

# 项目一

## 数控加工编程基础

### 【项目情境创设】

通过数控加工可以得到各种类型的工件，而数控加工中数控编程是基础。本项目通过任务教学来介绍数控加工编程基础。

### 【项目教学目标】

通过项目教学，介绍数控编程概述、数控指令功能与数控加工坐标系、坐标与运动控制指令，以及刀具补偿指令。

### 【项目学习目标】

理解数控编程的重要性，了解数控编程的基本指令，掌握数控加工编程基础。

## 任务一 数控编程概述

### 任务描述

本任务主要是向初学者讲解数控编程的定义、过程与方法，以及数控程序的一般结构。

### 任务分析

通过对本任务的学习，能初步了解有关数控编程的基本知识，认识数控编程的过程，掌握数控编程的方法和数控程序的一般结构。

### 任务教学

#### 一、数控编程的定义及过程

在数控机床上加工零件时，首先要进行程序编制，简称编程。

编程就是将加工零件的加工顺序、刀具运动轨迹的尺寸数据、工艺参数（主运动和进给运动速度、切削深度等），以及辅助操作（换刀，主轴正、反转，冷却液开、关，刀具夹紧和松开等）等的加工信息用规定的文字、数字、符号等组成的代码，按一定的格式编写成加工程序。

编程过程主要包括分析零件图纸、工艺处理、数学处理、编写零件程序、程序校验。理想的加工程序不仅应保证加工出符合图纸要求的合格工件，同时应能使数控机床的功能得到合理应用与充分发挥，以使数控机床能安全、可靠、高效地工作。在数控编程前，编程人员应了解所用数控机床的规格、性能、计算机数控系统（简称 CNC 系统）所具备的功能及编程指令格式等，在编制程序时，应对图纸规定的技术特性，以及零件的几何形状、尺寸和工艺要求进行分析，确定使用的刀具、切削用量及加工顺序和走刀路线；再进行数值计算，获得刀位数据；然后按数控机床规定的代码和程序格式，将工件的尺寸、刀具运动轨迹、位移量、切削参数（主轴转速、刀具进给量、切削深度等）及辅助功能（换刀，主轴正、反转，冷却液开、关等）编制成加工程序，并输入数控系统，由数控系统控制数控机床自动进行加工。

一般数控编程过程如图 1-1 所示。

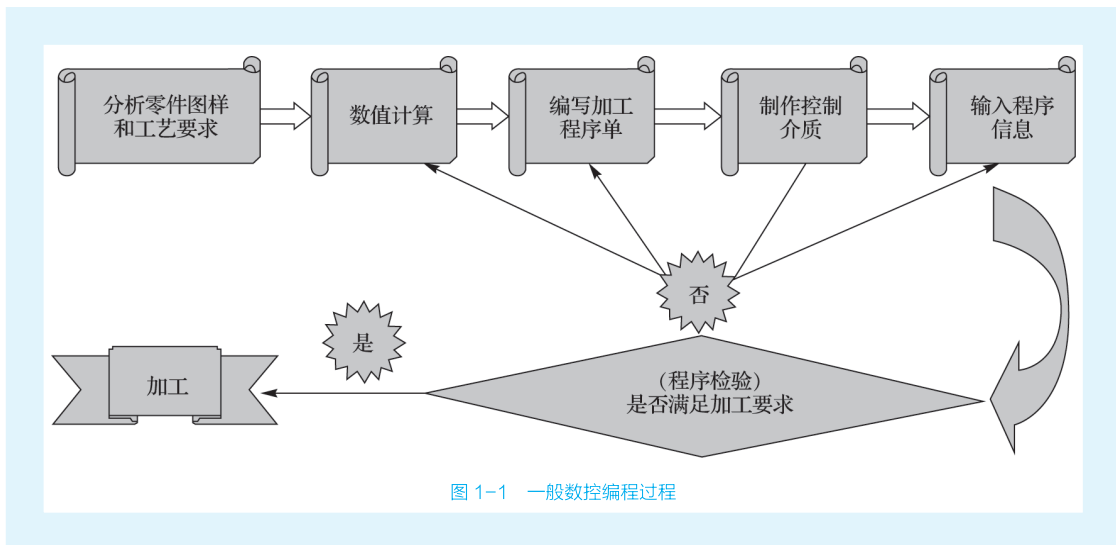


图 1-1 一般数控编程过程

## 二、数控编程的方法

### 1. 手工编程

手工编程中整个程序编制过程均由人工完成。它仅适用于点位或几何形状不太复杂的零件，因为数控编程计算较简单，程序段不多，手工编程即可实现。

### 2. 自动编程

自动编程是用计算机把人输入的零件图纸信息改写成数控机床能执行的数控加工程序，即数控编程的大部分工作由计算机完成。目前常用的自动编程系统有 APT（automatically programmed tools）、图像仪编程系统、图形编程系统等。

### 三、数控程序的一般结构

零件加工程序由程序号和若干个程序段组成。每个程序号由程序号地址码和程序的编号组成；每个程序段又由程序段号和若干个指令字组成，每个指令字由若干个字母、符号、数字组成。

#### 1. 程序段格式

程序段是可作为一个单位来处理的、连续的字组，是数控加工程序中的一条语句。一个数控加工程序是由若干个程序段组成的。

程序段格式是指程序段的字、字符和数据的安排形式。现在一般使用字地址可变程序段格式，每个字长不固定，各个程序段的长度和功能字的个数都是可变的。在字地址可变程序段格式中，在上一程序段中写明的、本程序段里又不变化的那些字仍然有效，可以不再重写。这种功能字称为续效字。

**例 1-1** 程序段格式举例。

```
.....  
N30 G01 X88.1 Y0.2 F100 S800 T0101 M08  
N40 X90  
.....
```

**注意：**本程序段省略了续效字“G01 Y0.2 F100 S800 T0101 M08”，但它们的功能仍然有效。

在程序段中，必须明确组成程序段的各要素：移动目标（终点坐标值 $X$ 、 $Y$ 、 $Z$ ）；沿怎样的轨迹移动（准备功能字 $G$ ）；进给速度（进给功能字 $F$ ）；切削速度（主轴转速功能字 $S$ ）；使用刀具（刀具功能字 $T$ ）；机床辅助动作（辅助功能字 $M$ ）。

