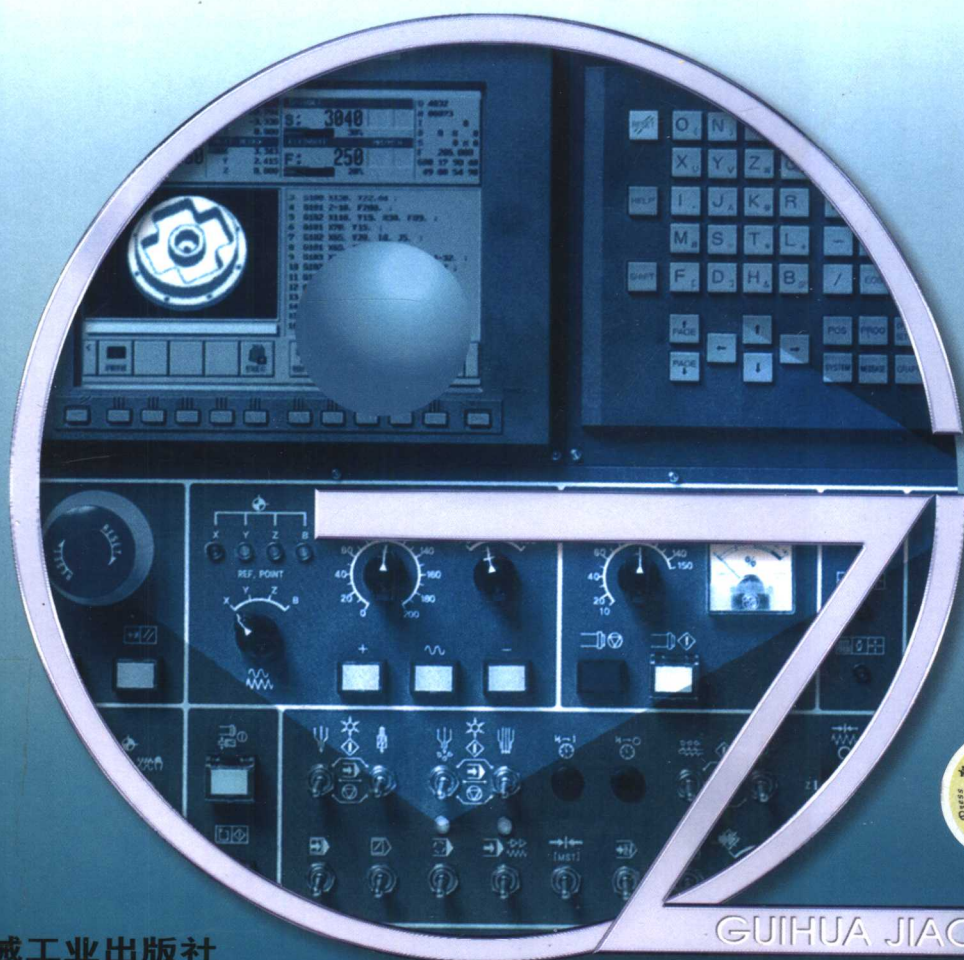




教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
五年制高等职业教育数控专业教学用书

# 数控加工工艺与编程

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编  
中国机械工业教育协会  
裴炳文 主编



67



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

GUIHUA JIAOCAI

gz

教育部职业教育与成人教育司推荐教材  
五年制高等职业教育数控专业教学用书

# 数控加工工艺与编程

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编  
中国机械工业教育协会

主 编 裴炳文  
副主编 娄锐  
参 编 王荪馨 翟肖墨  
徐夏明  
主 审 马进中



机械工业出版社

本书是教育部职业教育与成人教育司推荐的五年制高职规划教材。全书分为五章：第一章为数控编程基础，主要介绍数控编程的基本概念、数控机床的坐标系、程序段格式与数控系统的功能；第二章为数控车削加工工艺与编程，主要介绍数控车削加工工艺基础、数控车床的程序编制、数控车床编程实例、车削中心的程序编制；第三章为数控铣削加工工艺与编程，主要介绍了数控铣削加工工艺、数控铣床的程序编制、数控铣床编程综合实例；第四章为加工中心加工工艺与编程，主要介绍加工中心加工工艺、加工中心的程序编制、加工中心综合编程实例；第五章为数控电火花线切割加工工艺与编程，主要介绍数控电火花线切割加工原理及特点、数控线切割加工工艺指标、数控线切割加工工艺的制定、线切割编程、线切割编程实例。

本书适用于五年制高职数控技术应用专业教学使用，同时适用于数控技术应用专业领域两年制和三年制高职教学选用，也可供有关工程技术人员阅读参考。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工工艺与编程/裴炳文主编. —北京: 机械工业出版社, 2005.8 (2007.2 重印)

教育部职业教育与成人教育司推荐教材. 五年制高等职业教育数控专业教学用书

ISBN 978-7-111-16974-1

I. 数… II. 裴… III. ①数控机床-加工-高等学校: 技术学校-教材②数控机床-程序设计-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 080282 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王世刚 汪光灿

