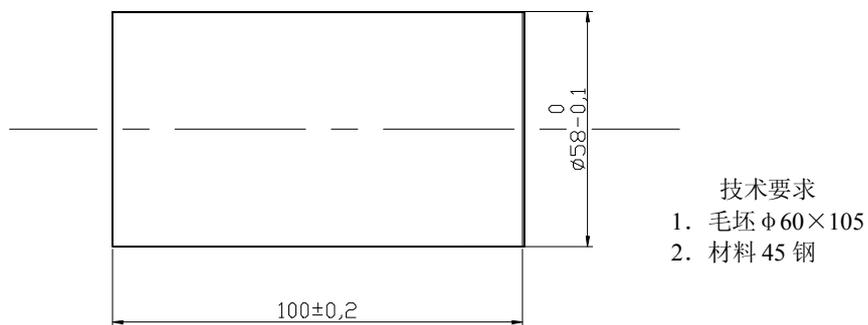


图 2-2 短轴

任务目标

【知识点】

- 走刀路线
- G01、G00 代码



【技能点】

- 正确制定外圆和端面的加工工艺
- 按零件图样要求加工外圆及端面

任务载体

一、外圆及端面加工的工艺分析

在车削加工中最常见、最基本的加工就是车外圆。而且车外圆与车床上其他的加工形式有着密切的关系。因此，必须熟练掌握车外圆技术。

（一）零件的装夹

正确安装的目的就是使工件在整个切削过程中始终保持正确的位置，工件安装的质量和速度直接影响到工件的加工质量和效率。同时，所有加工表面都位于零件的外圆上时，加工时将产生较大的切削力。车外圆时主切削力的方向与工件轴线不重合，必然要影响到工件的稳固性。在数控车床上进行外圆加工一般可采用下面几种装夹方式：

- （1）使用普通三爪卡盘安装，工件安装后一般不需要校正，只控制长度即可。
- （2）利用软卡爪，并适当增加夹持面的长度，以保证定位准确，装夹稳固。
- （3）利用尾座及顶尖做辅助，采用一夹一顶方式装夹，最大限度地保证零件的稳固性。

（二）选择刀具

外圆加工是最基本、最简单的加工步骤，所选用的刀具其结构和种类也较普通。

- （1）选择通用标准刀具，选择余地较大。
- （2）尽量选择机夹不重磨刀具，有利于标准化选择。
- （3）可根据零件材料选择特殊刀具。

（三）加工方式的选择

加工路线主要是根据零件的形状和毛坯来确定的。当零件精度较低且余量较小时，可不分粗、精车一刀车出，加工效率较高；当零件余量较大时，不分粗、精车会使刀具前面压力过大出现扎刀和折断刀具的现象，应采用分次进刀的粗车方式，达到降低切削力和断屑的目的。同时注意尽量选择强度较高的刀具。

（四）切削用量的选择

背吃刀量、进给速度和切削速度是切削用量三要素，受加工过程中切削力的影响，切削速度大小可以调节的范围较小。要增加切削稳定性，提高切削效率，就要在背吃刀量和进给速度上面做文章。在普通车床上进行外圆加工，切削速度和进给速度的选择相对较低，一般取 80~100 米/分钟。数控车床的各项精度要远高于普通车床，在切削用量的选取上就可以选择相对较高的速度。

二、数控车床坐标系的确定

数控机床的编程是在坐标系中完成的，而刀具的运动也是在坐标系中进行的。首先要了解一下数控车床坐标系的确定。

在数控机床最基本的有机床零点、机床参考点、工件零点以及对刀点等(如图 2-3 所示)。为了更好地掌握数控编程技术及零件的加工技术，要对机床中各点的位置、作用及关系有明

确的认识。

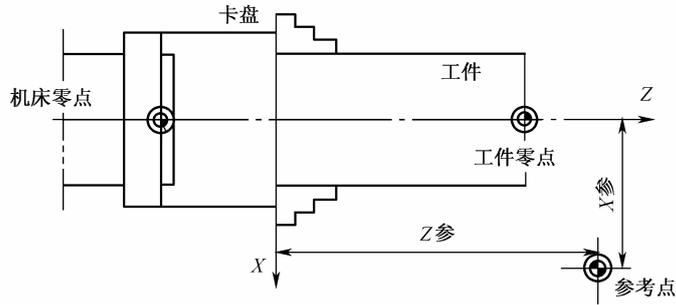


图 2-3 数控车床各点的关系

(一) 基本编程知识

1. 机床坐标轴

为简化编程和保证程序的通用性，对数控机床的坐标轴和方向命名制定了统一的标准，规定直线进给坐标轴用 X 、 Y 、 Z 表示，称基本坐标轴。 X 、 Y 、 Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡尔定则决定。如图 2-4 所示，图中大拇指指向 X 轴的正方向，食指指向 Y 轴的正方向，中指指向 Z 轴的正方向。

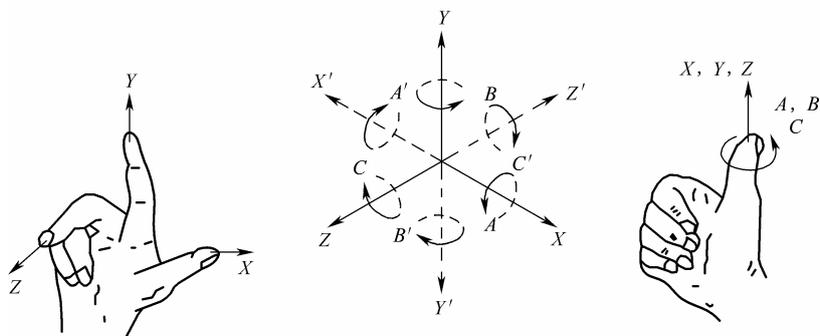


图 2-4 笛卡尔右手直角坐标系

围绕 X 、 Y 、 Z 轴旋转的圆周进给坐标轴分别用 A 、 B 、 C 表示，根据右手螺旋定则，如图 2-4 和图 2-5 所示，以大拇指指向 $+X$ 、 $+Y$ 、 $+Z$ 方向，则食指、中指指向圆周进给运动的 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 方向。

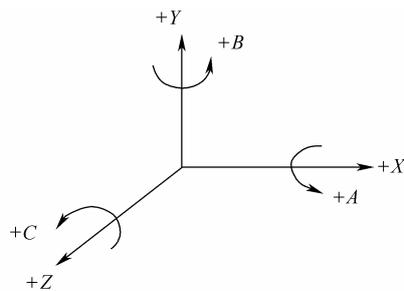


图 2-5 右手笛卡尔坐标系

2. 运动方向的确定

数控机床的进给运动，有的由主轴带动刀具运动来实现，有的由工作台带动工件运动来实现。而上述坐标轴的正方向是假定工件不动，刀具相对工件做进给运动的方向。如果是刀具不动，工件动则用加“'”的字母表示，按相对运动关系，工件运动的正方向恰好与刀具运动的正方向相反，则有：

$$\begin{aligned} +X &= -X' & +Y &= -Y' & +Z &= -Z' \\ +A &= -A' & +B &= -B' & +C &= -C' \end{aligned}$$

同样两者的负方向运动也彼此相反。

机床坐标轴的方向取决于机床的类型和各组成部分的布局，对车床而言：

(1) Z 轴。 Z 轴与主轴轴线重合，设 Z 轴远离工件（即增大零件与刀具之间的距离）的方向为 Z 轴的正方向。

(2) X 轴。 X 轴垂直于 Z 轴，对应于刀架的径向移动，设 X 轴远离工件的轴心线（即增大零件与刀具之间的距离）的方向为 X 轴的正方向。

(3) Y 轴。 Y 轴（车床上通常为虚设轴）与 X 轴和 Z 轴一起构成遵循右手笛卡尔定则的坐标系。

上述运动方向如图 2-6 和图 2-7 所示。

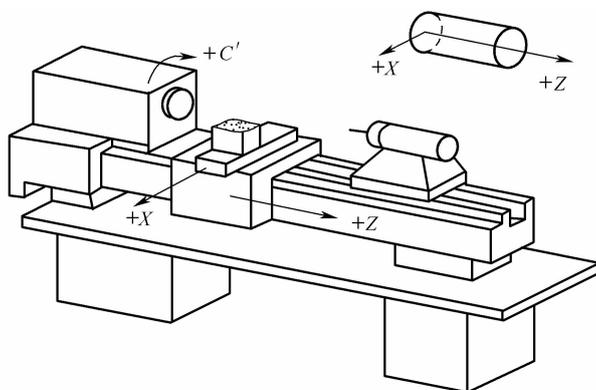


图 2-6 简易数控车床

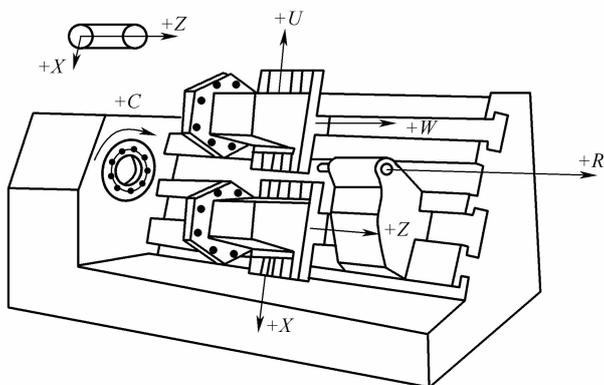


图 2-7 具有可编程尾座的车削中心

(二) 机床坐标系

1. 机床原点

机床坐标系的原点称为机床原点或机床零点（见图 2-8）。在机床设计、制造和调整后，这个原点就被确定下来，是固定的点。机床原点是数控机床进行加工运动的基准参考点。

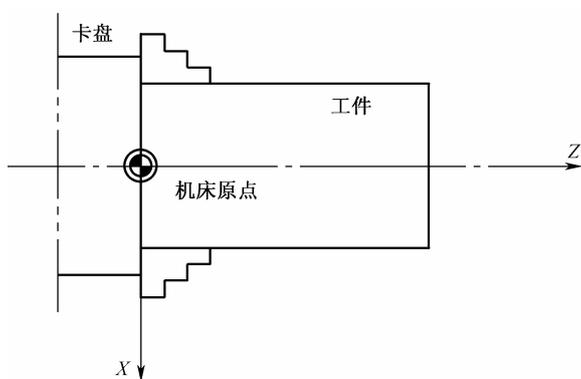


图 2-8 机床原点

数控装置上电时并不知道机床零点，为了正确地在机床工作时建立机床坐标系，通常在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点（测量起点），机床启动时，首先要进行机动或手动回参考点，以建立机床坐标系。机床零点实际上是通过返回（或称寻找）机床参考点来完成确定的。

2. 机床参考点

机床参考点可以与机床零点重合，也可以不重合（车床中一般不重合），它是相对于机床零点的一个可以设定的参数值（见图 2-9），它由厂家测量并输入至系统中，用户不得随意更改。机床回到了参考点位置，也就知道了该坐标轴的零点位置，找到了所有坐标轴的参考点，也就建立起了机床坐标系。因此，机床参考点是用于对机床运动进行检测和控制的固定位置点。

