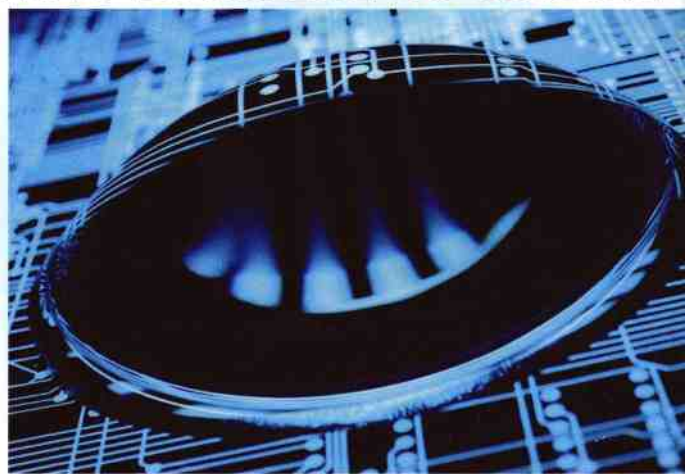


高级技工学校教材


GAOJI JIGONG XUEXIAO JIAOCAI

# 高级数控车削 编程与加工

GAOJI SHUKONG CHEXIAO BIANCHENG YU JIAGONG



主编 徐美刚 苏源

 中国劳动社会保障出版社

高级技工学校教材

# 高级数控车削编程与加工

主编 徐美刚 苏 源

中国劳动社会保障出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

高级数控车削编程与加工/徐美刚, 苏源主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2009  
高级技工学校教材

ISBN 978 - 7 - 5045 - 8059 - 7

I. 高… II. ①徐…②苏… III. 数控机床: 车床-车削-程序设计 IV. TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 196970 号

**中国劳动社会保障出版社出版发行**

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

\*

北京鑫正大印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 19.25 印张 453 千字

2009 年 11 月第 1 版 2009 年 11 月第 1 次印刷

定价: 34.00 元

读者服务部电话: 010 - 64929211

发行部电话: 010 - 64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010 - 64954652

# 简 介

本教材依据原劳动和社会保障部所颁布的《国家职业标准》和数控车工职业技能鉴定标准编写。内容包括：数控机床加工基础与刀具系统、基本编程指令、简化编程和补偿功能、子程序的应用、中级数控车削编程与操作综合技能训练、用户宏程序功能、用户宏程序功能的编程应用、高级数控车削编程与操作综合技能训练、数控机床的精度与性能检验、数控机床的安装、保养与维修。

本教材以高级数控车削编程与操作为主线，将技能操作与理论知识有机地结合在一起，既有详尽的工艺分析、刀具选择，又有完整的程序及说明。

本教材由徐美刚、苏源主编，李学燎主审。李海滨、王军宁、赵荣幸参加编写。

# 目 录

单元一 数控机床加工基础与刀具系统 .....	( 1 )
课题一 数控车床 .....	( 1 )
课题二 坐标系统 .....	( 6 )
课题三 程序编制的工艺处理 .....	( 12 )
课题四 数控车削刀具系统 .....	( 16 )
课题五 编写数控加工技术文件 .....	( 37 )
课题六 编写零件加工程序 .....	( 38 )
单元练习题 .....	( 39 )
单元二 基本编程指令 .....	( 40 )
课题一 准备功能 (G 功能) .....	( 40 )
课题二 插补功能 .....	( 53 )
课题三 进给功能 .....	( 58 )
课题四 参考点、坐标系和坐标尺寸指令 .....	( 62 )
课题五 主轴速度功能 (S 功能) 和刀具功能 (T 功能) .....	( 70 )
单元练习题 .....	( 79 )
单元三 简化编程和补偿功能 .....	( 80 )
课题一 车削固定循环 (G90、G92、G94) .....	( 80 )
课题二 车削宏指令 (复合循环) (G70 ~ G76) .....	( 84 )
课题三 轮廓简化编程 .....	( 98 )
课题四 刀具补偿功能 .....	( 100 )
课题五 双刀架的镜像指令 (G68、G69) .....	( 133 )
单元练习题 .....	( 134 )
单元四 子程序的应用 .....	( 135 )
课题一 子程序的概念与功能 .....	( 135 )