责任编辑: 汪光灿 版式设计: 冉晓华 责任校对: 程俊巧

责任印制: 洪汉军

北京京丰印刷厂印刷

2007 年 2 月第 1 版·第 3 次印刷

184mm×260mm·14.25 印张·348 千字

10 001—15 000 册

定价: 22.00 元

凡购本书, 如有缺页, 倒页, 脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

## 机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾问：郝广发

组长：杨黎明

成员：刘亚琴 李超群 惠新才 王世刚  
姜立增 李向东 刘大康 鲍风雨  
储克森 薛 涛

## 数控技术应用专业教材编审委员会

司徒渝	李向东	李登万	王明耀	王茂元
郭士义	周晓宏	裴炳文	马进中	郑晓峰
林 彬	张光跃	晏初宏	刘力群	许 菁
刘振兴	凌爱林	吴兆祥	赵国增	李世杰
夏 曠	赵居礼	汪光灿		

# 前 言

本书以机械教育发展中心和中国机械工业教育协会制定的数控技术应用专业五年制高职教学计划为依据,是国家机械职业教育数控专业教学指导委员会组织编写的高职高专规划教材,主要适用于五年制高职数控技术应用专业教学,同时适用于数控技术应用专业领域两年制和三年制高职教学使用,也可供有关工程技术人员阅读参考。

本书详细介绍了数控编程的基本概念、数控机床的坐标系、程序段格式与数控系统的功能;数控车削加工工艺基础、数控车床的程序编制、数控车床编程实例、车削中心的程序编制;数控铣削加工工艺、数控铣床的程序编制、数控铣床编程综合实例;加工中心加工工艺、加工中心的程序编制、加工中心综合编程实例;数控电火花线切割加工原理及特点、数控线切割加工工艺指标、数控线切割加工工艺的制定、线切割编程、线切割编程实例。

本书由山西机电职业技术学院裴炳文(第一章)、天津机电职业技术学院娄锐(第二章)、西安理工大学高等技术学院王荪馨(第三章)、山西机电职业技术学院翟肖墨(第四章)、江苏省无锡职教中心校徐夏明(第五章)编写。全书由裴炳文任主编,娄锐任副主编,由安徽职业技术学院马进中任主审。

本书编写过程中参考了大量文献和书籍,在此,对这些文献的作者深表感谢。

限于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请各位读者批评指正。

编者

2005年2月

# 目 录

## 前 言

<b>第一章 数控编程基础</b> .....	1
第一节 数控编程的基本概念 .....	1
第二节 数控机床的坐标系统 .....	3
第三节 数控加工程序与指令代码 .....	6
思考练习题 .....	9
<b>第二章 数控车削加工工艺与编程</b> .....	10
第一节 数控车削加工工艺基础 .....	11
第二节 数控车床的程序编制 .....	26
第三节 数控车削实训 .....	58
第四节 车削中心的程序编制 .....	70
思考练习题 .....	76
<b>第三章 数控铣削加工工艺与编程</b> .....	79
第一节 数控铣削加工工艺 .....	79
第二节 数控铣床的程序编制 .....	106
第三节 数控铣床综合编程实训 .....	128

思考练习题 .....	135
-------------	-----

<b>第四章 加工中心加工工艺与编程</b> .....	137
第一节 加工中心的加工工艺 .....	137
第二节 加工中心的程序编制 .....	161
第三节 加工中心综合编程实训 .....	177
思考练习题 .....	185
<b>第五章 数控电火花线切割加工工艺与编程</b> .....	188
第一节 数控电火花线切割加工概述 .....	188
第二节 数控线切割加工工艺指标及工艺参数 .....	189
第三节 数控线切割加工工艺的制定 .....	193
第四节 线切割机床的程序编制 .....	201
第五节 典型零件的加工实训 .....	215
思考练习题 .....	219
<b>参考文献</b> .....	220

# 第一章 数控编程基础

## 第一节 数控编程的基本概念

### 一、数控编程

数控机床从 1952 年诞生之日，它便与数控加工程序紧紧地联系在一起。因为数控加工程序包括了加工零件和控制机床动作等各种意图的全部信息，是数控机床的指挥者。那么我们把零件的加工工艺路线、工艺参数、刀具的运动轨迹、位移量、切削参数（主轴转数、进给量、背吃刀量等）以及辅助功能（换刀、主轴正转、反转，切削液开、关等），按照数控系统规定的指令代码及程序格式编写成加工程序，再把这一程序中的内容输入到数控机床的数控系统中，从而指挥机床加工零件。这种从零件分析到形成数控加工程序的全部过程叫数控编程。

由于数控机床要按照程序来加工零件，编程人员编制好程序以后，要输入到数控系统中来指挥机床工作。程序的输入一般是通过 MDI 或通信方式实现的。

(1) MDI 方式 即手动数据输入方式。它是利用数控机床操作面板上的键盘，将编好的程序直接输入到数控系统中，并可以通过显示器显示有关内容。MDI 的特点是输入简单，检验与校核、修改方便，适用于形状简单、程序不长的零件。

(2) 通信方式 即通过计算机自动编程系统生成数控加工程序，可存储在硬盘、软盘或专用存储卡这些存储介质上，如把计算机与数控机床上的 RS-232 标准串行接口连接起来，实现了计算机与机床之间的通信后，最终可把加工程序送入数控系统，从而指挥机床进行加工，这样提高了系统的可靠性和信息的传递效率。

这里需要特别说明的是，由于目前一般都采用微处理机数控系统，系统内存容量已大大增加，数控系统内存 ROM 中本身就有编程软件，实现了在线编程，并且零件程序也能较多地直接保存在数控系统内存 RAM 中。对于程序存储介质的使用，主要是指某一数控机床所加工的零件品种较多时，为了工厂均衡生产的需要，把某些暂时不用的零件程序保存在程序介质中，等以后用时再输入，即程序介质只起到外存储器的作用。它与以前硬线联接的 NC 数控机床对程序介质的使用要求是有本质区别的，以前要求数控机床与程序介质同步运行来加工零件。