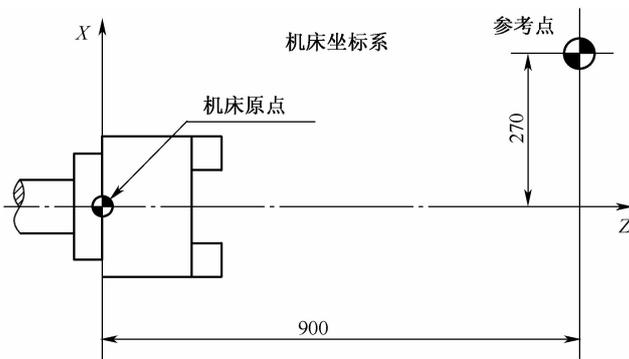


图 2-9 机床参考点

3. 工件零点

工件零点（也称编程原点）是由编程人员在编程时根据加工零件图样及加工工艺要求选

定的编程坐标系的原点。在选择工件坐标系时，应尽可能将工件零点选择在工艺定位基准上，编程坐标系中各轴的方向应该与所使用的数控机床相应的坐标轴方向一致，这对保证加工精度有利。如图 2-10 所示为车削零件的工作零点。

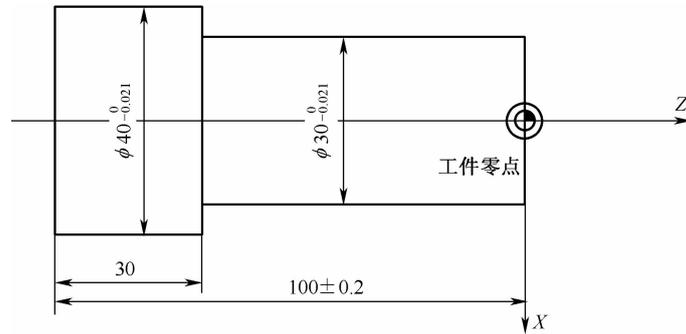


图 2-10 工件零点

工作零点选择要尽量满足编程简单，尺寸换算少，引起的加工误差少等条件。一般情况下，选在尺寸标注的基准或定位基准上。对车床而言，工件坐标系零点一般选在工件轴线与前端面或后端面的交点上。

4. 工件坐标系

工件坐标系是编程人员在编程时使用的，选择工件上的某一已知点为原点（也称程序原点），建立一个新的坐标系，称为工件坐标系（如图 2-11 所示为车削零件的工件坐标系）。工件坐标系一旦建立便一直有效，直到有新的坐标代替为止。

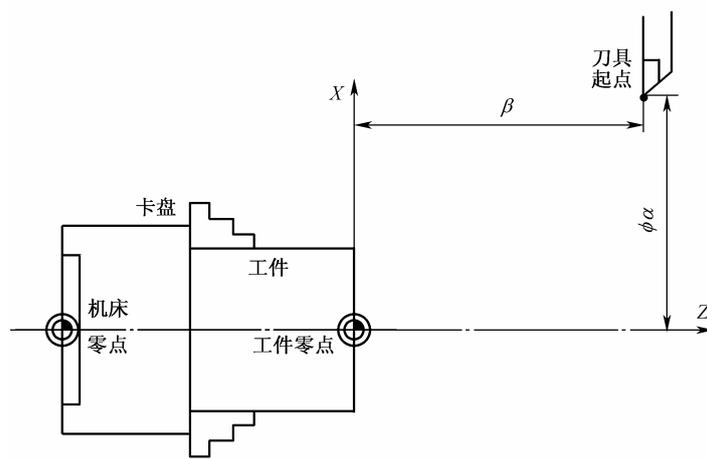


图 2-11 工件坐标系

不同数控系统定义工件坐标系的指令及执行细节不同，就如同其他 G 指令一样，指令执行差异很大。FANUC 系统是通过 G50~G59 指令来定义工件坐标系。其中 G53~G59 是依据机床坐标系来定义的，而 G50 是依刀具当前位置定义。

5. 换刀点

换刀点是零件程序开始加工或加工过程中更换刀具的相关点（见图 2-12）。设立换刀点的

目的是在更换刀具时让刀具处于一个比较安全的区域，对刀点可在远离工件和尾座处，也可在便于换刀的任何地方，但该点与程序原点之间必须有确定的坐标关系。

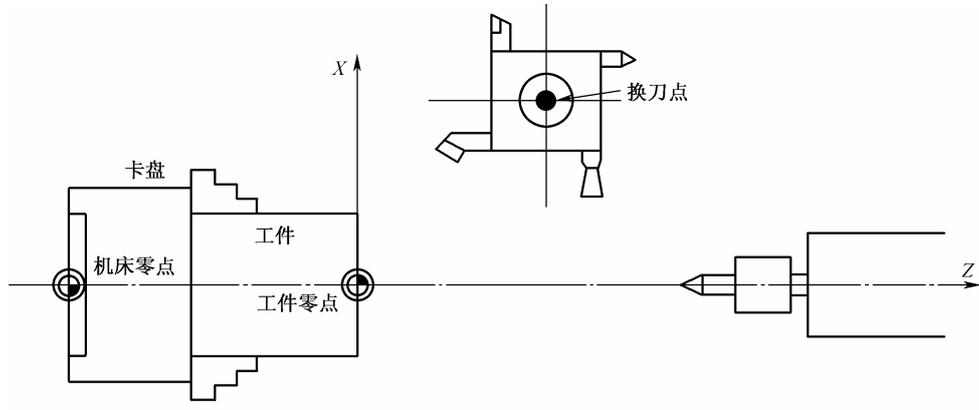


图 2-12 换刀点

6. 零点偏置

现代 CNC 数控系统一般都要求机床在回零操作后（即回机床原点或机床参考点），并通过手动或程序命令初始化控制系统后，才能启动。机床参考点和机床原点之间的偏移值存放在机床常数中。当工件在机床上固定以后，程序原点与机床参考点的偏移量必须通过测量来确定，现代 CNC 系统一般都配有工件测量头，在手动操作下能准确地测量该偏移量，存入 G54 到 G59 原点偏置寄存器中，供 CNC 系统原点偏移计算用。在没有工件测量头的情况下，程序原点位置的测量要靠试刀的方式进行。

图 2-13 描述了一个零件采用不同的工件坐标系来加工时零点偏置的选用方法。

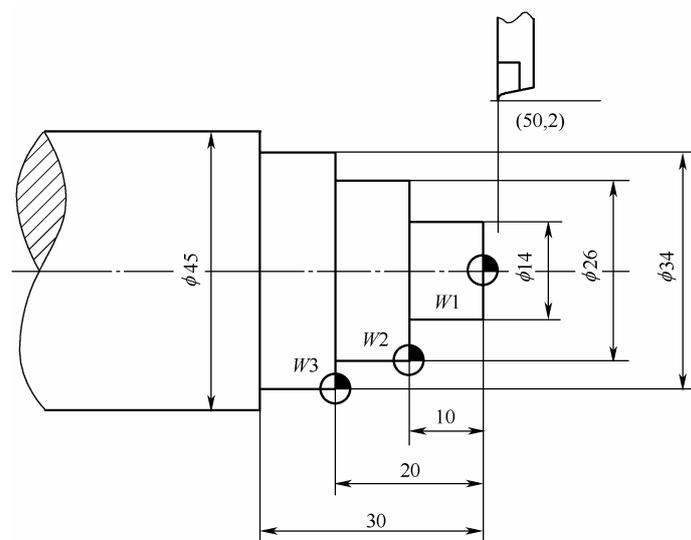


图 2-13 零点偏置

采用 G54 到 G59 实现原点偏移的有关指令为：

首先设置 G54 到 G56 原点偏移寄存器:

对于 W1: G54 X0 Z0;
 对于 W2: G55 X26.0 Z-10.0;
 对于 W3: G56 X34.0 Z-20;

然后调用:

```
N10 G50 G54
..... //加工第一个零件
N40 G55
..... //加工第一个零件
N80 G56
..... //加工第一个零件
```

显然,对于多程序原点偏移,采用 G54 到 G59 原点偏移寄存器存储所有程序原点与机床参考点的偏移量,然后在程序中直接调用是很方便的。

同时,采用程序原点偏移的方法还可实现零件的空运行试切加工,方法是:将程序原点向 Z 轴方向偏移,使刀具在加工过程中远离一个安全距离。

(三) 编程指令

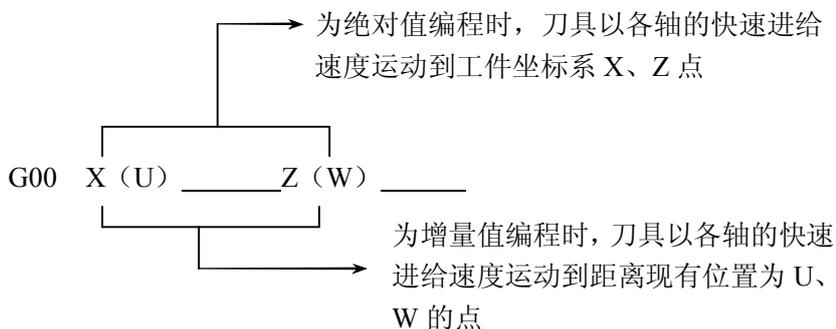
数控加工中的动作在加工程序中用指令的方式予以规定,准备功能 G 指令是用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作。

为了完成图 2-1 所示零件的加工先来学习几个基本加工指令代码。

1. 快速点定位指令 G00

G00 指令是模态代码,它命令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。它只是快速定位,而无运动轨迹要求,且无切削加工过程。

指令书写格式:



加工如图 2-14 所示的零件,要求刀具快速从 A 点移动到 B 点,编程格式如下:

绝对值编程为:

G00 X25.0 Z2.0

增量值编程为:

G00 U-25.0 W0

说明:

(1) G00 为模态指令,可由 G01、G02、G03 或 G33 功能注销;