课题二 子程序的编号 .....	(139)
课题三 子程序识别与嵌套 .....	(141)
课题四 子程序加工实例 .....	(145)
单元练习题 .....	(147)
<b>单元五 中级数控车削编程与操作综合技能训练 .....</b>	<b>(148)</b>
课题一 综合训练一 .....	(148)
课题二 综合训练二 .....	(154)
课题三 综合训练三 .....	(161)
课题四 综合训练四 .....	(163)
课题五 综合训练五 .....	(165)
课题六 综合训练六 .....	(167)
课题七 综合训练七 .....	(169)
课题八 综合训练八 .....	(171)
<b>单元六 用户宏程序功能 .....</b>	<b>(174)</b>
课题一 用户宏程序本体 .....	(174)
课题二 宏程序的控制指令 .....	(179)
课题三 用户宏程序的调用格式 .....	(183)
课题四 宏程序语句和 NC 语句 .....	(191)
单元练习题 .....	(193)
<b>单元七 用户宏程序功能的编程应用 .....</b>	<b>(195)</b>
课题一 外圆粗车循环功能的宏程序编制 .....	(195)
课题二 端面粗车循环功能的宏程序编制 .....	(196)
课题三 非圆曲线轮廓的宏程序编制 .....	(198)
单元练习题 .....	(202)
<b>单元八 高级数控车削编程与操作综合技能训练 .....</b>	<b>(204)</b>
课题一 综合训练一 .....	(204)
课题二 综合训练二 .....	(214)
课题三 综合训练三 .....	(217)

课题四 综合训练四 .....	(219)
课题五 综合训练五 .....	(222)
课题六 综合训练六 .....	(225)
课题七 综合训练七(高级) .....	(228)
课题八 综合训练八(高级) .....	(230)
<b>单元九 数控机床的精度与性能检验 .....</b>	<b>(233)</b>
课题一 概述 .....	(233)
课题二 数控机床的几何精度及其检验 .....	(237)
课题三 数控机床的定位精度及其检验 .....	(263)
课题四 数控机床的工作精度 .....	(267)
课题五 机床性能及数控功能检验 .....	(269)
单元练习题 .....	(272)
<b>单元十 数控机床的安装、保养与维修 .....</b>	<b>(273)</b>
课题一 数控机床的安装与调试 .....	(273)
课题二 数控机床故障诊断与维修的基本常识 .....	(275)
课题三 数控机床常见机械故障及其诊断 .....	(291)
单元练习题 .....	(300)

# 单元一 数控机床加工基础与刀具系统

数控机床是按照事先编制好的零件加工程序自动地对工件进行加工的高效自动化设备。在数控编程之前，编程人员首先应了解所用数控机床的规格、性能、数控系统所具备的功能及编程指令格式等。编制程序时，应先对图样规定的技术要求、零件的几何形状、尺寸及工艺要求进行分析，确定加工方法和加工路线，再进行数学计算，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、刀具运动中心轨迹、位移量、切削参数以及辅助功能（换刀、主轴正反转、切削液开关等）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地进行加工。

数控机床所使用的程序是按一定的格式并以代码的形式编制的，一般称为“加工程序”，目前零件的加工程序编制方法主要有手工编程、自动编程和利用 CAD、CAM 系统进行编程三种。

## 1. 手工编程

利用一般的计算工具，通过各种数学方法，人工进行刀具轨迹的运算，并进行指令编制。这种方法比较简单，很容易掌握，适应性较大。适用于中等复杂程度程序、计算量不大的零件编程。

## 2. 自动编程

利用通用的计算机及专用的自动编程软件，以人机对话方式确定加工对象和加工条件，自动进行运算和生成指令。对形状简单（轮廓由直线和圆弧组成）的零件，手工编程是可以满足要求的，但对于曲线轮廓、三维曲面等复杂型面，一般采用计算机自动编程。目前中小型企业普遍采用这种方法，编制较复杂的零件加工程序效率高，可靠性好。专用软件多为在开放式操作系统环境下，在计算机上开发的，成本低，通用性强。

## 3. 利用 CAD、CAM 系统编程

利用 CAD、CAM 系统进行零件的设计、分析及加工编程。该方法适用于制造业中的 CAD、CAM 集成系统，目前正被广泛应用。该方式适应面广、效率高、程序质量好，适用于各类柔性制造系统（FMS）和计算机集成制造系统（CIMS），但投资大，掌握起来需要一定时间。

## 课题一 数控车床

数控车床作为当今使用最广泛的数控机床之一，主要用于加工轴类、盘类等回转体零件，能够通过程序控制自动完成内圆柱面、外圆柱面、锥面、圆弧、螺纹等工序的切削加工，并进行车槽、钻、扩、铰孔等工作，而近年来研制出的数控车削中心和数控车铣中心，使得在一次装夹中可以完成更多的加工工序，提高了加工质量和生产效率，因此，特别适宜