#### 2. 加工程序的一般格式

(1) 程序开始符、结束符。程序开始符、结束符是同一个字符，ISO 代码中是 $\%$ ，EIA 代码中是 $EP$ ，书写时要单列一段。

(2) 程序名。程序名有两种形式：一种是由英文字母 $O$ 和 $1\sim 4$ 位正整数组成；另一种是由英文字母开头、字母数字混合组成的，一般要求单列一段。

(3) 程序主体。程序主体是由若干个程序段组成的，每个程序段一般占一行。

(4) 程序结束指令。程序结束指令可以用 $M02$ 或 $M0$ 表示，一般要求单列一段。

**例 1-2** 加工程序的一般格式举例。

```
%// 开始符  
O1000// 程序名  
N10 G00 X50 Y30 M03 S800  
N20 G01 X88.1 Y0.2 F500 T0101 M08  
N30 X90// 程序主体  
.....  
N00 M30  
%// 结束符
```

## 任务二 数控指令功能与数控加工坐标系

### 任务描述

本任务主要讲解数控编程常用功能指令，以及数控加工相关坐标系的基本知识。

### 任务分析

通过对本任务的学习，能初步掌握数控程序编制过程中常用的功能指令和辅助功能指令的基本概念与作用，同时也要了解数控加工中所涉及的坐标系的设定。

### 任务教学

## 一、数控指令功能

### 1. 数控指令字

在数控加工程序中，字是指一系列按规定排列的字符，其作为一个信息单元进行存储、传递和操作。字是由一个英文字母与随后的若干位十进制数字组成的，这个英文字母称为地址符。

如“X2500”是一个字，X为地址符，数字“2500”为地址中的内容。

### 2. 字的功能

组成程序段的每一个字都有其特定的功能含义。下面以华中数控系统的规范为例进行介绍。在实际工作中，应遵照机床数控系统说明书来使用各个功能字。

(1) 顺序号字 N。顺序号又称程序段号或程序段序号。顺序号位于程序段之首，由顺序号字 N 和后续数字组成。顺序号字 N 是地址符，后续数字一般为 1 ~ 4 位的正整数。数控加工程序中的顺序号实际上是程序段的名称，与程序执行的先后次序无关。数控系统不是按顺序号的次序来执行程序，而是按程序段编写时的排列顺序逐段执行程序的。

顺序号的作用：用于程序的校对和检索修改；作为条件转向的目标，即作为转向目的程序段的名称。有顺序号的程序段可以进行复归操作，这是指加工可以从程序的中间开始，或回到程序中断处开始。

一般使用方法：编程时将第一程序段冠以 N10，以后以间隔 10 递增的方法设置顺序号。这样，在调试程序时，如果需要在 N10 和 N20 之间插入程序段，就可以使用 N11、N12 等。

(2) 准备功能字 G。准备功能字的地址符是 G，又称为 G 功能或 G 指令，是用于建立机床或控制系统工作方式的一种指令。后续数字一般为 1 ~ 3 位的正整数。

(3) 尺寸字。尺寸字用于确定机床上刀具运动终点的坐标位置。其中，第一组 X、Y、Z 用于确定终点的直线坐标尺寸，第二组 A、B、C 用于确定终点的角度坐标尺寸，第三组 I、J、K 用于确定

圆弧轮廓的圆心坐标尺寸。在一些数控系统中，还可以用 P 指令表示暂停时间、用 R 指令表示圆弧的半径等。

多数数控系统可以用准备功能字来选择坐标尺寸的制式，如华中数控系统可用 G20/G21 来选择米制单位或英制单位，也有些系统用系统参数来设定尺寸制式。当采用米制时，一般单位为 mm，如 X100 指令的坐标值为 100 mm。当然，一些数控系统也可通过设定参数来选择不同的尺寸单位。

(4) 进给功能字 F。进给功能字的地址符是 F，又称为 F 功能或 F 指令，用于指定切削的进给速度。对于车床，F 可分为每分钟进给和主轴每转进给两种。对于一般数控机床，通常只用每分钟进给。

(5) 主轴转速功能字 S。主轴转速功能字的地址符是 S，又称为 S 功能或 S 指令，用于指定主轴转速，单位为 r/min。

(6) 刀具功能字 T。刀具功能字的地址符是 T，又称为 T 功能或 T 指令，用于指定加工时所用刀具的编号，如“M06 T12”。

(7) 辅助功能字 M。辅助功能字由地址符 M 和其后的两位数字组成，又称为 M 功能或 M 指令，用于指定数控机床辅助装置的开关动作。

## 二、机床坐标系及工件坐标系

在数控编程时，为了描述机床的运动，应简化程序编制的方法及保证记录数据的互换性，数控机床加工相关坐标系和运动方向均已标准化，ISO 和我国都拟定了命名的标准。

### 1. 机床坐标系

在数控机床上，机床的动作是由数控装置来控制的，为了确定数控机床上的成形运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的位移和运动的方向，这就需要通过设定坐标系来实现，这个坐标系被称为机床坐标系，如图 1-2 所示。