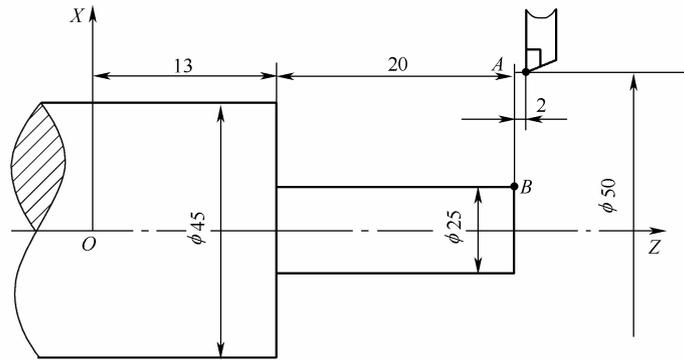


图 2-14 快速点定位

(2) 移动速度不能用程序指令设定，而是由厂家预先设置的；

(3) G00 的执行过程：刀具由程序起始点加速到最大速度，然后快速移动，最后减速到终点，实现快速点定位；

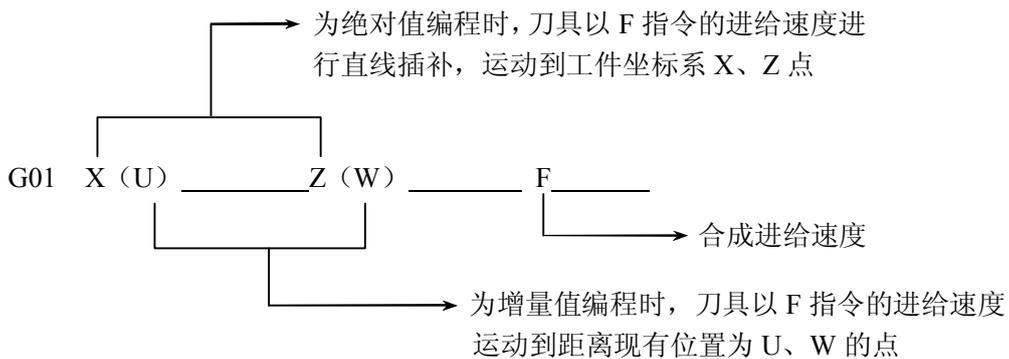
(4) 刀具的实际运动路线有时不是直线，而是折线，使用时注意刀具是否和工件干涉；

(5) G00 一般用于加工前的快速定位或加工后的快速退刀。

2. 直线插补指令 G01

G01 指令是模态代码，它是直线运动命令，规定刀具在两坐标或三坐标间以插补联动方式按指定的 F 进给速度做任意的直线运动。

指令书写格式：



G 指令格式中如果省略 X (U)，则表示为外圆加工；如果省略 Z (W)，则表示为端面加工。

直线插补指令应用如图 2-15 所示。

使用绝对编程：(O 点为工件原点) 从 A→B→C

G01 X25.0 Z33.0 F0.3

G01 X25.0 Z13

使用增量值编程：从 A→B→C

G01 U-25.0 W0 F0.3

G01 U0 W-20

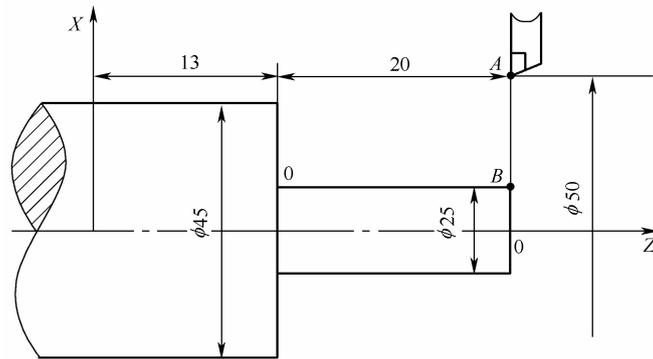


图 2-15 直线插补指令

例 1: 如图 2-16 所示, 用 G00、G01 指令进行编程。

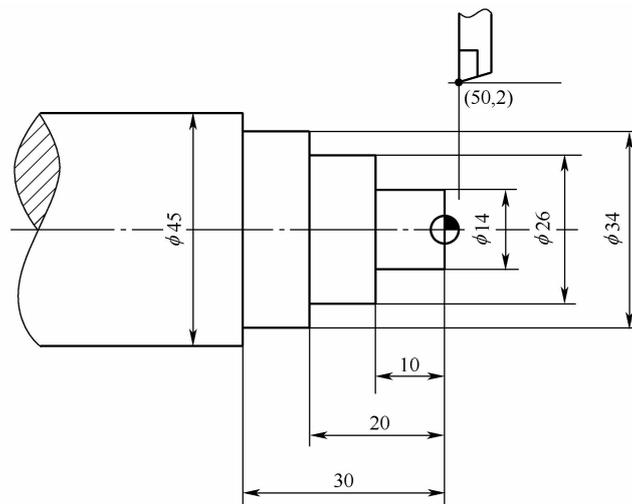


图 2-16 G00、G01 编程实例

参考程序如表 2-1 所示。

表 2-1 参考程序

程序	说明
O0001;	
N10 M03 T0101 S600;	以 600 转启动主轴正转, 选择 1#刀及 1#刀补
N20 G00 X14.0 Z2.0;	快速移到起刀点, Z 轴 2mm
N30 G01 X14.0 Z-10.0 F0.3;	加工 $\phi 14$ 外圆
N40 X26.0;	退刀
N50 Z-20.0;	加工 $\phi 26$ 外圆
N60 X34.0;	退刀
N70 Z-30.0;	加工 $\phi 34$ 外圆
N80 G00 X100.0 Z10.0;	回对刀点
N90 M05;	主轴停
N100 M30;	主程序结束并复位

说明:

- (1) G01 指令后的坐标值取绝对值编程还是取增量值编程, 由编程者根据情况决定;
- (2) 进给速度由 F 指令决定。F 指令也是模态指令, G00 指令不能取消 F 指令。如果在 G01 程序段之前的程序段没有 F 指令, 且现在的 G01 程序段中没有 F 指令, 则机床不运动。因此, G01 程序中必须含有 F 指令;
- (3) 程序中 F 指令(进给速度)在没有新的 F 指令以前一直有效, 不必在每个程序段中都写入 F 指令;
- (4) G01 为模态指令, 可由 G00、G02、G03 或 G33 功能注销。

工作过程

加工如图 2-17 所示的短轴。

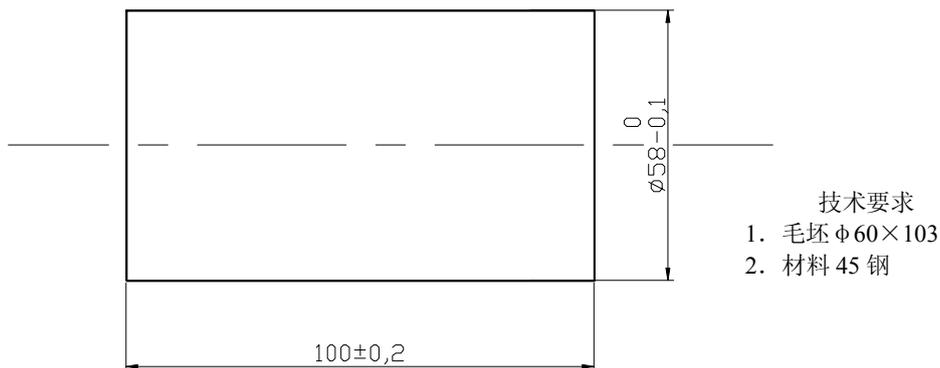


图 2-17 短轴

一、工艺分析

(一) 分析图纸要求, 按先粗后精、先主后次的加工原则, 确定加工路线

(1) 此零件为回转类工件, 外圆有公差要求, 没有表面粗糙度要求。因此选用三爪卡盘两次装夹来加工此工件。

(2) 选取工件右端面中心为工件坐标系原点。

(3) 路线为: 车端面——粗精车大外圆 $\phi 58\text{mm}$ ——反头装夹完成总长 100mm 粗精车左端外圆完成。

(二) 合理选择切削用量(表 2-2)

表 2-2 切削用量

切削表面	切削用量	主轴转速 S (r/min)	进给速度 f (mm/r)
粗车外圆及端面		600	0.25
精车外圆及端面		800	0.15



(三) 编写加工程序(表 2-3)

表 2-3 参考程序

程序	注释
O0002;	建立程序号
N10 M03 T0101 S600;	主轴正转转速为 600 转, 选择 1#刀及刀补
N20 G00 X62.0 Z2.0;	刀具快速移动到定刀点
N30 Z0;	移近工件
N40 G01 X-1.0 F0.15;	切右端面
N50 G00 X58.0 Z2.0;	退刀到切外圆起点
N60 G01 Z-60.0 F0.15;	车 $\phi 58$ 外圆
N70 X62.0;	退刀
N80 G00 X100.0 Z100.0;	快速退到换刀点
N90 M05;	主轴停
N100 M00;	程序暂停, 工件调头
N110 M03 T0101 S600;	主轴正转转速为 600 转, 选择 1#刀及刀补
N120 G00 X62.0 Z0;	刀具快速移动到定刀点
N130 G01 X-1.0 F0.15;	切端面
N140 G00 X58.0 Z2.0;	退刀到切外圆起点
N150 G01 Z-42.0;	车 $\phi 58$ 外圆
N160 X60.0;	退刀
N170 G00 X100.0 Z100.0;	快速退到换刀点
N180 M30;	程序停并返回程序开始

相关知识

一、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。

(一) 每转进给量

编程格式: G99 F~

F 后面的数字表示的是主轴每转进给量, 单位为 mm/r。

例: G99 F0.2 表示进给量为 0.2 mm/r。

(二) 每分钟进给量

编程格式: G98 F~

F 后面的数字表示的是每分钟进给量, 单位为 mm/min。

例: G98 F100 表示进给量为 100mm/min。

二、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 2-18 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：

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

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

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

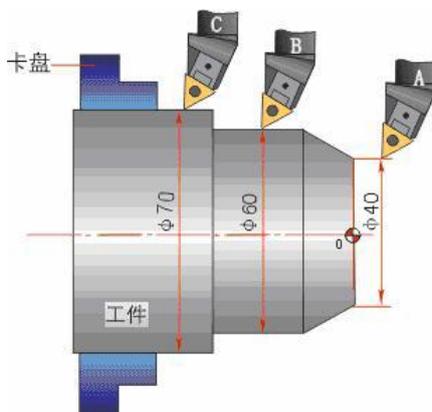


图 2-18 恒线速切削方式

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为 3000 r/min。

三、T 功能

T 功能指令用于选择加工所用刀具。

编程格式：T~

T 后面通常有两位数表示所选择的刀具号码。也有时 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。

四、M 功能

辅助功能也称 M 功能，它是用于控制零件程序的走向，及用来指示机床辅助动作及状态的功能。它由 M 及其后面的数字组成。其特点是靠继电器的通断来实现其控制过程，M 功能可分为前作用 M 功能和后作用 M 功能。前作用 M 功能：在程序段编制的轴运动之前执行。后作用 M 功能：在程序段编制的轴运动之后执行。

M00：程序暂停；当 CNC 执行 M00 指令时，将暂停执行当前程序，并且将保持现有的模态信息不变，机床进给停止，以方便操作者进行刀具和工件的测量、调速、工件调头等操作。欲继续执行后续程序，重按“循环启动”键即可。M00 为非模态的后作用 M 功能。