复杂形状的回转类零件的加工。

## 一、数控车床的构成及特点

### 1. 数控车床的机械系统

从机械结构上看，数控车床和普通车床的结构形式相同，即由床身、主轴箱、刀架进给系统、液压系统、冷却系统、润滑系统等部分组成。数控车床的进给系统与普通车床有质的区别，它没有走刀箱、溜板箱和挂轮架，而是直接用伺服电动机通过滚珠丝杠驱动溜板和刀架，实现进给运动，因而大大简化了进给系统的结构。由于要实现 CNC（程序控制），因此，数控车床配有电器控制和 CRT（显示屏）操作面板。图 1—1 所示为数控车床的构成。

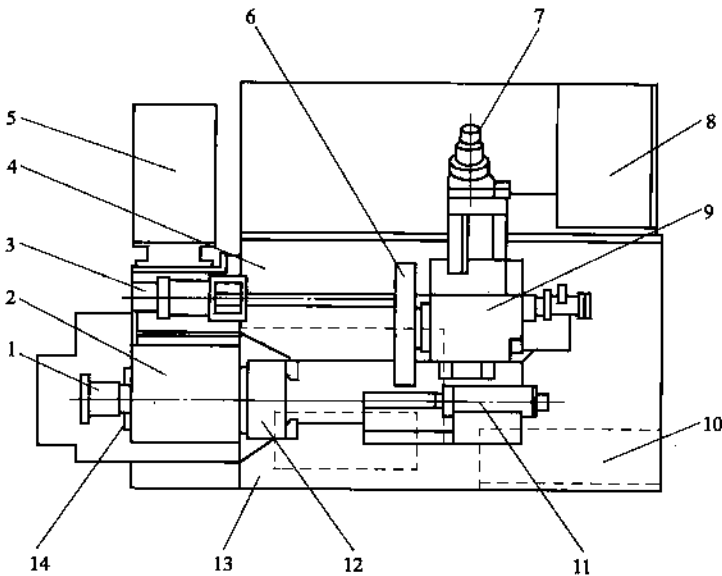


图 1—1 数控车床的构成

1—夹紧装置 2—主轴头 3—Z 轴伺服电动机 4—床身  
5—液压装置 6—刀架 7—X 轴伺服电动机 8—CNC（程序控制）装置  
9—往复式台 10—控制面板 11—尾架 12—卡爪 13—防护门 14—主电动机

#### (1) 主轴箱

如图 1—2 所示为数控车床主轴箱的构造，主轴伺服电动机的旋转通过传动带轮送到主轴箱内的变速齿轮，以此来确定主轴的特定转速。在主轴箱的前端装有夹紧卡盘，可将工件装夹在此。现在的数控车床大多采用无级变速机构，由无级调速电动机带动滚珠丝杠进行无级变速。