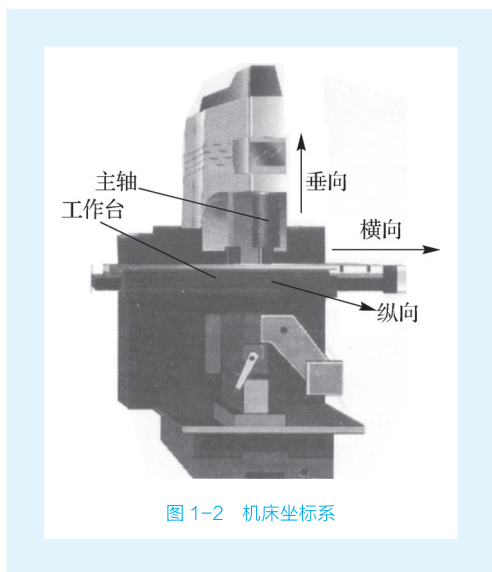


图 1-2 机床坐标系

## 2. 坐标轴的命名

坐标轴采用右手笛卡儿直角坐标系进行命名,如图 1-3 所示。

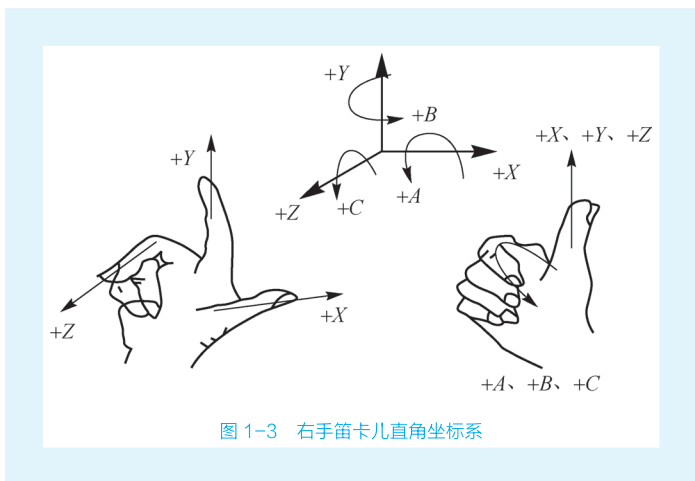


图 1-3 右手笛卡儿直角坐标系

(1) 伸出右手的拇指、食指和中指,并互为  $90^\circ$ 。则拇指代表  $X$  坐标轴,食指代表  $Y$  坐标轴,中指代表  $Z$  坐标轴。

(2) 拇指的指向为  $X$  坐标轴的正方向,食指的指向为  $Y$  坐标轴的正方向,中指的指向为  $Z$  坐标轴的正方向。

(3) 围绕  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴旋转的旋转坐标轴分别用  $A$ 、 $B$ 、 $C$  表示,根据右手螺旋定则,拇指的指向为  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴中任意轴的正方向,则其余四指的旋转方向即为旋转坐标轴  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的正方向。

## 3. 机床坐标系的确定

(1) 机床相对运动的规定。在机床上,我们始终认为工件是静止的,而刀具是运动的。这样编程人员在不考虑机床上工件与刀具具体运动的情况下,就可以依据零件图样,确定机床上的加工过程。

(2) 机床坐标系的规定。在标准机床坐标系中  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴的相互关系用右手笛卡儿直角坐标系决定,如图 1-4 所示。

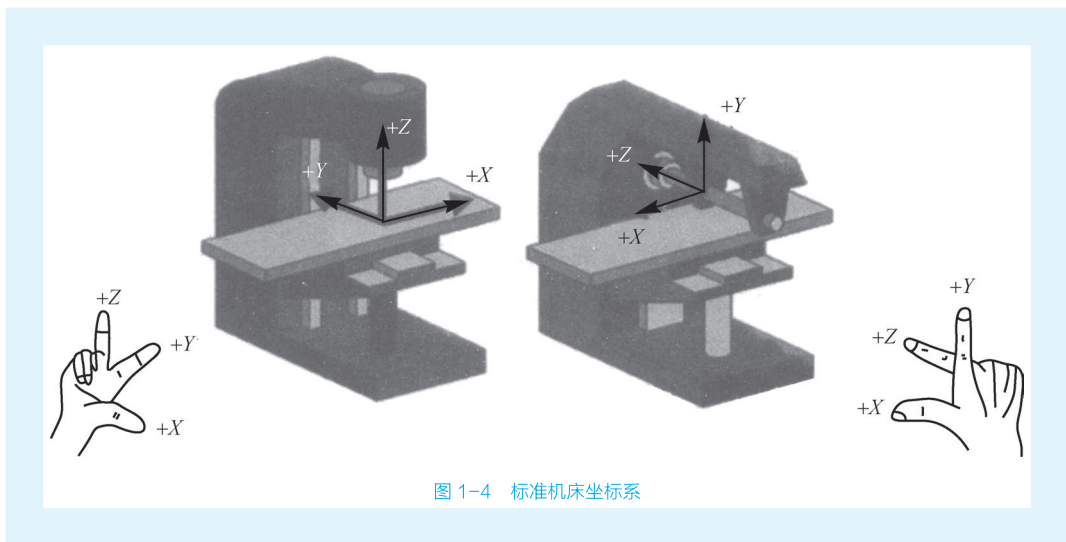


图 1-4 标准机床坐标系

(3) 运动方向的规定。增大刀具与工件距离的方向即为各坐标轴的正方向。

Z坐标轴的运动方向是由传递切削动力的主轴决定的，即平行于主轴轴线的坐标轴为Z坐标轴，Z坐标轴的正方向为刀具离开工件的方向。

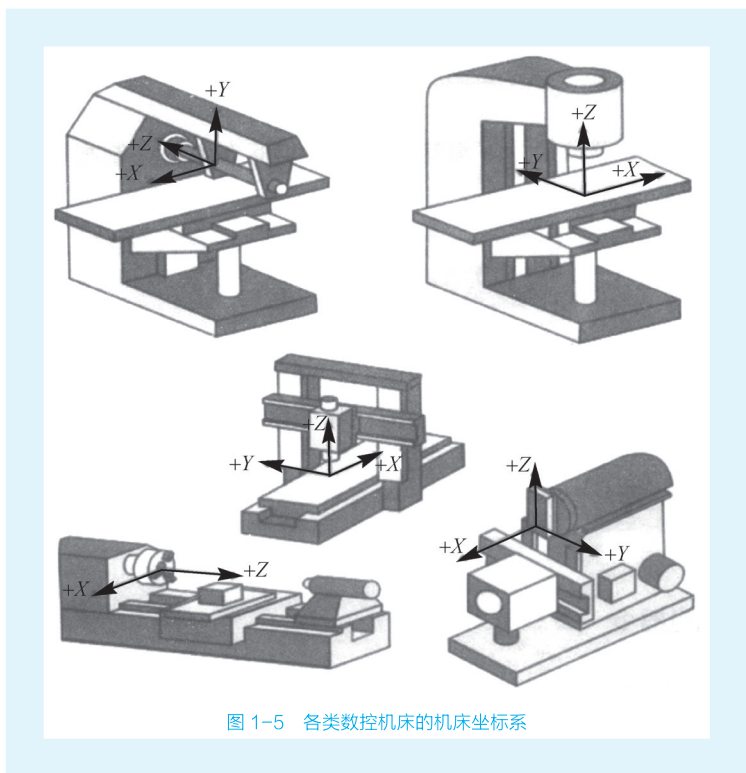
若机床上有几个主轴，则选一个垂直于工件装夹平面的主轴方向为Z坐标方向；若主轴能够摆动，则选垂直于工件装夹平面的方向为Z坐标方向；若机床无主轴，则选垂直于工件装夹平面的方向为Z坐标方向。