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

M03：主轴顺时针旋转；

M04：主轴逆时针旋转；

M05：主轴旋转停止。

M03、M04 为模态前作用 M 功能。M05 为模态后作用 M 功能。三者之间可相互注销。

M08：冷却液开；为模态前作用 M 功能。

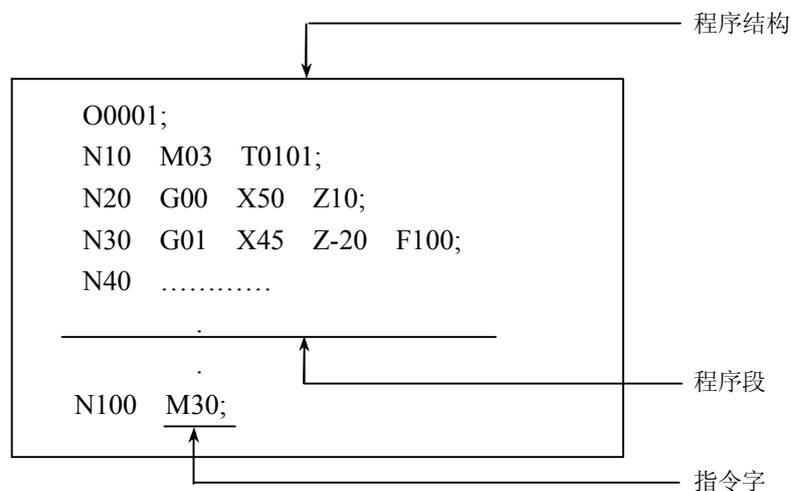
M09：冷却液关；为模态后作用 M 功能。

M02：程序结束；当 CNC 执行 M02 时，机床的主轴、进给、冷却液也会停止，加工结束。且光标停留在停止指令 M02 上。如要重新运行则必须重新调用该程序后，再按“循环启动”键。M02 为非模态的后作用 M 功能。

M30：程序停止，M30 和 M02 的基本功能相同，只是 M30 在程序结束后还具有控制光标返回到零件程序头（O）的作用。若要重新执行该程序只需按一下“循环启动”键即可。

五、零件程序的结构

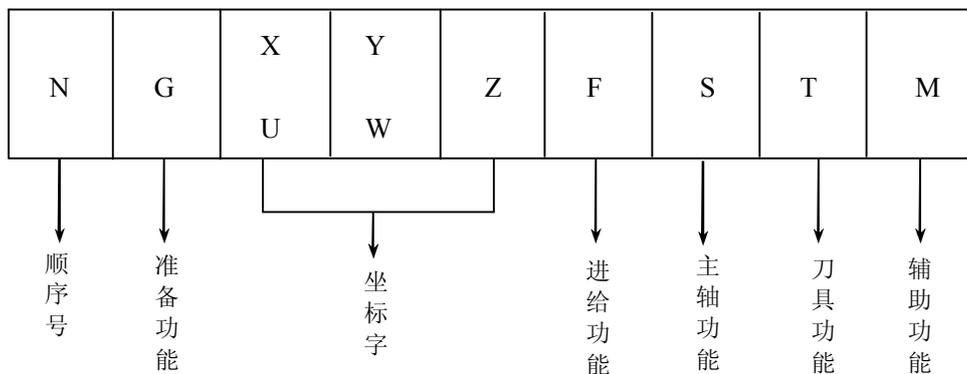
一个零件程序是一组被传送到数控装置中去的指令和数据，这个零件程序是由遵循一定结构、句法和格式规则的若干个程序段组成的，而每个程序段则是由若干个指令字组成的。



（一）程序段的格式

一个程序段定义一个将由数控装置执行的指令行。

程序段的格式定义了每个程序段中功能字的句法，其结构如下：



（二）程序指令字的格式

一个指令字是由地址符（指令字符）和带符号（如定义尺寸的字）或不带符号的数字数据组成的（如准备功能字 G 代码）。程序中不同的指令字符及其后数值确立了每个指令字符的含义。在数控程序段中包含的主要指令字符如表 2-4 所示。

表 2-4 指令字符一览表

机能	地址	意义
零件程序号	O	程序编号 (0~9999)
程序段号	N	程序段号 (N0~N...)
准备机能	G	指令动作方式 (直线、圆弧等)
尺寸字	X, Y, Z, U, V, W, A, B, C	坐标轴的移动
	R	圆弧半径、固定循环的参数
	I, J, K	圆弧终点坐标
进给速度	F	进给速度指定
主轴功能	S	主轴旋转速度指定
刀具功能	T	刀具编号选择
辅助功能	M	机床开、关及相关控制
暂停	P, X	暂停时间指定
程序号指定	P	子程序号指定
重复次数	L	子程序的重复次数
参数	P, Q, R, U, W, I, K, C, A	车削复合循环参数
倒角控制	C, R	自动倒角参数



(三) 程序的结构

一个零件程序必须包括起始符和结束符。

一个零件程序是按程序段的输入顺序执行的，而不是按程序段号的顺序来执行的，因此建议按升序输入程序段号。

六、功能代码

准备功能 G 又称“G 功能”或“G 代码”，是由地址字和后面的两位数来表示的，它用来规定刀具和工件的相对运动轨迹、机床坐标系、坐标平面、刀具补偿、坐标偏置等多种加工操作，如表 2-5 所示。

表 2-5 FANUC 0 系统准备功能

G 代码	组别	功能
G00	01	快速定位
◆G01		直线插补
G02		圆弧插补
G03		逆圆插补
G04	00	暂停
G17	16	XY 平面选择
G18		ZX 平面选择
G19		YZ 平面选择
G20	06	英寸输入
◆G21		毫米输入
G28	00	返回刀具参考点
G29		由参考点返回
G33	01	螺纹切削
G34		变螺距螺纹切削
◆G40	07	刀尖半径补偿取消
G41		左刀补
G42		右刀补
G50	00	坐标系设定；最高主轴速度限定
G52		局部坐标系设定
G53		机床坐标系设定
◆G54	14	坐标系设定 1
G55		坐标系设定 2
G56		坐标系设定 3
G57		坐标系设定 4
G58		坐标系设定 5
G59		坐标系设定 6
G65	00	宏程序调用
G66	12	宏程序模态调用
G67		取消宏程序模态调用

续表

G 代码	组别	功能
G70	00	精车循环
G71		粗车外径复合循环
G72		粗车端面复合循环
G73		固定形状粗加工复合循环
G74		端面深孔钻削循环
G75		外径、内径钻削循环
G76		螺纹切削复合循环
G80	10	取消固定钻削循环
G83		端面钻削循环
G84		端面攻丝循环
G86		端面镗孔循环
G87		侧面钻削循环
G88		侧面攻丝循环
G90	01	单一形状外径、内径切削循环
G92		螺纹切削循环
G94		端面车削循环
G96	02	恒线速切削
◆G97		取消恒线速切削
G98	05	每分钟进给
◆G99		每转进给

说明：1. 此“◆”号为默认 G 代码，即在机床系统上电即被初始化为该功能。

2. 在同一程序段中可以指定不同组的几个 G 代码且与顺序无关；若在同一程序中指令同一组的 G 代码，则后一个 G 代码有效。不同系统的 G 代码并不一致，即使同型号的数控系统，G 代码也未必完全相同，编程时一定以系统的说明书所规定的代码进行编程。

G 功能根据功能的不同分成若干组，其中 00 组的 G 功能称为非模态 G 指令，其余组称为模态 G 功能。

(1) 模态功能代码。一组可相互注销的功能，这些功能一旦被执行，则一直有效，直到被同一组的功能代码注销为止。

(2) 非模态功能代码。只在所规定的程序段中有效，程序段结束时被注销，也称为一次性代码。

工作任务 2 阶梯轴

任务描述

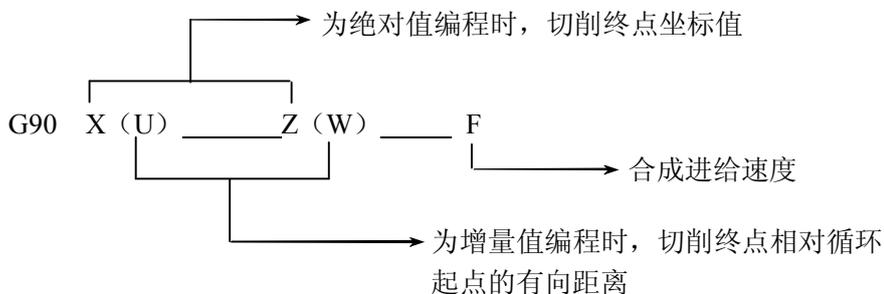
图 2-19 所示为工件的实体图，图 2-20 为零件图，工件的毛坯为 $\phi 45\text{mm} \times 50\text{mm}$ 的 45 钢。试编写其数控车加工程序并进行加工。

一、固定循环指令

(一) 单一形状固定循环

1. 外圆切削循环 (G90)

格式:



如图 2-21 所示, 刀具从循环起点开始按矩形循环, 最后又回到循环起点。图中虚线表示快速运动, 实线表示按 F 指定的工作进给速度运动。其加工顺序按 1、2、3、4 进行。

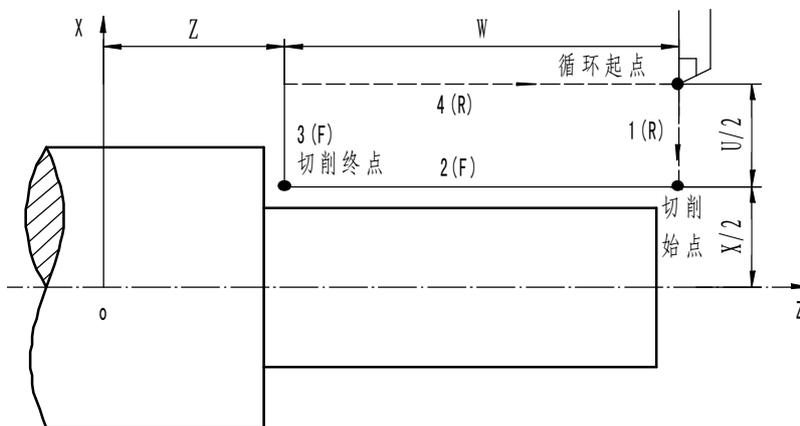


图 2-21 外圆切削循环

例 2: 加工如图 2-22 所示的工件, 编写加工程序。

其加工程序如下:

.....

N50 G90 X40.0 Z20.0 F0.3; (A→B→C→D→A)

N60 X30.0; (A→E→F→D→A)

N70 X20.0; (A→G→H→D→A)

.....