### 二、数控编程的内容与步骤

#### 1. 数控编程的内容

数控编程的主要内容有：分析零件图样，确定数控加工工艺方案、数值计算、编写零件加工程序、校对程序及首件试切。

#### 2. 数控编程的步骤

1) 分析图样。在编程之前, 首先针对具体的零件图样进行细致的分析, 做好编程准备, 包括关注零件尺寸、加工精度、表面质量、使用材料、热处理状态等内容。

2) 确定加工工艺规程。在确定加工工艺过程时, 编程人员要根据图样对零件的技术要求, 选择加工方法, 确定加工顺序、加工路线、装卡方式、刀具及切削参数, 同时还要考虑所用数控机床的指令功能, 充分发挥机床的效能。加工路线要短, 要正确选择对刀点、换刀点, 减少换刀次数。

3) 数值计算。根据零件图的几何尺寸, 确定的工艺路线及设定的坐标系, 计算零件粗、精加工各运动轨迹, 得到刀位数据。对于点定位控制的数控机床(如数控冲床), 一般不需要计算。只是当零件图样坐标系与编程坐标系不一致时, 才需要对坐标进行换算。对于形状比较简单的零件(如直线和圆弧组成的零件)的轮廓加工, 需要计算出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心、两几何元素的交点或切点的坐标值, 有的还要计算刀具中心的运动轨迹坐标值。对于形状比较复杂的零件(如非圆曲线、曲面组成的零件), 需要用直线段或圆弧段逼近, 根据要求的精度计算出其节点坐标值。这种情况一般要用计算机来完成数值计算的工作。

4) 编写零件加工程序单。加工路线、工艺参数及刀位数据确定以后, 编程人员可以根据数控系统规定的功能指令代码及程序段格式, 逐段编写加工程序单。此外, 还应填写有关的工艺文件, 如数控加工工序卡片、数控刀具卡片、数控刀具明细表、工件安装和零点设定卡、数控加工程序单等。

5) 程序校验与首件试切。程序单必须经过校验和试切才能正式使用。校验的方法可以是让机床空运转, 即以笔代刀, 以坐标纸代替工件, 画出加工路线, 以检查机床的运动轨迹是否正确。也可以在有 CRT 图形显示屏的数控机床上, 用模拟刀具与工件切削过程的方法进行检验, 但这些方法只能检验出运动是否正确, 不能查出被加工零件的加工精度。因此, 有必要进行零件的首件试切。当发现有加工误差时, 应分析误差产生的原因, 找出问题所在, 加以修正。

从以上内容来看, 作为一名编程人员, 不但要熟悉数控机床的结构、数控系统的功能及标准, 而且还必须是一名好的工艺人员, 要熟悉零件的加工工艺、装卡方法、刀具、切削用量的选择等方面的知识。

### 三、数控编程的方法

对于零件程序编制分为手工编程和自动编程。

#### 1. 手工编程

手工编程是指编程员根据加工图样和工艺, 采用数控程序指令(目前一般都采用 ISO 数控标准代码)和指定格式进行程序编写, 然后通过操作键盘送入数控系统内, 再进行调试、修改等。上述编程的过程即属手工编程的形式。

对于加工形状简单的零件, 计算比较简单, 程序不多, 采用手工编程较容易完成, 而且经济、及时, 因此在点定位加工及由直线与圆弧组成的轮廓加工中, 手工编程仍广泛应用。对于形状复杂的零件, 特别是具有非圆曲线、列表曲线及曲面的零件, 用手工编程就有一定的困难, 有的甚至无法编出程序, 因此必须用自动编程的方法编制程序。

#### 2. 自动编程



自动编程即利用计算机进行辅助编制数控加工程序的过程。

如果使用数控语言编程方式时，编程人员只需根据图样的要求，编写出零件加工源程序，送入计算机，由计算机自动地进行数值计算、后置处理，打出零件加工程序单，或将加工程序通过直接通信的方式送入数控机床，指挥机床工作。

对于自动编程，目前已较多地采用了计算机 CAD/CAM 图形交互式自动编程，通过计算机有关处理后，自动生成的数控程序，可通过接口直接输入数控系统内。

## 第二节 数控机床的坐标系

### 一、机床坐标系

为了便于编程时描述机床的运动和说明空间位置，要明确数控机床的坐标轴和运动方向的问题。关于数控机床的坐标轴与运动方向在 JB/T3051-1999《数字控制机床坐标和运动方向的命名》标准中已有明确规定，该标准中采取的坐标轴和运动方向命名的规则如下所述。

#### 1. 刀具相对于静止的工件而运动的原则

即永远假定刀具相对于静止的工件坐标系而运动。这一原则使编程人员能够在不知道刀具运动还是工件运动的情况下确定加工工艺，并只要依据零件图样即可进行数控加工的程序编制。这一假定使编程工作有了统一的标准，无需考虑具体数控机床各部件的运动方向。

#### 2. 标准（机床）坐标系的规定

为了确定机床上的成形运动和辅助运动，必须先确定机床上运动的方向和运动的距离，这就需要有一个坐标系才能实现，这个坐标系就称为机床坐标系。

(1) 机床坐标系的规定 标准的机床坐标系是一个右手笛卡儿直角坐标系，如图 1-1 所示。图中规定了 X、Y、Z 三个直角坐标轴的方向，这个坐标系的各个坐标轴与机床的主要导轨相平行。根据右手螺旋法则，我们可以很方便地确定出 A、B、C 三个旋转坐标的方向。