X坐标轴平行于工件的装夹平面，一般在水平面内。确定X轴的方向时，要考虑以下两种情况。

① 工件做旋转运动，则刀具离开工件的方向为X坐标轴的正方向。

② 刀具做旋转运动：当Z坐标轴水平时，观察者沿刀具主轴向工件看，+X运动方向指向右方；当Z坐标轴垂直时，观察者沿刀具主轴向立柱看，+X运动方向指向右方。

在确定X、Z坐标轴的正方向后，可以根据X、Z坐标轴的方向，按照右手笛卡儿直角坐标系来确定Y坐标轴的方向。图1-5所示为各类数控机床的机床坐标系。



#### 4. 附加坐标系

为了编程和加工方便，有时还要设置附加坐标系。对于直线运动，通常建立的附加坐标系有以下两种情况。

(1) 指定平行于X、Y、Z轴的坐标轴。可以采用的附加坐标系有第二组U、V、W坐标系，第三组P、Q、R坐标系。

(2) 指定不平行于X、Y、Z轴的坐标轴。可以采用的附加坐标系有第二组U、V、W坐标系，第三组P、Q、R坐标系。

## 5. 工件坐标系

工件坐标系的原点就是工件原点,也称工件零点。与机床坐标系不同,工件坐标系是人为设定的。选择工件坐标系原点的一般原则如下。

- (1) 尽量选在工件图样的基准上,以便于计算,减少错误,有利于编程。
- (2) 尽量选在尺寸精度高、表面粗糙度低的工件表面上,以提高被加工工件的加工精度。
- (3) 要便于测量和检验。
- (4) 对于对称的工件,最好选在工件的对称中心上。
- (5) 对于一般零件,选在工件外轮廓的某一角上。
- (6) Z轴方向的原点,一般设在工件表面上。