说明:

(1) 在固定循环切削过程中, M、S、T 等功能都不能改变; 如需改变, 必须在 G00 或 G01 的指令下变更, 然后再指令固定循环。

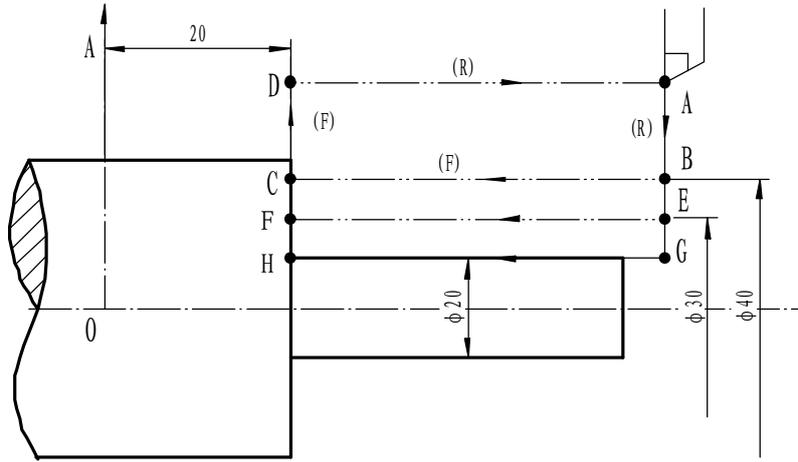
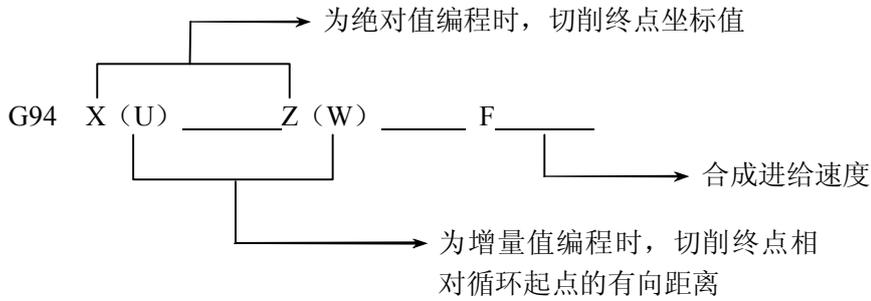


图 2-22 外圆切削循环加工

- (2) G90 循环每一步吃刀加工结束后刀具均返回起刀点。
- (3) G90 循环第一步移动为 X 轴方向移动。

2. 端面切削循环 (G94)

格式:



如图 2-23 所示, 刀具从循环起点开始按矩形循环, 其加工顺序按 1、2、3、4 进行。

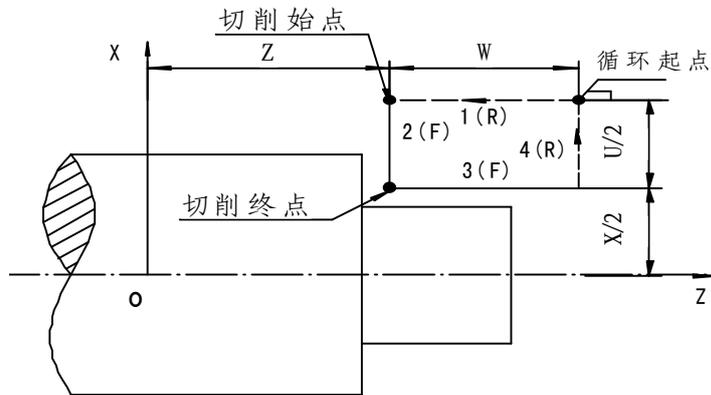


图 2-23 端面切削循环

说明: G94 循环与 G90 循环最大区别在于, G94 第一步先走 Z 轴, 而 G90 则是先走 X 轴。
例 3: 加工如图 2-24 所示零件, 编写加工程序 (见表 2-6)。

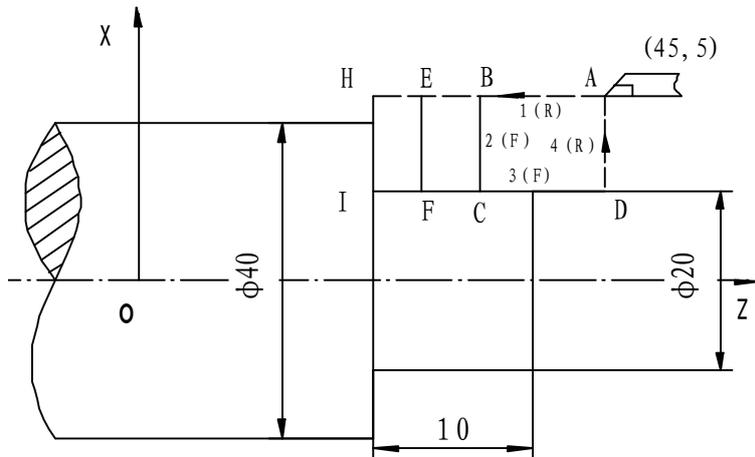


图 2-24 G94 切削循环编程

表 2-6 参考程序

程序	说明
O0004;	
N10 M03 T0101 S500;	主轴正转, 选择 1#刀及 1#刀补
N20 G00 X45.0 Z5.0;	快速移动到循环加工起点
N30 G94 X20.0 Z-3.5 F0.3;	第一次循环加工, A→B→C→D→A
N40 X20.0 Z-7.0;	第二次循环加工, A→E→F→D→A
N50 X20.0 Z-10.0;	第三次循环加工, A→H→I→D→A
N60 M05;	主轴停
N70 M30;	主程序结束并复位

工作过程

一、工艺分析

(1) 根据图 2-20 的图纸要求, 按照先粗后精的原则安排加工路线。为避免重复定位误差, 一次装夹完成工件的粗精加工。

(2) 根据零件的轮廓形状, 选用一把装有 80°菱形刀片的 93°外圆车刀加工。各加工部位的粗精加工均采用同一把刀完成。

(3) 工件结构简单, 左端不加工有足够的定位夹持长度, 采用三爪自定心卡盘一次装夹完成。

(4) 选取工件右端面回转中心为工件坐标系原点。

二、切削参数

切削参数如表 2-7 所示。

表 2-7 切削参数

切削用量	主轴转速 S (r/min)	进给速度 f (mm/r)
粗加工	600	0.3
精加工	1200	0.1

三、参考程序

图 2-20 的 G90 外圆切削循环加工编程实例如图 2-25 所示，参考程序见表 2-8。

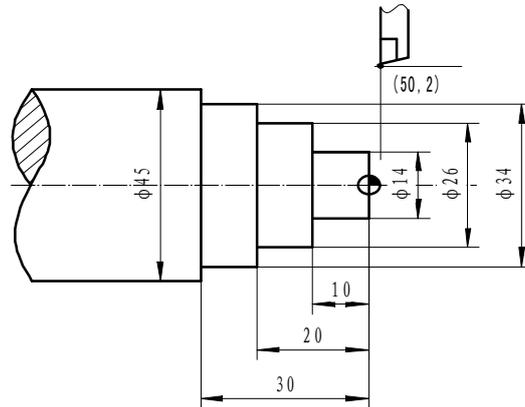


图 2-25 G90 外圆切削循环加工编程实例

表 2-8 参考程序

程序	说明
O0003;	
N10 M03 T0101 S600;	以 600 转启动主轴正转，选择 1#刀及 1#刀补
N20 G00 X50.0 Z2.0;	快速移到起刀点，Z 轴 2mm 处
N30 G01 Z0 F0.3;	工进到 Z 轴端面零点
N40 X0;	车端面
N50 Z2.0;	Z 轴退刀
N60 G00 X48.0 Z2.0;	回到循环起刀点
N70 G90 X35.0 Z-30.0 F0.3;	循环第一刀加工 φ 34 外圆留量 1mm，并回到起点
N80 X27.0 Z-20.0;	循环第二刀加工 φ 26 外圆留量 1mm，并回到起点
N90 X15.0 Z-10.0;	循环第三刀加工 φ 14 外圆留量 1mm，并回到起点
N100 S1200 G00 X14.0;	快速移动到精车起点 φ 14、Z2 处，转速 1200 转
N110 G01 Z-10.0 F0.1;	精加工 φ 14 外圆
N120 X26.0;	退刀至 φ 26 外圆
N130 Z-20.0;	精加工 φ 26 外圆

续表

程序	说明
N140 X35.0;	退刀至 $\phi 35$ 外圆
N150 Z-30.0;	精加工 $\phi 35$ 外圆
N160 X50.0;	退刀至 $\phi 50$ 外圆
N170 G00 X100.0 Z100.0;	快速退刀至 X100、Z100 处
N180 M05;	主轴停
N190 M30;	主程序结束并复位

工作任务 3 锥面的加工

任务描述

锥面加工是车削加工中最常见的加工之一。图 2-26 所示锥面零件实体图和图 2-27 所示锥面零件图便是其中较有代表性的零件。本任务将分几部分介绍锥面加工的特点、工艺的确定、指令的应用、程序的编制、加工质量的分析等内容。

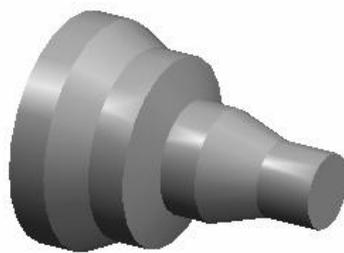


图 2-26 典型锥面零件

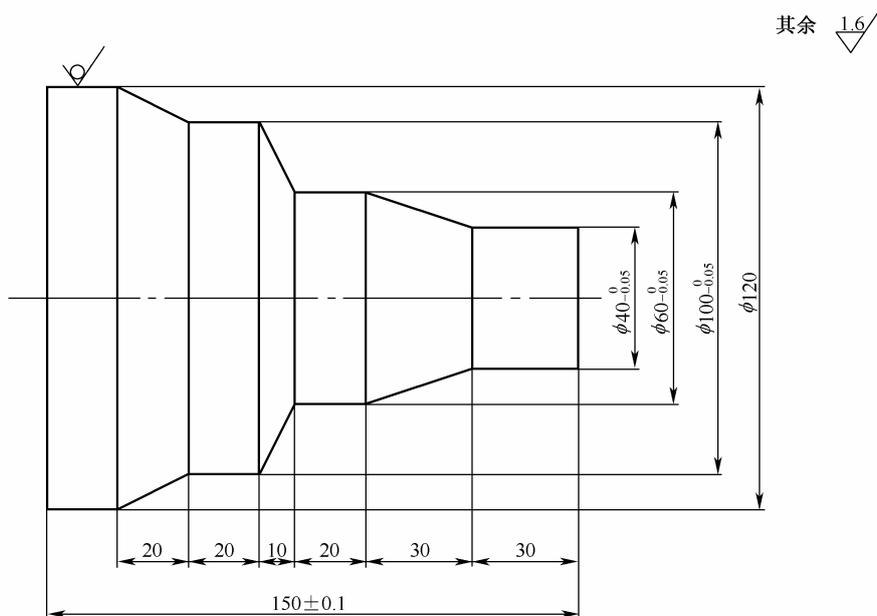


图 2-27 锥面零件图

任务目标

【知识点】走刀轨迹

【技能点】能正确编制锥面加工的加工工艺

任务载体

理想的加工程序不仅应保证加工出符合图样的合格工件，同时应能使数控机床的功能得到合理的应用和充分的发挥。数控机床是一种高效率的自动化设备，它的效率高于普通机床的 2~3 倍，所以，要充分发挥数控机床的这一特点，必须熟练掌握其性能、特点、使用操作方法，同时必须在编程之前正确地确定加工方案。

由于生产规模的差异，对于同一零件的加工方案是有所不同的，应根据具体条件，选择经济、合理的工艺方案。

一、加工工序划分

在数控机床上加工零件，工序可以比较集中，一次装夹应尽可能完成全部工序。与普通机床加工相比，加工工序划分有其自己的特点，常用的工序划分原则有以下两种。

（一）保证精度的原则

数控加工要求工序尽可能集中，常常粗、精加工在一次装夹下完成，为减少热变形和切削力变形对工件的形状、位置精度、尺寸精度和表面粗糙度的影响，应将粗、精加工分开进行。对轴类或盘类零件，将各处先粗加工，留少量余量精加工，来保证表面质量要求。同时，对一些箱体工件，为保证孔的加工精度，应先加工表面而后加工孔。