(2) 运动方向的确定 数控机床的某一部件运动的正方向规定为增大刀具与工件之间距离的方向。但此规定在应用时是以刀具相对于静止的工件而运动的原则为前提条件的，也就是说这一规定可理解为：刀具离开工件的方向便是机床某一运动的正方向。

#### 1) Z 坐标的确定。Z 坐标的运动由传

递切削力的主轴所决定，与主轴轴线平行的标准坐标轴即为 Z 坐标。对于铣床、镗床、钻床等是主轴带动刀具旋转；对于车床、磨床和其他成形表面的机床是主轴带动工件旋转。如机床上有几个主轴，则选一垂直于工件装夹平面的主轴作为主要的主轴；如主要的主轴始终平行于标准的三坐标系统中的一个坐标，则这个坐标就是 Z 坐标；如主要的主轴能摆动，

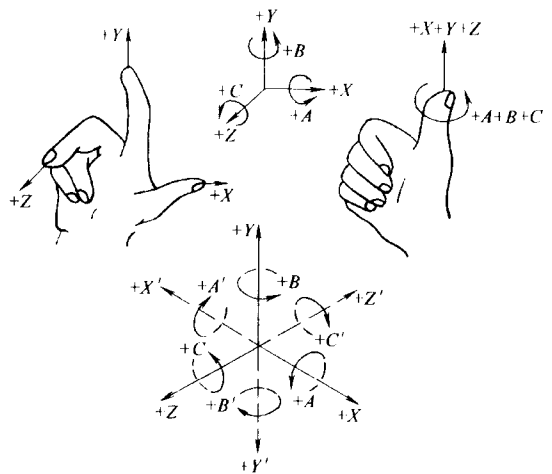


图 1-1 右手笛卡儿直角坐标系

在摆动范围内使主轴只平行于三坐标系统中的两个或三个坐标，则取垂直于机床工作台装夹面的方向为  $Z$  坐标；如机床无主轴（如数控龙门刨床），则  $Z$  坐标垂直于工件装夹平面。

$Z$  坐标的正方向是增加刀具与工件之间距离的方向。对于钻、镗加工，钻入或镗入工件的方向是  $Z$  坐标的负方向。

2)  $X$  坐标的确定。 $X$  坐标运动一般是水平的，它平行于工件的装夹平面，是刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。

在无回转刀具和无回转工件的机床上（如牛头刨床） $X$  坐标平行于主要切削方向，以该主切削力方向为正方向。

在有回转工件的机床上，如车床、磨床等， $X$  坐标方向是在工件的径向上，而且平行于横向滑座，以刀具离开工件回转中心的方向为其正方向（见图 1-2）。

在有刀具回转的机床上（如铣床），若  $Z$  坐标是水平的（主轴是卧式的），当由主要刀具主轴向工件看时， $X$  运动的正方向指向右方；若  $Z$  坐标是垂直的（主轴是立式的），当由主要刀具主轴向立柱看时， $X$  运动的正方向指向右方（见图 1-3）。

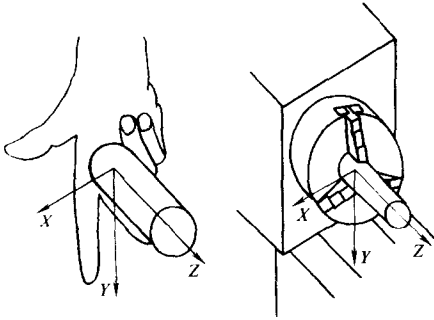


图 1-2 卧式车床坐标系

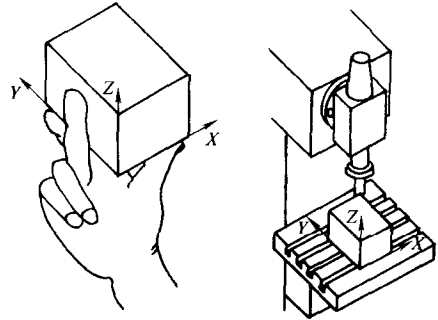


图 1-3 立式铣床坐标系

3)  $Y$  坐标的确定。正向  $Y$  坐标的运动，根据  $X$  和  $Z$  的运动，按照右手笛卡儿坐标系来确定。

4) 旋转运动坐标。 $A$ 、 $B$ 、 $C$  相应地表示其轴线平行于  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的旋转运动。 $A$ 、 $B$ 、 $C$  的正向为在相应  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标正向上按照右手螺旋法则取右螺旋纹前进的方向。

5) 机床坐标系的原点及附加坐标。标准坐标系的原点位置是任意选择的。如果在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  主要直线运动之外另有第二组平行于它们的坐标运动，就称为附加坐标。它们应分别被指定为  $U$ 、 $V$ 、 $W$ ，如还有第三组运动，则分别指定为  $P$ 、 $Q$  和  $R$ 。如果在第一组回转运动  $A$ 、 $B$ 、 $C$  之外，还有平行或不平行于  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的第二组回转运动，可指定为  $D$ 、 $E$  和  $F$ 。

6) 工件的运动。为了体现机床的移动部件是工件而不是刀具，往往在图中以加“ $\leftarrow$ ”的字母来表示运动的正方向，即带“ $\leftarrow$ ”的字母表示工件的运动，不带则表示刀具运动，二者所表示的运动方向正好相反。