## 任务三 坐标与运动控制指令

### 任务描述

本任务主要让初学者了解数控程序编制过程中与坐标有关的控制指令和运动控制指令的概念、指令格式、编写方法及注意事项。

### 任务分析

通过本任务的学习,可以掌握绝对坐标指令与增量坐标指令、坐标系设定指令与坐标平面选择指令、运动控制指令的基本概念与编写方法。

### 任务教学

## 一、坐标控制指令

### 1. 绝对坐标指令与增量坐标指令(G90、G91)

(1) 绝对坐标指令 G90。在刀具运动过程中,以程序原点为基准标注或计量刀具的位置坐标,这种坐标称为绝对坐标,如图 1-6(a)所示。

(2) 增量坐标指令 G91。刀具运动的位置坐标是指刀具从当前位置运动到下一个位置之间的增量,这种坐标称为相对坐标,如图 1-6(b)所示。



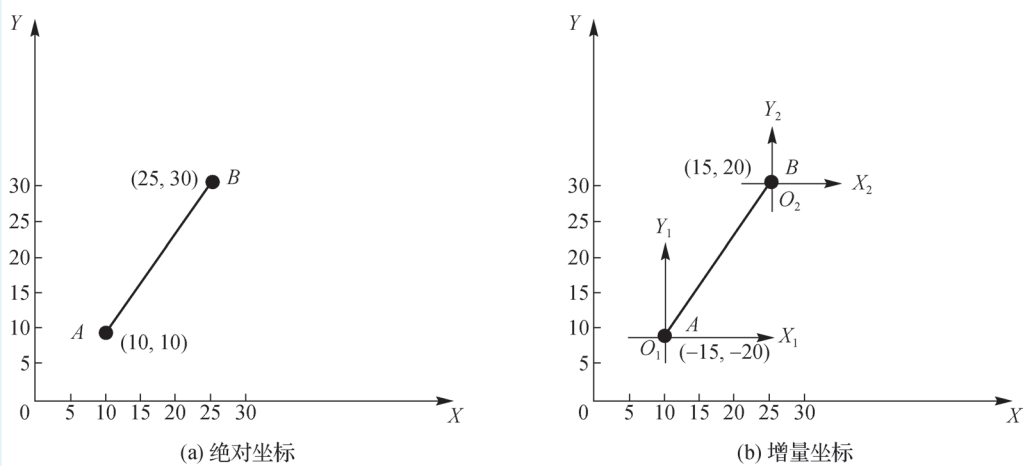


图 1-6 绝对坐标与增量坐标

**例 1-3** 编制图 1-6 所示从 B 点移到 A 点的指令。

绝对编程指令：

G90 G01 X10 Y10

增量编程指令：

G91 G01 X-15 Y-20 或 G01 U-15 V-20

## 2. 坐标系设定指令 (G92)

**例 1-4** 设置图 1-7 中的工件坐标系。

坐标系设定指令：

G92 X400 Z200

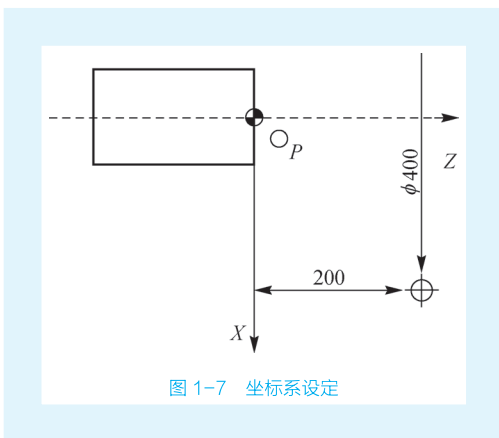


图 1-7 坐标系设定

## 3. 坐标平面选择指令 (G17、G18、G19)

坐标平面选择指令是用来选择圆弧插补的平面和刀具补偿平面的，其功能如下。

- (1) G17 表示选择 XY 平面。
- (2) G18 表示选择 XZ 平面。

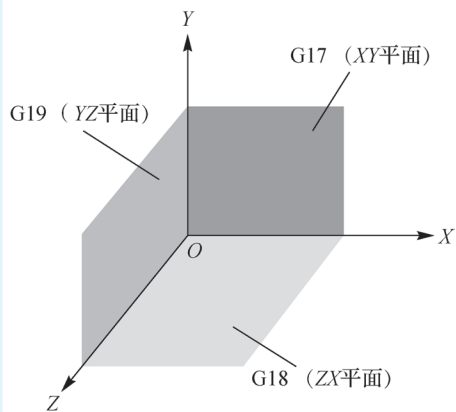


图 1-8 坐标平面选择指令示意图

(3) G19 表示选择 YZ 平面。

各坐标平面选择指令示意图如图 1-8 所示，一般数控车床默认在 ZX 平面内加工，数控铣床默认在 XY 平面内加工。其中，G17 可省略。

## 二、运动控制指令

### 1. 快速点定位指令 (G00)

G00 使刀具以点位控制方式从其所在点以最快速度移动到坐标系的另一点，其移动速度由参数来设定。当指令执行开始后，刀具沿着各个坐标方向同时按参数设定的速度移动，最后减速到达终点。不能用 F 指令功能。

编程格式：

G00 X(U) \_ Y(V) \_ Z(W) \_

在各坐标方向上指令有可能不是同时到达终点。刀具移动轨迹是几条线段的组合，不是一条直线。G00 一般用于加工前快速定位和加工后快速退刀，快移速度可由面板上快速修调按钮修正。G00 为模态指令，可用 G01、G02/G03 或 G32 注销。编程人员应了解所使用的数控系统的刀具移动轨迹情况，以避免加工中可能出现的碰撞。图 1-9 所示为 G00 快速移动轨迹。

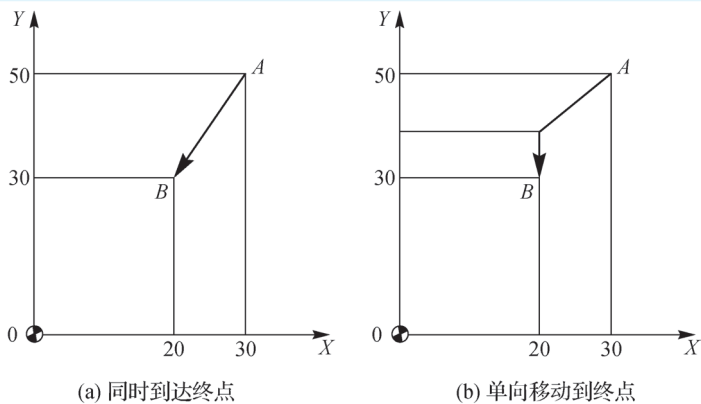


图 1-9 G00 快速移动轨迹

**例 1-5** 实现图 1-9 (a) 中从 A 点到 B 点的快速移动。

从 A 点到 B 点快速移动的程序段为

```
G90 G00 X20 Y0
```

### 2. 直线插补指令 (G01)

直线插补指令用于产生按指定进给速度  $F$  实现的空间直线运动。G01 指令用于两个坐标（或三个坐标）以联动的方式按程序段中规定的进给速度  $F$  插补加工出任意斜率的直线。

编程格式:

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

**说明:** X、Z 表示直线插补的终点坐标值, F 表示合成进给速度。

**例 1-6** 实现图 1-10 中从 A 点到 B 点的直线插补运动。

绝对方式编程:

G90 G01 X10 Y10 F100

增量方式编程:

G91 G01 X-10 Y-20 F100

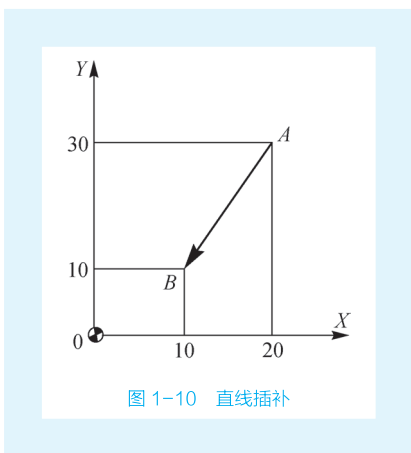


图 1-10 直线插补

### 3. 圆弧插补指令 (G02、G03)

G02 表示顺时针圆弧插补; G03 表示逆时针圆弧插补。

圆弧插补顺、逆方向判断: 沿垂直于要加工的圆弧所在平面的坐标轴从正向往负向看, 刀具相对于工件的转动方向是顺时针的用 G02, 反之用 G03, 如图 1-11 所示。

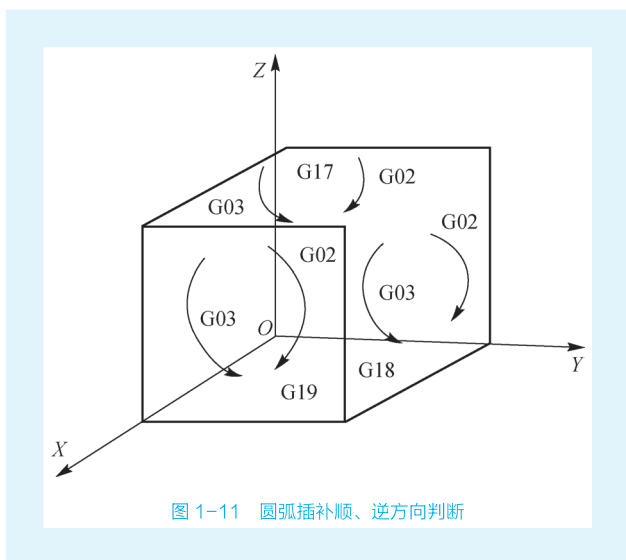


图 1-11 圆弧插补顺、逆方向判断

各平面内圆弧插补情况如图 1-12 所示, 图 1-12 (a) 所示为 XY 平面的圆弧插补, 图 1-12 (b) 所示为 ZX 平面的圆弧插补, 图 1-12 (c) 所示为 YZ 平面的圆弧插补。