（二）提高生产效率的原则

数控加工中，为减少换刀次数，节省换刀时间，应将需用同一把刀加工的加工部位全部完成后，再换另一把刀来加工其他部位。同时应尽量减少空行程，用同一把刀加工工件的多个部位时，应以最短的路线到达各加工部位。

实际中，数控加工工序要根据具体零件的结构特点、技术要求等情况综合考虑。

二、锥面工艺路线的确定

数控加工中，刀具（严格说是刀位点）相对于工件的运动轨迹和方向称为加工路线。即刀具从对刀点开始运动起，直至结束加工程序所经过的路径，包括切削加工的路径及刀具引入、返回等非切削空行程。加工路线的确定首先必须保证被加工零件的尺寸精度和表面质量，其次考虑数值计算简单，走刀路线尽量短，效率较高等。

（一）锥面一般加工编程实例

请按照图 2-28 所示的圆锥工件，编写该零件的加工程序。

（二）任务分析

圆锥工件可以通过基本的 G01 代码来加工实现。但在加工中一定要注意刀具的半径补偿（刀具半径补偿在情境三中学习），否则将会加工出错误的路径。图 2-28 的工件中便有一段长 50 的锥面，在此使用 G01 代码来完成。

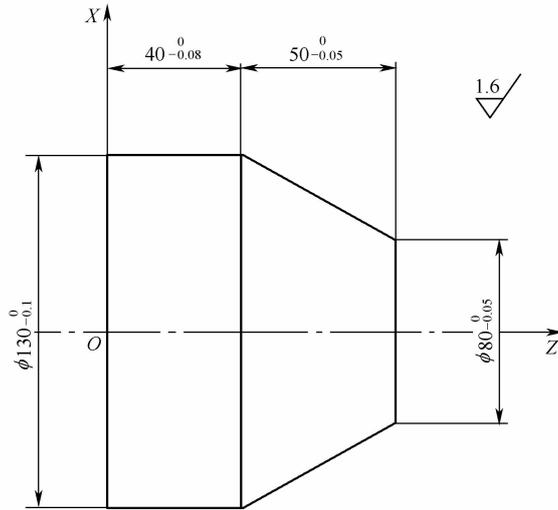


图 2-28 锥面工件

(三) 程序编制 (表 2-9)

表 2-9 参考程序

程序	说明
N10 G50 S2000	限制最高转速
N20 G96 S150 M04 T0101	主轴反转, 实现 1 号刀补
N30 G00 X78.0 Z92.0	快速达到切削点
N40 G01 X132.0 Z38.0 F80	切削终点
N50 G00 X200.0 Z120.0	快速返回起刀点
N60 M05	主轴停
N70 M02	程序结束

完成加工后的零件实体如图 2-29 所示。



图 2-29 锥加工工件

相关知识

一、锥面 G90 循环加工

(一) 编程实例

如图 2-30 所示, 用循环方式编制一个粗车圆锥面的加工程序。

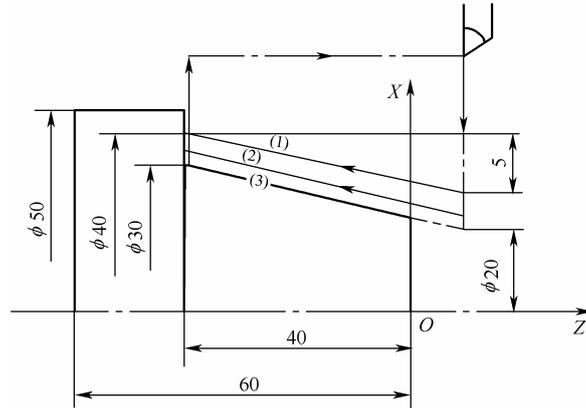


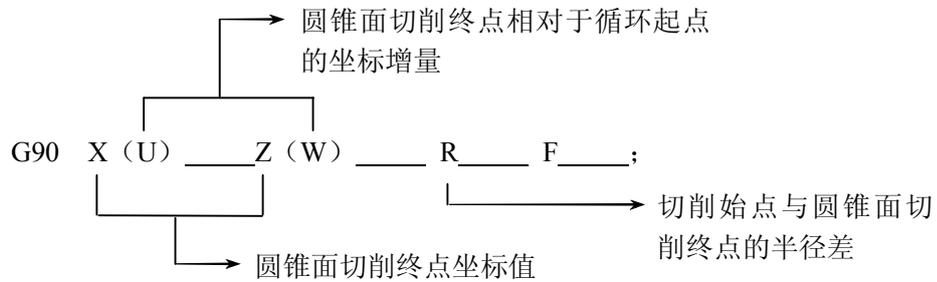
图 2-30 圆锥面切削循环加工实例

(二) 任务分析

由该例可以看出, 该锥面的车削量比较大, 如果使用 G01 指令刀具的进刀量比较大, 或者程序的加工代码比较多, 故而采用 FUNUC 系统的 G90 锥面循环加工指令来实现。

1. 锥面循环加工指令 G90

指令:



如图 2-31 所示, 加工顺序按 1,2,3,4 进行。

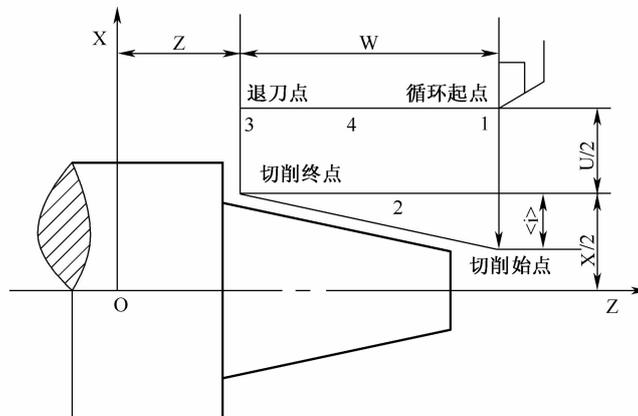


图 2-31 锥面切削循环

进行编辑时，应注意 R 的符号，确定的方法是：锥面起点坐标大于终点坐标时为正，反之为负，如图 2-32 所示。

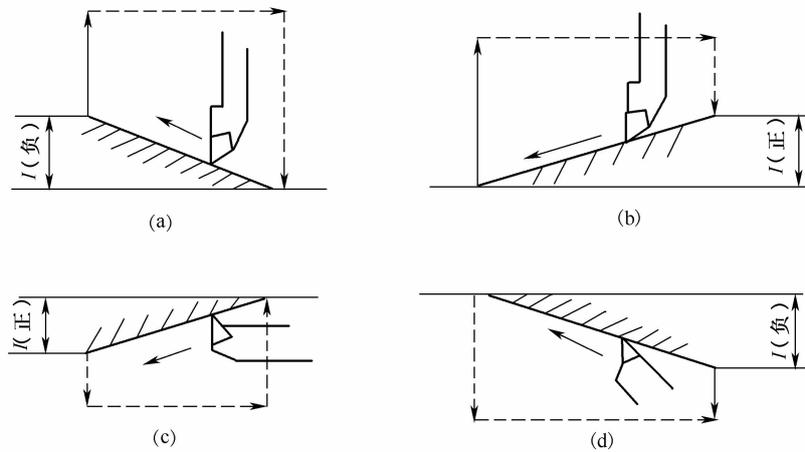


图 2-32 圆锥面的方向

本例中，由图 2-30 可知， $R=-5$ ；切削终点的 X 向距离为： $50-30=20\text{mm}$ ，分三次循环终点坐标为 (40, -40)；第二次为 (35, -40)；第三次为 (30, -40)。加工循环起始点 A (60, 2)。

(三) 程序编制 (表 2-10)

表 2-10 参考程序

程序	说明
N10 G50 S2000	限制最高转速
N20 G96 S120 M04	主轴反转
N30 G00 X60.0 Z2.0 T0101	快速达到循环起点 A，实现 1 号刀补
N40 G90 X40.0 Z-40.0 R-5.0 F0.3	圆锥面循环第一次
N50 X35 R-5.0	圆锥面循环第二次
N60 X30 R-5.0	圆锥面循环第三次
N70 G00 X100. Z 100.	取消 G90，快速返回起刀点
N80 M05	主轴停
N90 M30	程序结束

完成加工后的零件实体如图 2-33 所示。

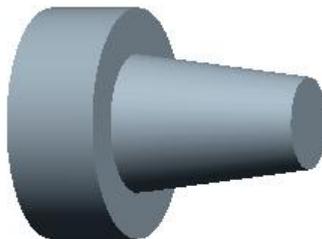


图 2-33 锥面切削工件

二、带锥度的端面切削循环

(一) 编程实例

如图 2-34 所示，用端面切削循环方式编制一个图示零件的加工程序（毛坯直径 50mm）。

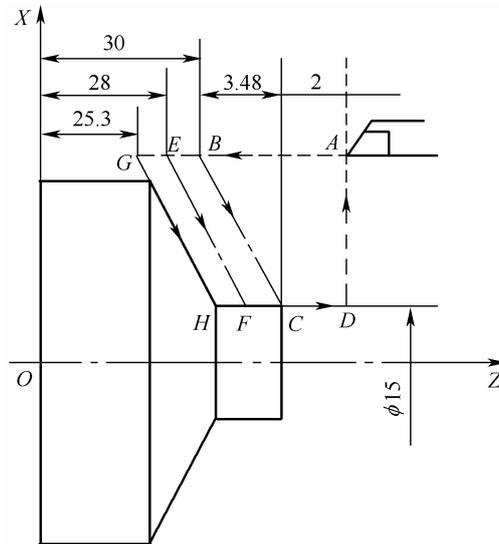
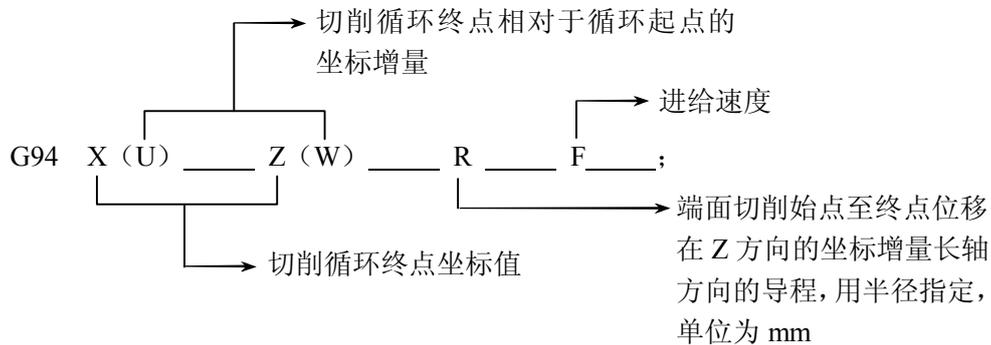