#### (2) 主轴伺服电动机

主轴伺服电动机有直流和交流两种。直流伺服电动机可靠性高，控制转矩和速度范围较宽，因此被广泛使用。近年来小型、高速度、更可靠的交流伺服电动机的使用也越来越多。

#### (3) 夹紧装置

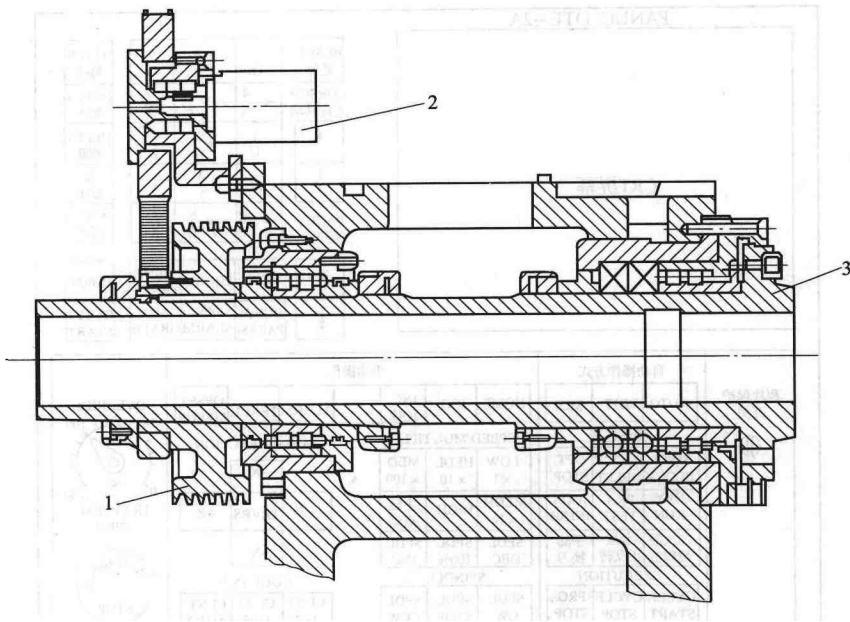


图 1—2 数控车床主轴箱体的构造  
1—带轮 2—脉冲编码器 3—主轴

这套装置通过液压系统自动控制卡爪的开或合。

#### (4) 往复拖板

在往复拖板上装有刀架，刀具可以通过拖板实现主轴方向的定位和移动，从而同 Z 轴伺服电动机共同完成纵向的切削。

#### (5) 刀架

此装置可以固定刀具和索引刀具，使刀具在与主轴垂直方向上定位，并同 X 轴伺服电动机共同完成横向的切削。

#### (6) 控制面板

控制面板包括 CRT 操作面板（执行 CNC 数据的输入/输出）和机床操作面板（执行机床的手动操作），如图 1—3 所示。

### 2. 数控车床的数控系统

数控车床的数控系统是由 CNC 装置、输入/输出设备、可编程控制器（PLC）、主轴驱动装置和进给驱动装置以及位置测量系统等几部分组成。如图 1—4 所示，其中 CNC 装置是数控系统的核心。

由于目前数控车床采用的数控系统种类较多，它们规定的指令代码定义尚未完全统一，所以编程人员在编程之前要对数控系统的功能仔细加以研究，以免发生错误。数控车床常用的数控系统主要有 FANUC Oi、SIEMENS 802S、FAGOR 8055T、华中世纪星 HNC-21/22T 等，本书编程均采用 FANUC 数控系统规定的指令代码。

### 3. 数控车床的特点

#### (1) 传动链短

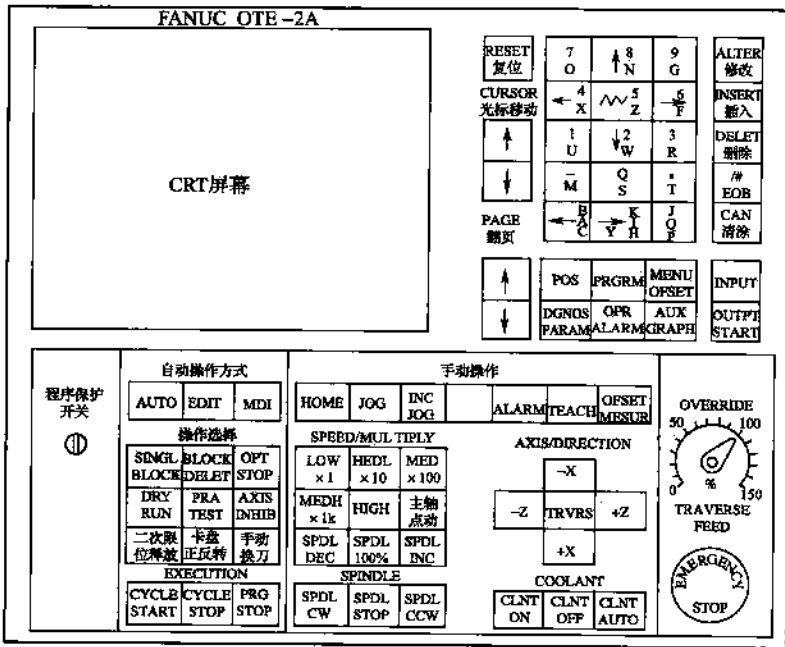


图 1—3 控制面板

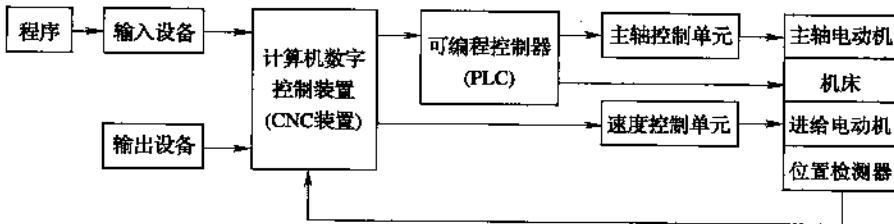


图 1—4 CNC 系统组成

数控车床刀架的两个运动方向分别由两台伺服电动机驱动，伺服电动机直接与丝杠连接带动刀架运动，伺服电动机与丝杠间也可以用同步传动带副连接。多功能数控车床是采用直流或交流主轴控制单元来驱动主轴，它可以按控制指令无级变速，它与主轴之间无须再用多级齿轮副来进行变速。