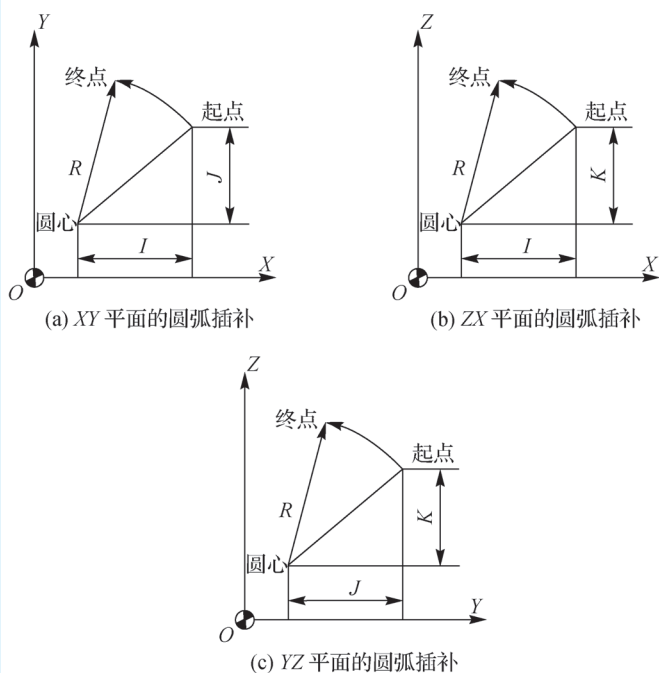


图 1-12 各平面内圆弧插补情况

程序格式:

XY平面的圆弧插补:

G17 G02 X\_ Y\_ I\_ J (R) \_ F\_

G17 G03 X\_ Y\_ I\_ J (R) \_ F\_

ZX平面的圆弧插补:

G18 G02 X\_ Z\_ I\_ K (R) \_ F\_

G18 G03 X\_ Z\_ I\_ K (R) \_ F\_

YZ平面的圆弧插补:

G19 G02 Y\_ Z\_ J\_ K (R) \_ F\_

G19 G03 Y\_ Z\_ J\_ K (R) \_ F\_

其中: G17、G18、G19为圆弧插补平面选择指令; X、Y、Z是圆弧插补的终点坐标; I、J、K是圆弧起点到圆心的增量坐标, 与G90、G91无关; R为指定圆弧半径, 当圆弧的圆心角 $\leq 180^\circ$ 时, R值为正, 当圆弧的圆心角 $>180^\circ$ 时, R值为负。

**例 1-7** 实现图 1-13 中的圆弧插补。已知圆弧 A 的起点为  $P_1$ , 终点为  $P_2$ 。

圆弧插补程序段:

G02 X321.65 Y280 I40 J140 F50

或

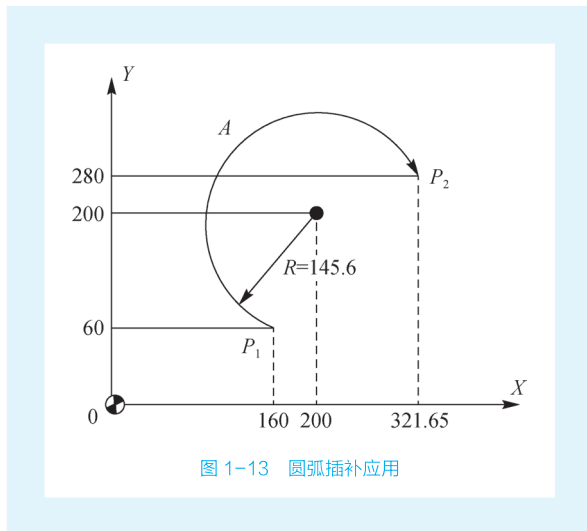
G02 X321.65 Y280 R-145.6 F50

若圆弧  $A$  的起点为  $P_2$ 、终点为  $P_1$ ，则圆弧插补程序段为

```
G03 X160 Y60 I-121.65 J-80 F50
```

或

```
G03 X160 Y60 R-145.6 F50
```



## 任务四 刀具补偿指令

### 任务描述

本任务主要让初学者了解数控程序编制过程中有关刀具补偿的概念、指令格式、编程方法及注意事项，学习刀具的半径补偿、长度补偿的基本知识。

### 任务分析

通过本任务的学习，可以掌握刀具补偿的基本概念与编程方法。在程序编制过程中能熟练应用刀具的半径补偿、长度补偿等知识。

### 任务教学

## 一、刀具半径补偿指令（G41、G42）

### 1. 刀具半径补偿的概念

实际上刀具都是有半径的。因此，用刀具的刀尖沿零件轮廓曲线加工，刀位点的运动轨迹即加工路线应该与零件轮廓曲线有一个半径值大小的偏移量。图 1-14 所示为刀位轨迹示意图。

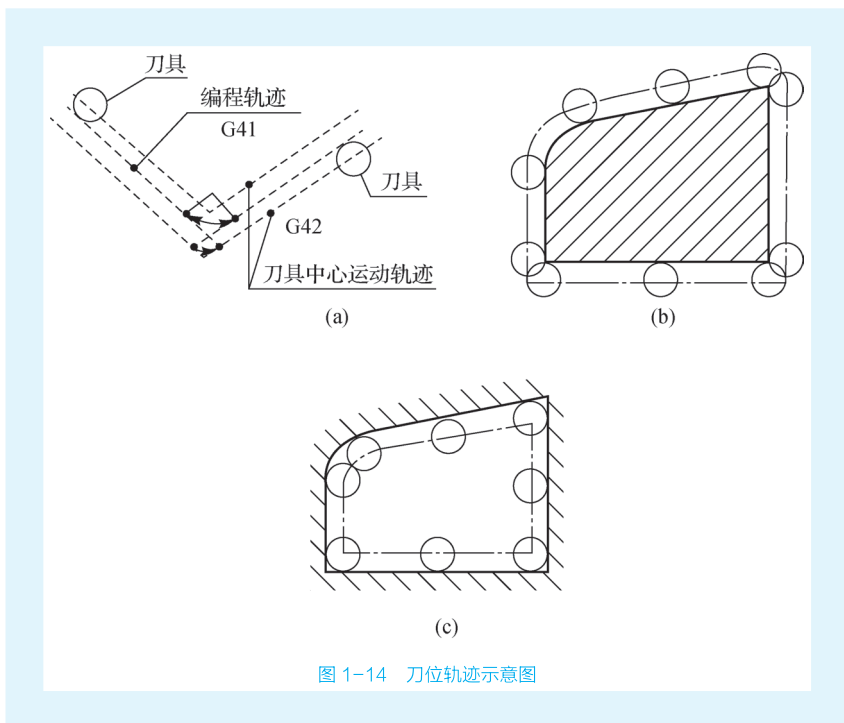


图 1-14 刀位轨迹示意图

使刀具的刀位点正确运动有以下两种方式。

- (1) 加工前计算出刀位点运动轨迹，再编程加工。
- (2) 按零件轮廓的坐标数据编程，由系统根据工件轮廓和刀具半径  $R$  自动计算出刀具中心运动轨迹。