## 二、工件坐标系

当零件被装卡于工装并在机床工作台上安放好以后，如果使用机床坐标系来编制数控加

工程序，则会感到很麻烦。因为零件的形状及尺寸均以有关基准来标注，而并未在零件图样上反映出它在数控机床加工空间中的位置，即使经过对刀或在线检测等手段获知其位置数据，如要编制数控加工程序时，尚需换算成零件各基点在机床坐标系中的数据。基于以上原因，就需要在与工件有确切位置关系且易于编程的空间点处建立工件坐标系。

工件坐标系是人为设定的，用于确定工件几何图形上各几何要素的位置，为编程提供数据基础，所以又叫作编程坐标系，该坐标系的原点叫作工件原点。该坐标系与机床坐标系是不重合的。基础工件坐标系的坐标轴及运动方向与机床坐标系保持一致。

工件坐标系的应用分为两个步骤：

(1) 确定工件坐标系 由编程人员在工件图样上确定工件原点，编制数控加工程序。数控车床上加工工件时，工件原点一般设在主轴中心线与工件右端面（或左端面）的交点处。数控铣床或加工中心加工工件时，工件原点一般设在进刀方向一侧工件外轮廓表面的某个角上或对称中心上。

(2) 设置工件坐标系 加工时，因工件的装夹位置是相对于机床而固定的，所以工件原点在机床坐标系中的位置也就确定了。通过一定手段，获得工件原点在机床坐标系中的位置数据，再将此偏置量设置到有关偏置寄存器中；便可用 G54 ~ G59 等指令调用相应的工件坐标系；或者用指令（G50、G92）的方式规定好工件坐标系与当前刀具位置的关系。这样在工件坐标系中编制的程序便能在机床坐标系中运行了。

### 三、绝对坐标与增量（相对）坐标

在编程时，表示刀具（或机床）运动位置的方式通常有两种，一种是绝对坐标，另一种是增量（相对）坐标。所谓绝对坐标是表示刀具（或机床）运动位置的坐标值，都是相对于固定的坐标原点给出的。增量坐标所表示的刀具（或机床）运动位置的坐标值是相对于前一位置的，而不是相对于固定的坐标原点给出的。相对坐标与运动方向有关，常使用第二坐标  $U$ 、 $V$ 、 $W$  表示增量坐标，且  $U$ 、 $V$ 、 $W$  分别与  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  平行且同向。在图 1-4a 中， $A$ 、 $B$ 、 $C$  三点的绝对坐标值分别为  $X_A = 10$ ， $Y_A = 15$ ， $X_B = 25$ ， $Y_B = 26$ ， $X_C = 18$ ， $Y_C = 40$ ，而图 b 相对坐标分别为  $U_A = 0$ ， $V_A = 0$ ， $U_B = 15$ ， $V_B = 11$ ， $U_C = -7$ ， $V_C = 14$ 。

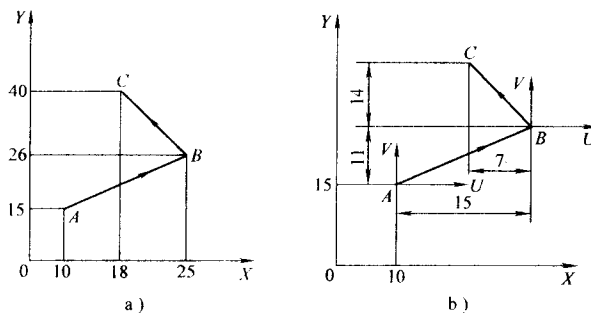


图 1-4 绝对坐标系统与增量（相对）坐标系

### 第三节 数控加工程序与指令代码

#### 一、程序结构与程序段格式

标准 GB/T8870—1988 对零件加工程序的结构与程序段格式作出了相应规定，现简要介绍如下：

##### 1. 程序的结构

一个完整的数控加工程序由程序号、程序段和程序结束三部分组成。

在加工程序的开头要有程序号，以便进行程序检索。程序号就是给零件加工程序一个编号，并说明该零件加工程序开始，常用字符“%”及其后 4 位十进制数表示，形式如“% × × × ×”，数字中前零可省略，有时也用字符“O”或“P”打头编号。

由多个程序段组成加工程序的全部内容，用以表达数控机床要完成的全部动作。

程序结束是以辅助功能指令 M02、M30 或 M99（子程序结束）作为整个程序的结束符号，来结束零件加工过程。

例如：%0001

```
N002 G92 X40.0 Y30.0;
N004 G90 G00 X28.0 T01 S800 M03;
N006 G01 X-8.0 Y8.0 F200;
N008 X0 Y0;
N010 X28.0 Y30.0;
N012 G00 X40.0;
N014 M02;
```

##### 2. 程序段格式

零件加工程序是由程序段组成的，每个程序段又由若干个数据字组成，每个字是控制系统的具体指令，它是由表示地址的英文字母、特殊文字和数字集合而成。

程序段格式是指一个程序段中字、字符、数据的安排形式，可分为固定程序段格式和可变程序段格式。可变程序段格式又分为使用地址符和使用分隔符两种程序段格式。下面就常用的字-地址程序段格式作如下说明。

字-地址程序段格式是由语句号字、数据字和程序段结束组成。各字前有地址，各字的排列顺序要求不严格，数据的位数可多可少，不需要的字以及与上一程序段相同的续效字可以不写。其形式如下：