图 2-34 端面切削循环实例

(二) 任务分析

在图 2-34 的实例中端面为锥面，在此仍然可以用 G01 指令，但考虑到加工余量仍是太大，不易使用。FANUC 系统提供了带锥度的端面切削循环 G94 指令。

锥度的端面切削循环 G94 指令：



其中，R 为端面切削始点至终点位移在 Z 方向的坐标增量，正负如图 2-35 所示。

在加工中，如图 2-36 所示，加工顺序按 1、2、3、4 进行。

根据 G94 指令格式，其中 R=-3.48，端面切削终点的 Z 向距离 CH 为 $30-25.4=4.7\text{mm}$ 。如果分 3 次循环，第一次端面切削终点为 C 点；第二次为 F 点；第三次为 H 点。其坐标分别为：C (15, 33.48)；F (15, 31.48)；H (15, 28.78)。设循环起点为 A (55, 35.48)。

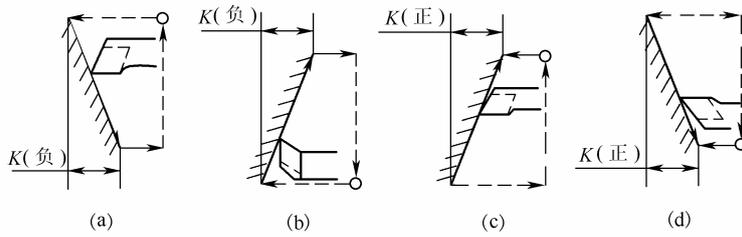


图 2-35 锥面的方向

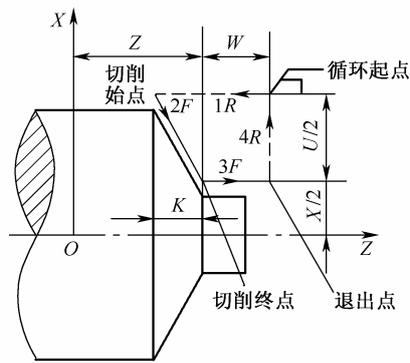


图 2-36 带锥度的端面切削循环

(三) 程序编制 (表 2-11)

表 2-11 参考程序

程序	说明
N10 G50 S2000	限制最高转速
N20 G96 S120 M04	主轴反转
N30 G00 X55.0 Z35.48 T0101	快速达到循环起点 A, 实现 1 号刀补
N40 G94 X15.0 Z33.48 R-3.48 F0.3	端面循环第一次
N50 Z31.48 R-3.48	端面循环第二次
N60 Z28.78 R-3.48	端面循环第三次
N70 G00 X100. Z 100.	取消 G94, 快速返回起刀点
N80 M05	主轴停
N90 M30	程序结束

完成加工后的零件实体如图 2-37 所示。

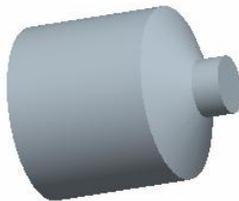


图 2-37 锥度端面工件

工作过程

一、工艺分析

(1) 根据图纸要求,按照先粗后精的原则安排加工路线。为避免重复定位误差,一次装夹完成工件的粗精加工。

(2) 根据零件的轮廓形状,选用一把装有 80° 菱形刀片的 93° 外圆车刀加工。各加工部位的粗、精加工均采用同一把刀完成。

(3) 工件结构简单,左端不加工,有足够的定位夹持长度,采用三爪自定心卡盘一次装夹完成。

(4) 选取工件右端面回转中心为工件坐标系原点。

二、切削参数

切削参数如表 2-12 所示。

表 2-12 切削参数

切削用量	主轴转速 S (r/min)	进给速度 f (mm/r)
粗精加工		
粗加工	600	0.3
精加工	1200	0.1

按图 2-38 所示尺寸编写外圆粗切循环加工程序。

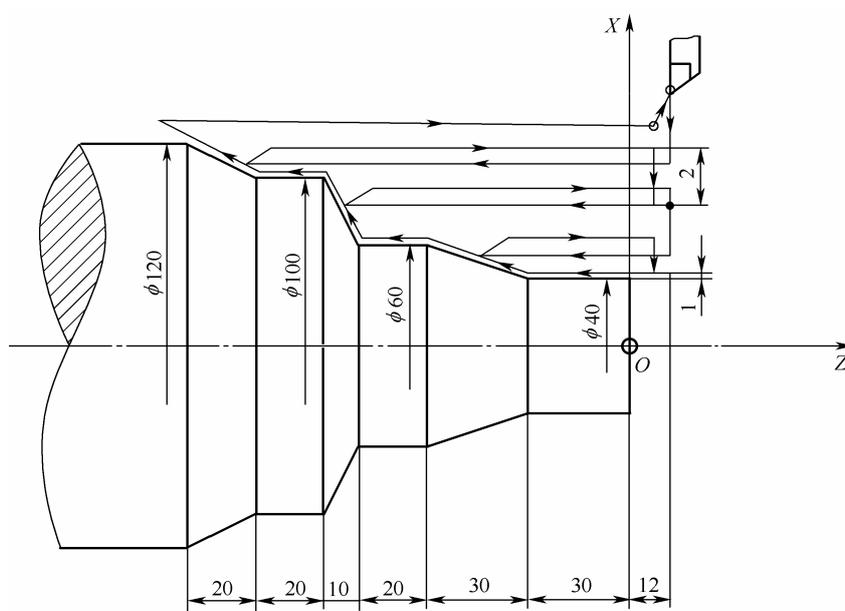


图 2-38 G71 程序例图

三、参考程序（表 2-13）

表 2-13 参考程序

程序	注释
O0005;	
N10 M03 S600 T0101;	以 600 转启动主轴正转，选择 1#刀及 1#刀补
N20 G00 X120.0 Z10.0;	快速移到循环起刀点
N30 G71 U2.0 R0.5;	粗车每次进刀 2mm；退刀量 0.5mm
N40 G71 P50 Q120 U0.8 W0.1 F0.25;	X 方向留量 0.8 mm，Z 方向留量 0.1 mm
N50 G00 X40.0; //ns	精加工循环起点
N60 G01 Z-30.0;	精加工 $\phi 40$ 外圆
N70 X60.0 Z-60.0;	精加工 $\phi 60$ 锥面
N80 Z-80.0;	精加工 $\phi 60$ 外圆
N90 X100.0 Z-90.0;	精加工 $\phi 100$ 锥面
N100 Z-110.0 ;	精加工 $\phi 100$ 外圆
N110 X120.0 Z-130.0;	精加工 $\phi 120$ 锥面
N120 G00 X125.0; //nf	退出加工表面
N130 G70 P50 Q120;	精加工指令
N140 G00 X150.0 Z100.0;	退刀
N150 M05;	主轴停
N160 M30;	主程序结束并复位

相关知识

G70~G76 是 CNC 车床复合形状多重循环指令，该指令应用于非一次走刀即能完成加工の場合，与单一形状固定循环指令一样，它可以用于必须重复多次加工才能加工到规定尺寸的典型工序。主要用于铸、锻毛坯的粗车和棒料的车阶梯较大的轴及多次走刀切螺纹的情况下。利用复合形状固定循环功能，只要编写出最终走刀路线，给出每次切除余量或循环次数，机床即可以自动决定粗加工时的刀具路径，完成重复切削直至加工完毕。在这一组复合形状多重循环指令中，G70 是 G71、G72、G73 等粗加工指令后的精加工指令。

一、外圆粗车循环（G71）

外圆粗车循环 G71，适用于切除棒料毛坯的大部分加工余量。其格式为：

G71 U(Δd) R(e)

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

式中： Δd ——每次径向吃刀深度，半径值（该切深无符号）；e——退刀量；ns——精加工循环中的第一个程序段号；nf——精加工循环中的最后一个程序段号； Δu ——径向（X）的精车余量（该尺寸为直径值）； Δw ——轴向（Z）的精车余量。

二、端面粗车循环（G72）

它适用于圆柱棒料毛坯的端面方向的粗车。其格式为：

G72 W(Δd) R(e)

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

式中： Δd ——每次轴向吃刀宽度（该切深无符号）； e ——退刀量； ns ——精加工循环中的第一个程序段号； nf ——精加工循环中的最后一个程序段号； Δu ——径向（X）的精车余量（该尺寸为直径值）； Δw ——轴向（Z）的精车余量。

按图 2-39 所示尺寸编写端面粗切循加工程序，见表 2-14。

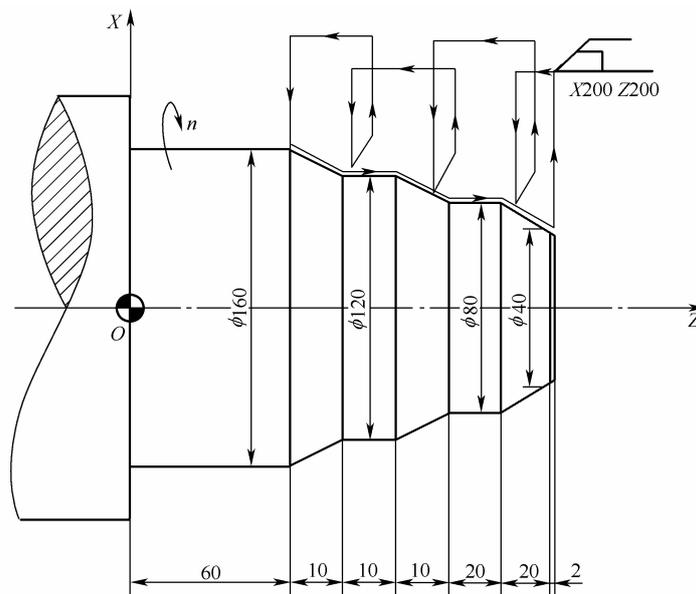


图 2-39 G72 程序例图

表 2-14 参考程序

程序	注释
O0006;	
N10 M03 S800 T0101;	以 800 转启动主轴正转，选择 1#刀及 1#刀补
N20 G00 X200.0 Z132.0;	快速移到循环起刀点
N30 G72 W3.0 R0;	粗车每次进刀 3mm；退刀量 0
N40 G72 P50 Q120 U0.5 W0.3 F0.25;	X 方向留量 0.5 mm，Z 方向留量 0.3 mm
N50 G00 Z0; //ns	粗加工循环起点
N60 G01 X160.0;	//ns.../nf
N70 Z60.0;	粗加工过程
N80 X120.0 Z70.0;	
N90 Z80.0;	
N100 X80.0 Z90.0 ;	
N110 Z110.0;	

续表

程序	注释
N120 X40.0 Z130.0; //nf	
N130 G70 P50 Q120;	精加工//ns...//nf 程序段
N140 G00 X200.0 Z200.0;	退刀
N150 M05;	主轴停
N160 M30;	主程序结束并复位

三、固定形状粗车循环（G73）

它适用于毛坯轮廓形状与零件轮廓形状基本接近的铸、锻毛坯件。其格式：

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 径向总退刀量（半径值）；k——Z 轴向总退刀量；d——加工次数（不加小数点）；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；