## 2. 刀具半径补偿指令格式

当用半径为  $R$  的圆柱铣刀加工工件轮廓  $A$  时，假如机床不具备刀补功能，编程人员要按照距轮廓  $A$  间隔为  $R$  ( $R$  为刀具半径) 的刀具中心运动轨迹  $B$  的数据来编程。其运算有时是很复杂的。而当刀具刃磨后，刀具的半径减小，那么就要按新的刀具中心运动轨迹来编程，否则加工出来的零件会增加一个余量（刀具的磨损量）。

指令格式：

G41 G00 X\_ Y\_ H (D) \_

G41 G01 X\_ Y\_ H (D) \_

G42 G00 X\_ Y\_ H (D) \_

G42 G01 X\_ Y\_ H (D) \_

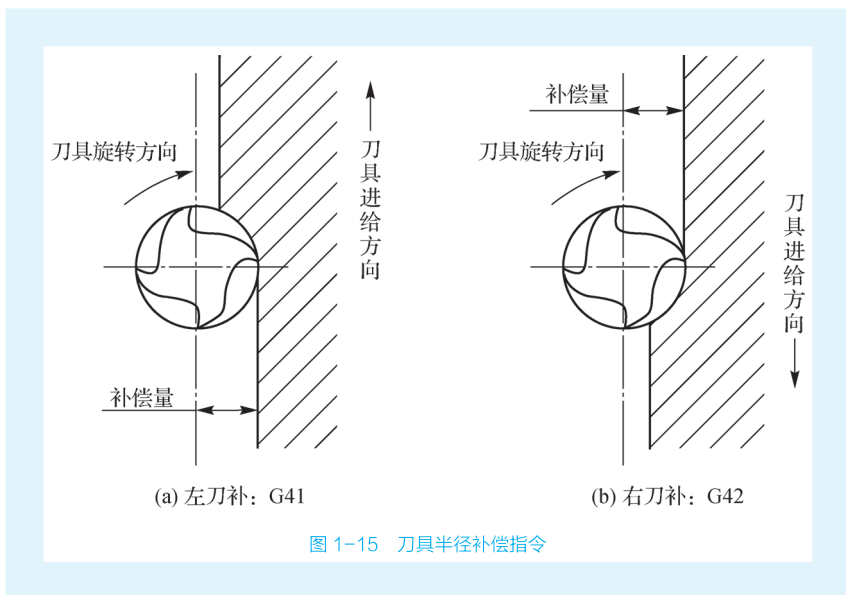
指令功能：数控系统根据工件轮廓和刀具半径自动计算出刀具中心运动轨迹，控制刀具沿刀具中心运动轨迹移动，加工出所需要的工件轮廓，从而避免编程时的复杂计算。

指令说明：

- (1)  $X$ 、 $Y$  表示刀具移动至工件轮廓上点的坐标值。
- (2)  $H$ （或  $D$ ）为刀具半径补偿寄存器地址符，寄存器存储刀具半径补偿值。
- (3) 如图 1-15 (a) 所示，若沿刀具进给方向看，刀具中心在零件轮廓左侧，则为刀具半径左补偿，用 G41 指令。

(4) 如图 1-15 (b) 所示, 若沿刀具进给方向看, 刀具中心在零件轮廓右侧, 则为刀具半径右补偿, 用 G42 指令。

(5) 通过 G00 或 G01 运动指令建立刀具半径补偿。



### 3. 刀具半径补偿执行过程

刀具半径补偿执行过程一般分为 3 步: 刀具半径补偿建立; 刀具半径补偿进行; 刀具半径补偿撤销 (用 G40 指令)。

刀具半径补偿功能还可以利用同一加工程序去适应不同的情况。

- (1) 利用刀具半径补偿功能做粗、精加工余量补偿。
- (2) 刀具磨损后, 重输刀具半径补偿值即可, 不必修改程序。
- (3) 利用刀具半径补偿功能进行凹凸模具的加工。

### 4. 刀具半径补偿编程规则

在开始切削加工前, 在离开工件的位置预先加上刀具半径补偿 (通常在  $XOY$  平面或与  $XOY$  平面平行的平面上), 之后进行  $Z$  轴方向的切入。为保证程序运行后得到正确的工件轮廓而不产生过切, 编程时必须注意加工程序的结构。如图 1-16 所示, 在  $XOY$  平面内 (或与  $XOY$  平面平行的平面内) 使用刀具半径补偿功能 (有  $Z$  轴移动) 进行轮廓切削, 设起点在  $(0, 0, 100)$  处, 当刀具半径补偿从起点开始时, 因为接近工件及切削工件时有  $Z$  轴移动, 所以按以下程序加工时就会出现过切现象, 并且系统不会报警停止。

```

O0001
N1 G90 G92 S1000 M03 ;
N2 G00 Z100 ;
N3 X0 Y0 ;
N4 G01 G41 X20 Y10 D01 F100 ;
N5 Z2 ;