N\_\_ G\_\_ X\_\_ Y\_\_ Z\_\_……F\_\_ S\_\_ T\_\_ M\_\_ LF;

其中 N\_\_ 为语句号字；

G\_\_ 为准备功能字；

X\_\_ Y\_\_ Z\_\_ 及 U\_\_ V\_\_ W\_\_ I\_\_ J\_\_ K\_\_ 等为尺寸字；

F\_\_ 为进给功能字；

S\_\_ 为主轴转速功能字；

T\_\_ 为刀具功能字；

M\_\_ 为辅助功能字；

LF 为程序段结束符。ISO 标准代码为“NL”或“LF”；EIA 标准代码为“CR”；有的用符号“;”或“\*”。

地址符定义见表 1-1。

表 1-1 地址符定义表

机 能	地 址	意 义
程序号	%、O、P	程序编号，子程序的指定
顺序号	N	顺序编号（程序段号）
准备机能	G	指令动作方式（直线圆弧等）
坐标字	X、Y、Z	坐标轴的移动指令
	I、J、K	圆弧中心坐标
	U、V、W、A、B、C	附加轴的移动、旋转指令
进给速度	F	进给速度的指令
主轴机能	S	主轴旋转速度的指令（r/min）
刀具机能	T	刀具编号的指令
辅助机能	M、B	机床开/关指令，指定工作台分度等
补偿号	H、D	补偿号指定
暂停	P、X	暂停时间指定
重复次数	L	子程序及固定循环的重复次数
圆弧半径	R	实际上是坐标字的一种

## 二、程序段中的指令代码

为了更好地设计、制造、维修和使用数控机床的方便，我国根据实际情况在 ISO 及 EIA 有关标准的基础上制定了相应的数控标准。除了在坐标系统方面使用 GB/T8870—1999《数字控制机床坐标和运动方向的命名》标准外，编程时尚需遵循 JB/T3208—1999《数控机床穿孔带程序段格式中的准备功能 G 和辅助功能 M 的代码》的标准规定。

标准中虽已规定了准备功能指令 G 和辅助功能指令 M 的功能，但在编制加工程序时，由于有些国家或公司集团所制定的 G、M 代码的功能含义不完全相同，所以必须按照用户说明书中的规定进行编程。下面分别针对 JB/T3208—1999 标准中的 G 指令、M 指令功能作一简单介绍。

### 1. 准备功能指令

准备功能指令，也称为“G 功能指令”，简称 G 功能、G 指令或 G 代码。该指令的作用，主要是指定数控机床的加工方式，为数控装置的插补运算、刀补运算、固定循环等作好准备。G 指令由字母 G 和其后跟两位数字组成，从 G00 至 G99 共有 100 种，见表 1-2。

表 1-2 准备功能 G 代码及功能(JB/T3208—1999)

代 码	功 能	程序指 令类型	功能仅在出 现段内有效	代 码	功 能	程序指 令类型	功能仅在出 现段内有效
G00	点定位	a		G07	不指定	#	#
G01	直线插补	a		G08	加速		*
G02	顺时针方向圆弧插补	a		G09	减速		*
G03	逆时针方向圆弧插补	a		G10~G16	不指定	#	#
G04	暂停		*	G17	XY 平面选择	c	
G05	不指定	#	#	G18	XZ 平面选择	c	
G06	抛物线插补	a		G19	YZ 平面选择	c	

(续)

代 码	功 能	程序指 令类型	功能仅在出 现段内有效	代 码	功 能	程序指 令类型	功能仅在出 现段内有效
G20 ~ G32	不指定	#	#	G57	直线偏移 XY	f	
G33	螺纹切削,等螺距	a		G58	直线偏移 XZ	f	
G34	螺纹切削,增螺距	a		G59	直线偏移 YZ	f	#
G35	螺纹切削,减螺距	a		G60	准确定位 1(精)	h	
G36 ~ G39	永不指定	#	#	G61	准确定位 2(中)	h	
G40	刀具补偿/刀具偏置注销	d		G62	快速定位(粗)	h	
G41	刀具补偿—左	d		G63	攻螺纹		*
G42	刀具补偿—右	d		G64 ~ G67	不指定	#	#
G43	刀具偏置—正	# (d)	#	G68	刀具偏置,内角	# (d)	#
G44	刀具偏置—负	# (d)	#	G69	刀具偏置,外角	# (d)	#
G45	刀具偏置 + / +	# (d)	#	G70 ~ G79	不指定	#	#
G46	刀具偏置 + / -	# (d)	#	G80	固定循环注销	e	
G47	刀具偏置 - / -	# (d)	#	G81 ~ G89	固定循环	e	
G48	刀具偏置 - / +	# (d)	#	G90	绝对尺寸	j	
G49	刀具偏置 0 / +	# (d)	#	G91	增量尺寸	j	
G50	刀具偏置 0 / -	# (d)	#	G92	预置寄存		*
G51	刀具偏置 + / 0	# (d)	#	G93	时间倒数进给率	k	
G52	刀具偏置 - / 0	# (d)	#	G94	每分钟进给	k	
G53	直线偏移,注销	f		G95	主轴每转进给	k	
G54	直线偏移 X	f		G96	恒线速度	i	
G55	直线偏移 Y	f		G97	每分钟转数(主轴)	i	
G56	直线偏移 Z	f		G98 ~ G99	不指定	#	#