按图 2-40 所示尺寸编写封闭切削循环加工程序（见表 2-15）。毛坯： $\phi 60 \times 105$ ，材料：45 钢。

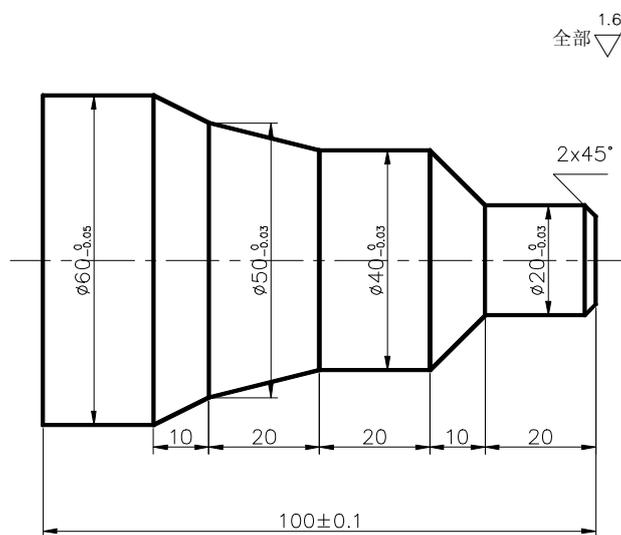


图 2-40 G73 程序例图

表 2-15 参考程序

程序	注释
O0007;	
N10 M03 S800 T0101;	以 800 转启动主轴正转，选择 1#刀及 1#刀补
N20 G00 X65.0 Z5.0;	快速移到循环起刀点
N30 G73 U20. W0 R8;	粗车次数 3 次，余量 9mm；精车量 1mm
N40 G73 P50 Q120 U1. W0.1 F0.3;	精加工轮廓起点，转速 800 转
N50 G00 X20.0; //ns	精加工 $\phi 20$ 外圆起点

续表

程序	注释
N60 G01 Z0;	Z 方向起点
N70 Z-20.0;	精加工 $\phi 20$ 外圆
N80 X40.0 Z-30;	精加工 $\phi 40$ 锥面
N90 Z-50.0;	精加工 $\phi 40$ 外圆
N100 X50.0 Z-70.0 ;	精加工 $\phi 50$ 锥面
N110 X60.0 Z-80.0;	精加工 $\phi 60$ 锥面
N120 X65.0; //nf	退刀
N130 G70 P50 Q120;	精加工指令
N140 G00 X100.0 Z100.0;	退刀
N150 M05;	主轴停
N160 M30;	主程序结束并返回程序开头

四、精车循环加工 (G70)

当用 G71、G72、G73 粗车工件后,用 G70 来指定精车循环,切除粗加工的余量其格式为:

G70 P(ns) Q(nf)

其中: ns——精加工循环中的第一个程序号; nf——精加工循环中的最后一个程序号。

在精车循环 G70 状态下,(ns) 至 (nf) 程序中指定的 F、S、T 有效;如果 (ns) 至 (nf) 程序中不指定 F、S、T 时,粗车循环中指定的 F、S、T 有效。其编程时见上述几例。在使用 G70 精车循环时,要特别注意快速退刀路线,防止刀具与工件发生干涉。

工作任务 4 质量误差分析

一、外圆加工的质量分析

数控车床在外圆加工过程中会遇到各种各样的加工和质量上的问题,表 2-16 对较常出现的问题、产生的原因、预防及解决方法进行了分析。

表 2-16 外圆加工的质量分析

问题现象	产生原因	预防和消除
工件外圆尺寸超差	<ol style="list-style-type: none"> 1. 刀具数据不准确 2. 切削用量选择不当产生让刀 3. 程序错误 4. 工件尺寸计算错误 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调整或重新设定刀具数据 2. 合理选择切削用量 3. 检查并修改加工程序 4. 正确计算
外圆表面光洁度太差	<ol style="list-style-type: none"> 1. 切削速度过低 2. 刀具中心过高 3. 切屑控制较差 4. 刀尖产生积屑瘤 5. 切削液选用不合理 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 调高主轴转速 2. 调整刀具中心高度 3. 选择合理的进刀方式及切深 4. 选择合适的切速范围 5. 选择正确切削液并充分喷注

续表

问题现象	产生原因	预防和消除
台阶处不清根或呈圆角	1. 程序错误 2. 刀具选择错误 3. 刀具损坏	1. 检查并修改加工程序 2. 正确选择加工刀具 3. 更换刀片
加工过程中出现扎刀, 引起工件报废	1. 进给量过大 2. 切屑阻塞 3. 工件安装不合理 4. 刀具角度选择不合理	1. 降低进给速度 2. 采用断、退屑方式切入 3. 检查工件安装, 增加安装刚性 4. 正确选择刀具
台阶端面出现倾斜	1. 程序错误 2. 刀具安装不正确	1. 检查并修改加工程序 2. 正确安装刀具
工件圆度超差或产生锥度	1. 机床主轴间隙过大 2. 程序错误 3. 工件安装不合理	1. 调整机床主轴间隙 2. 检查并修改加工程序 3. 检查工件安装, 增加安装刚性

二、端面加工质量分析

端面加工是零件加工中必不可缺的工序, 而且直接或间接地影响到工件的整体尺寸精度, 因此有必要对加工中出现的加工和质量问题、预防和消除方法做简要介绍 (见表 2-17)。

表 2-17 端面加工的质量分析

问题现象	产生原因	预防和消除
端面加工时长度尺寸超差	1. 刀具数据不准确 2. 尺寸计算错误 3. 程序错误	1. 调整或重新设定刀具数据 2. 正确进行尺寸计算 3. 检查并修改加工程序
端面光洁度太差	1. 切削速度过低 2. 刀具中心过高 3. 切屑控制较差 4. 刀尖产生积屑瘤 5. 切削液选用不合理	1. 调高主轴转速 2. 调整刀具中心高度 3. 选择合理的进刀方式及切深 4. 选择合适的切速范围 5. 选择正确的切削液并充分喷注
端面中心处有凸台	1. 程序错误 2. 刀具中心过高 3. 刀具损坏	1. 检查并修改加工程序 2. 调整刀具中心高度 3. 更换刀片
加工过程中出现扎刀, 引起工件报废	1. 进给量过大 2. 刀具角度选择不合理	1. 降低进给速度 2. 正确选择刀具
工件端面凹凸不平	1. 机床主轴径间隙过大 2. 程序错误 3. 切削用量选择不当	1. 调整机床主轴间隙 2. 检查并修改加工程序 3. 合理选择切削用量

三、锥面加工质量分析

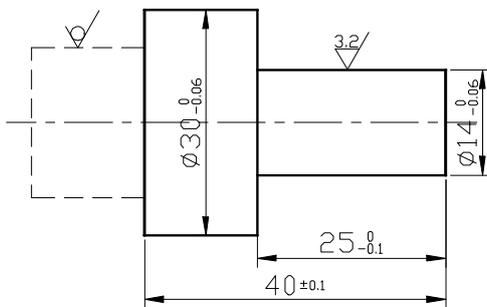
影响锥面加工的因素很多，由于数控车床锥面加工经常遇到的加工质量问题有多种，其问题现象及其产生的原因以及可以采取的消除和预防的措施总结见表 2-18。

表 2-18 锥面加工质量分析

问题现象	产生原因	预防和消除
锥度不符合要求	1. 程序错误 2. 工件装夹不正确	1. 检查并修改加工程序 2. 检查工件安装、增加安装刚度
切削过程出现振动	1. 工件装夹不正确 2. 刀具安装不正确 3. 切削参数不正确	1. 正确安装工件和刀具 2. 编程时合理选择切削参数
锥面径向尺寸不符合要求	1. 程序错误 2. 刀具磨损 3. 没考虑刀尖圆弧补偿	1. 保证编程正确，并考虑刀具补偿 2. 及时更换磨损大的刀具
切削过程出现干涉现象	工件斜度大于刀具后角	1. 选择正确刀具 2. 改变切削方式

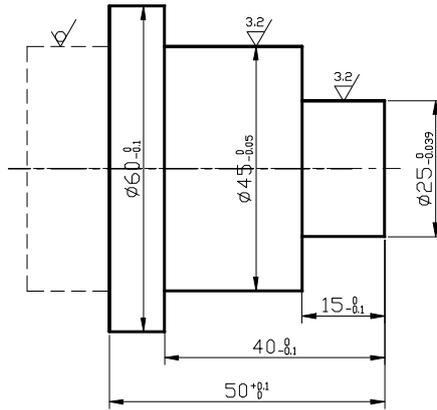
思考与练习

1. 零件正确安装的目的目的是什么？
2. 数控车床的坐标轴是怎样规定的？试按笛卡儿坐标系确定数控机床坐标系中 y 坐标轴的位置及方向。
3. 说明封闭切削复合循环（G73）的格式。
4. 试述 G71 复合循环的使用方法和优点。
5. 图示车床常用刀具的刀位点。
6. 常见外圆加工的缺陷有哪些？
7. 常见端面加工的缺陷有哪些？
8. 工件外圆尺寸超差的原因及预防方法有哪些？
9. 如题图 2-1 所示零件，试使用 G00、G01 指令编程。



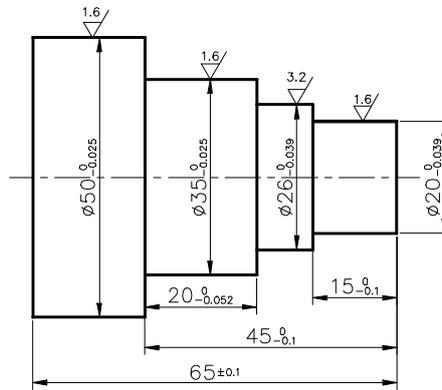
题图 2-1

10. 如题图 2-2 所示零件，试使用 G90 单一形状循环指令编程。



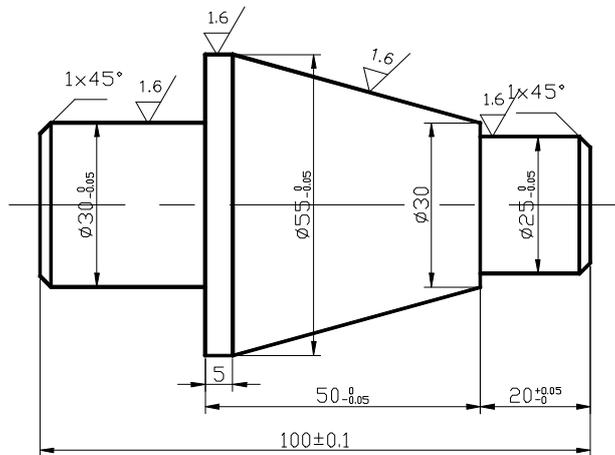
题图 2-2

11. 如题图 2-2 所示零件, 试使用 G71 复合循环指令编程。
12. 如题图 2-3 所示零件, 试使用 G73 封闭循环指令编程。



题图 2-3

13. 如题图 2-4 所示零件, 分别使用 G71、G73 复合循环指令编程。



题图 2-4