```

```

N6 Z-10 ;
N7 Y50 ;
N8 X50 ;
N9 Y20 ;
N10 X10 ;
N11 G00 Z100 ;
N12 G40 X0 Y0 ;
N13 M05 ;
N14 M30

```

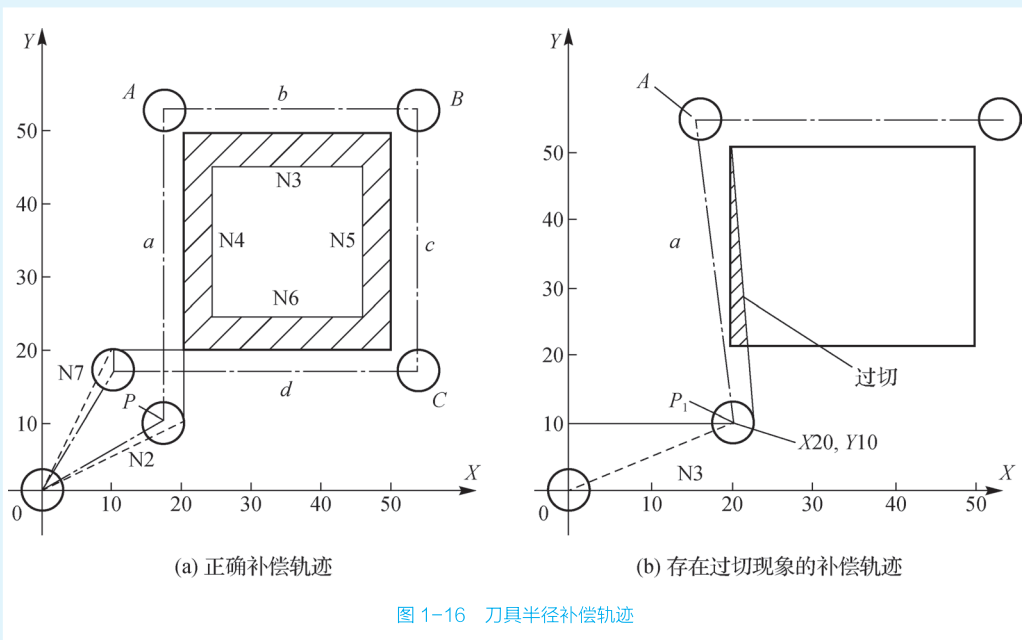


图 1-16 刀具半径补偿轨迹

根据刀具半径补偿功能编程规则，在  $XOY$  平面内（或与  $XOY$  平面平行的平面内）建立刀具半径补偿后，不能连续出现两段  $Z$  轴的移动指令，否则会出现补偿位置不正确的现象。当刀具半径补偿从  $N4$  程序段开始建立时，数控系统只能预读其后的两个程序段，而  $N5$ 、 $N6$  两个程序段都是  $Z$  轴移动指令，没有  $XOY$  平面内的坐标移动，系统无法判断下一步补偿的矢量方向，这时系统并不报警，补偿照样进行，但是  $N4$  程序段执行后刀心轨迹目标点发生了变化，不再是图 1-16 (a) 中的  $P$  点，而是图 1-16 (b) 中的  $P_1$  点，这样就产生了过切（图中阴影部分）。为避免产生这种过切，可以在建立半径补偿之前，选择一个不会发生干涉的安全位置，使  $Z$  轴以快速运动方式接近工件后，再以进给速度进给到切削深度。将上述程序进行修改，即

```

O0001
N1 G90 G92 S1000 M03 ;
N2 G00 Z100 ;
N3 X0 Y0 ;

```



```

N4 Z5 ;
N5 G01 Z-10 F100 ;
N6 G41 X20 Y10 D01 ;
N7 Y50 ;
N8 X50 ;
N9 Y20 ;
N10 X10 ;
N11 Z100 ;
N12 G40 X0 Y0 M05 ;
N13 M30

```

采用这个程序段进行加工，就可以避免过切的产生。

**例 1-8** 铣削加工如图 1-17 所示的轮廓，采用 20 mm 的立式铣刀。

参考程序：

```

O0010
N10 G92 X0 Y0 ;
N20 G91 G00 G42 X70 Y40 D01
S800 M03 M08 ;
N30 G01 X80 Y0 F100 ;
N40 G03 X40 Y40 I10 J40 ;
N50 G01 Y60 ;
N60 X-20 ;
N70 G02 X-80 I-40 ;
N80 G01 X-20 ;
N90 Y-100 ;
N100 G00 G40 X-70 Y-40 ;
N110 M05 ;
N120 M30

```

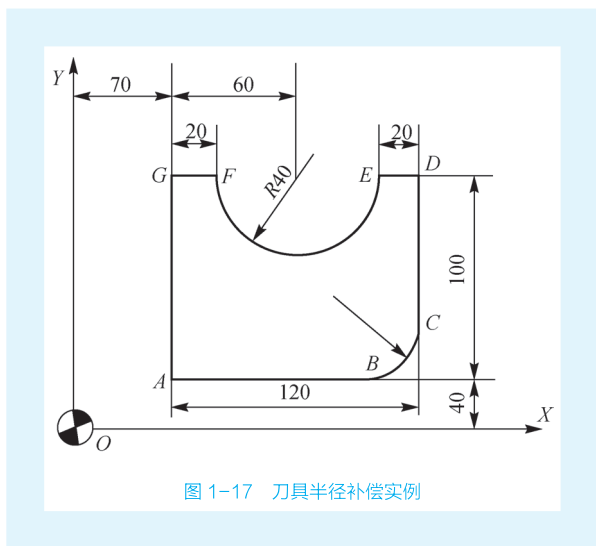


图 1-17 刀具半径补偿实例

## 二、刀具长度补偿指令（G43、G44）

使用刀具长度补偿指令，在编程时就不必考虑刀具的实际长度及各把刀具不同的长度尺寸。在加工时，用 MDI 方式输入刀具的长度尺寸，即可正确加工。当刀具磨损、更换刀具等原因引起刀具长度尺寸变化时，只需修正刀具长度补偿量，而不必调整程序或刀具。

G43 为正补偿指令，即将 Z 坐标尺寸字与 H 代码中长度补偿的量相加，按其结果进行 Z 轴运动。G44 为负补偿指令，即将 Z 坐标尺寸字与 H 代码中长度补偿的量相减，按其结果进行 Z 轴运动。G49 为撤销刀具长度补偿指令。

编程格式：

```
G01 G43/G44 Z_ H_// 建立补偿程序段
```

..... // 切削加工程序段

.....

G49 // 补偿撤销程序段

**例 1-9** 在图 1-18 所示的刀具长度补偿实例中, 写出对应的程序段。

图 1-18 (a) 所对应的程序段为

G01 G43 ZS H~

图 1-18 (b) 所对应的程序段为

G01 G44 ZS H~

其中: S 为 Z 向程序指令点坐标; H~ 的值为长度补偿量。

H 为刀具长度补偿代码地址字, 后面一般用两位数字表示代码, 代码与长度补偿量一一对应。刀具长度补偿量可用 MDI 方式输入。