注: 1. “#”号表示:如选作特殊用途,必须在程序格式解释中说明。

2. 指定功能代码中,程序指令类型标有 a, b, c, ……等指示的,为同一类型代码。程序中,这种指令为模态指令型,可以被同类字母的指令所注销或代替。
3. 在表中第三栏括号中的字母(d)表示:可以被同栏中没有括号的字母 d 所注销或代替,亦可被有括号的字母(d)所注销或代替。
4. “\*”号表示功能仅在所出现的程序段内有效。

G 指令有两种:即非模态指令和模态指令(续效代码)。

(1)非模态指令 这种 G 指令只在被指定的程序段执行中才起作用,如 G04 指令。

(2)模态指令 这种指令在同组其他的 G 指令出现并被执行以前一直有效。不同组的 G 指令,在同一程序段中可以指定多个。如果在同一程序段中指定了两个或两个以上的同一组 G 指令则最后指定的有效。G 指令通常位于程序段中坐标字之前。

## 2. 辅助功能指令

辅助功能指令,也称为 M 功能、M 指令或 M 代码。它是字母 M 和其后的两位数字组成。它主要用作机床加工时的辅助性动作控制,如主轴的正反转、切削液的开关等。一个程序段中只能指定一个 M 代码。如果指定了一个以上时,则最后的一个 M 代码有效。M 指令共有 100 种,从 M00 至 M99,见表 1-3。M 指令常因生产厂家及机床结构、规格的不同而各有差异,使用时应注意查阅随机使用说明书。

表 1-3 辅助功能 M 代码及功能(JB/T3208—1999)

代码	功 能	功能开始时间		功能保持到被注销或被适当程序指令代替	功能仅在所出现的程序段内有作用	代码	功 能	功能开始时间		功能保持到被注销或被适当程序指令代替	功能仅在所出现的程序段内有作用
		与程序指令运动同时开始	在程序指令运动完成后开始					与程序指令运动同时开始	在程序指令运动完成后开始		
M00	程序停止		*		*	M36	进给范围 1	*		*	
M01	计划停止		*		*	M37	进给范围 2	*		*	
M02	程序结束		*		*	M38	主轴速度范围 1	*		*	
M03	主轴顺时针方向	*		*		M39	主轴速度范围 2	*		*	
M04	主轴逆时针方向	*		*		M40 ~ M45	如有需要作为齿轮换挡,此外不指定	#	#	#	#
M05	主轴停止		*		*	M46 ~ M47	不指定	#	#	#	#
M06	换刀	#	#		*	M48	注销 M49		*	*	
M07	2 号切削液开	*		*		M49	进给率修正旁路	*		*	
M08	1 号切削液开	*		*	*	M50	3 号切削液开	*		*	
M09	切削液关		*	*		M51	4 号切削液开	*		*	
M10	夹紧	#	#	*		M52 ~ M54	不指定	#	#	#	#
M11	松开	#	#	*		M55	刀具直线位移,位置 1	*		*	
M12	不指定	#	#	#	#	M56	刀具直线位移,位置 2	*		*	
M13	主轴顺时针方向,切削液开	*		*		M57 ~ M59	不指定	#	#	#	#
M14	主轴逆时针方向,切削液开	*		*		M60	更换工件		*		*
M15	正向快速运动	*			*	M61	工件直线位移,位置 1	*		*	
M16	负向快速运动	*			*	M62	工件直线位移,位置 2	*		*	
M17 ~ M18	不指定	#	#	#	#	M63 ~ M70	不指定	#	#	#	#
M19	主轴定向停止		*	*		M71	工件角度位移,位置 1	*		*	
M20 ~ M29	永不指定	#	#	#	#	M72	工件角度位移,位置 2	*		*	
M30	纸带结束		*		*	M73 ~ M89	不指定	#	#	#	#
M31	互锁旁路	#	#		*	M90 ~ M99	永不指定	#	#	#	#
M32 ~ M35	不指定	#	#	#	#						

### 思考练习题

- 1-1 你对数控编程的理解是怎样的?
- 1-2 机床坐标系的作用是什么?
- 1-3 试确定卧式数控铣床的坐标轴及其正向。
- 1-4 试确定立式、卧式加工中心的坐标轴及其正向。

## 第二章 数控车削加工工艺与编程

数控车床在制造业是应用最为广泛的一种数控机床，自数控车床问世以来，成功的解决了约占机械加工总量 70% ~ 80% 的多品种、中小批量零件生产的高效自动化加工问题。数控车削的主运动是工件装卡在主轴上的旋转运动，配合刀具在平面内的运动可加工出回转体零件。回转体零件又分为轴套类和轮盘类两种。轴套类和轮盘类零件的区别在于长径比，一般将长径比大于 1 的零件视为轴类零件；长径比小于 1 的零件视为轮盘类零件。图 2-1 所示，数控车削加工包括端面车削、外圆柱面车削、圆锥面和圆弧面车削、内圆柱面和圆锥面车削（镗孔）、钻孔加工、内外螺纹车削、内外槽车削、车断等，在数控车床上还可以车削形状复杂的外轮廓面。

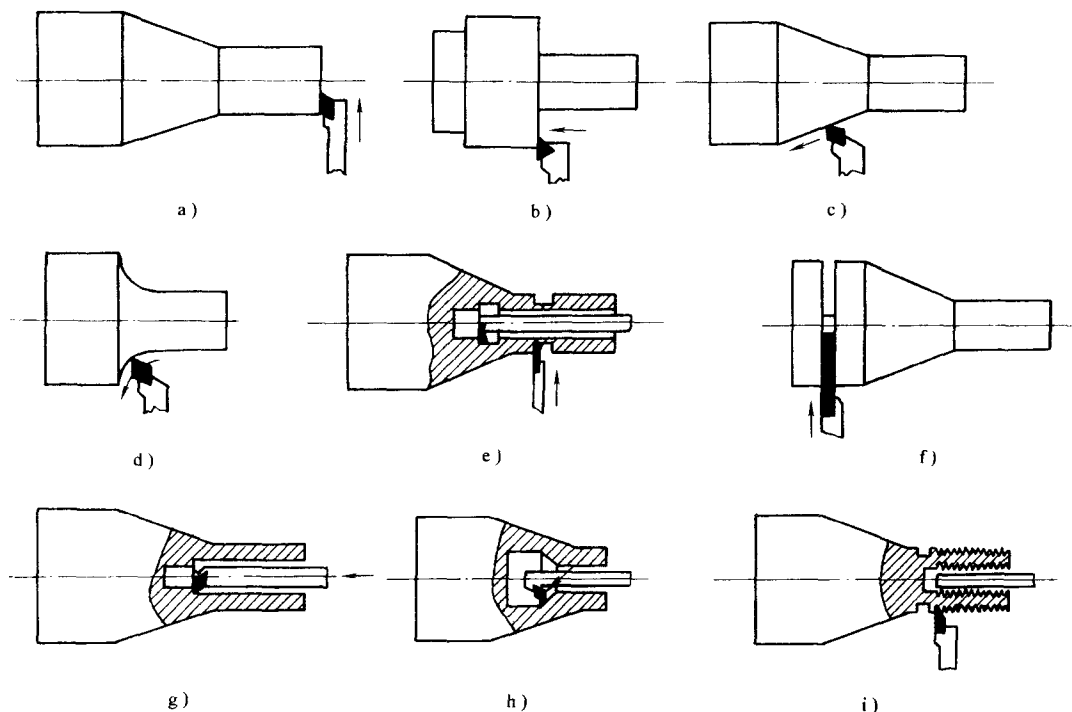


图 2-1 数控车削加工的主要内容

- a) 端面车削 b) 柱面车削 c) 锥面车削 d) 圆弧面车削  
e) 内、外槽车削 f) 车断 g) 镗孔 h) 镗内锥孔 i) 车削内、外螺纹

近年来，随着国内数控机床制造业的发展，以数控车床为代表的复合加工机床（车削加工中心）发展迅速。例如，在车铣中心上可以实现车削和铣削的复合加工，即在车削加工的回转体表面上铣削平面、径向孔和沟槽等，极大地提高了加工效率和功能。在数控车床和车



削中心上加工的零件，一般采用手工编程，对具有复杂外轮廓的回转体零件可以采用自动编程。本章介绍数控车削加工工艺及手工编程方法。

## 第一节 数控车削加工工艺基础

### 一、数控车削加工的主要对象

与卧式车床加工相比，全功能数控车床的加工对象有其突出的特点：

#### 1. 加工精度要求高的零件

与卧式车床相比，数控车床的传动系统和机床结构具有很高的精度、刚度、动刚度和热稳定性，机床本身的零部件具有很高的制造精度，特别是数控车床上能精确对刀，刀具磨损以后可以进行补偿，因此能够加工形状和尺寸精度要求较高的零件。表 2-1 所示为 GB/T16462—1996《数控卧式车床 精度检验》中规定的位置精度指标，一般情况下机床的加工精度通常是定位精度的 2~3 倍，从表中数据可以看出，数控车床的定位精度是重复定位精度的 2.3~2.5 倍。对于批量生产的中、小型零件，机床的重复定位精度直接影响一批零件加工尺寸的一致性。

表 2-1 数控车床位置精度指标

精度项目	位置精度允差/mm						X 轴
	Z 轴 (对应不同的顶尖距 DC)						
	DC	≤500	>500 ~ 1000	>1000 ~ 1500	>1500 ~ 2000	>2000	
定位精度	A	0.020	0.025	0.032	0.040	DC 每增加 1000, 允差值增加 0.010	0.016
重复定位精度	R	0.008	0.010	0.013	0.016	0.020	0.007

#### 2. 表面粗糙度值要求小的零件

对于车削加工，在工件材料、精车余量和刀具几何参数一定的条件下，被加工表面的粗糙度值取决于切削速度和进给量。如在卧式车床上车削圆锥面或端面时，由于主轴转速在切削过程中是恒定的，使得切削速度随切削直径的变化而变化，因此加工出的表面其粗糙度值是不一致的。而在数控车床上利用系统的恒线速控制功能，可以使切削过程保持最佳的切削速度，加工出的整个表面粗糙度值既小又一致。数控车床还适合于车削各加工部位具有不同的表面粗糙度要求的零件，即粗糙度值要求大的表面，在对应的加工程序段中指令大的进给量；粗糙度值要求小的表面，在对应的加工程序段中指令小的进给量。

#### 3. 轮廓形状复杂的零件

数控车床使用圆弧插补指令可以加工零件上的圆弧轮廓，对于任意平面曲线所组成轮廓的回转体零件，如非圆曲线、列表曲线等轮廓，虽多数数控系统不具备这些曲线的插补功能，但全功能型数控车床可经过较复杂的数值计算，即在满足允许的编程误差的条件下，用