(2) 刚度高

与控制系统的高精度控制相匹配，以适应高精度的加工。

(3) 轻拖动

刀架移动一般采用滚珠丝杠副，为了拖动轻便，数控车床的润滑都比较充分，大部分采用油雾进行润滑。

为了提高数控车床导轨的耐磨性，一般采用镶钢导轨，这样机床精度保持的时间就比较长，也可延长使用寿命。另外，数控车床还具有加工冷却充分、防护严密等特点，自动运转时处于全封闭或半封闭状态。数控车床一般还配有自动排屑装置。

## 二、数控车床的周边机器和装置

为了进一步提高生产效率，实现自动化加工，数控机床还需要很多其他设备的配合。目前应用较广的有以下几种：

### 1. 刀具调整仪

测量刀具刀尖位置的装置，如光学测量仪、电子测量仪等。

### 2. 自动测量工件装置

根据测量头接触加工工件的当前位置，算出加工工件的尺寸，自动补正程序的形状误差的装置。

### 3. 排屑器

将切屑从机床中排出的装置称为排屑器。

### 4. 棒材供应器

长棒材自动定长供应装置称为棒材供应器。加工完成以后自动将工件切断，接着按工件长度自动推出棒料。

### 5. 自动送料装置

是和棒材供应器一起自动为相同的工件加工送料的装置。这种装置将材料送入，按一定长度切断以后输出。

### 6. 自动换刀装置（ATC）

自动换刀装置（Auto Tool Changer, ATC）利用机器人等装置完成部件的重复加工，或者长时间运转中交换备用刀具等，需要的刀具个数多于刀架上的刀具个数时，ATC 刀盘上的刀具，通过自动换刀臂进行自动交换。

### 7. 自动断电装置

在设定的时间内结束加工，由自动断电装置完成，自动断电装置应用于夜间无人值守的情况。

### 8. 主轴定向

使主轴在一定角度的位置上固定的功能称为主轴定向。通常情况下，主轴回转到某一角度时停止，工件的装卸较为容易，对于不同形状工件的装卸，或者利用机器人进行工件装卸等场合时，利用主轴定向机能。

### 9. 程控尾座

将用 NC 指令控制尾座顶尖心轴移动的装置称为程控尾座。此装置用于使用机器人进行自动装卸工件的场合。

### 10. 自动卡盘交换装置（AJC）

自动卡盘交换装置为自动交换三爪自定心卡盘的装置（Auto Jaw Changer, AJC）。

## 三、数控车床的分类

数控车床品种繁多，按数控系统的功能和机械构成可分为简易数控车床（经济型数控车床）、多功能数控车床和数控车削中心。

### 1. 简易数控车床

简易数控车床属于低档数控车床，一般是用单板机或单片机进行控制，机械部分是在

普通车床的基础上进行改进设计。

#### 2. 多功能数控车床

由专门的数控系统控制，具备数控车床的各种结构特点。

#### 3. 数控车削中心

在数控车床的基础上增加其他的附加坐标轴。

### 四、数控车床的加工特点

数控车床加工具有如下特点：

#### 1. 节省调整时间

- (1) 快速夹紧卡盘减少了调整时间。
- (2) 快速夹紧刀具减少了刀具调整时间。
- (3) 刀具补偿功能节省了刀具补偿的调整时间。
- (4) 工件自动测量系统节省了测量时间。
- (5) 由程序指令或操作盘的指令控制顶尖架的移动快速高效。

#### 2. 具有程序存储功能

现代数控机床控制装置可根据加工形状，并把粗加工的加工条件附加在指令中，进行内部运算，自动地计算出切削轨迹。

#### 3. 其他特点

- (1) 倾斜式床身有利于切屑流动和调整夹紧压力、顶尖压力和滑动面润滑油的供给，便于操作者操作机床。
- (2) 宽范围调速主轴电动机或内装主轴电动机省去了齿轮箱。
- (3) 高精度伺服电动机和滚珠丝杠间隙消除装置使进给速度快，并有好的准确性。
- (4) 具有切屑处理器。
- (5) 采用数控伺服电动机驱动数控刀架。
- (6) 采用机械手和棒料供给装置既省力又安全，并提高了自动化程度和操作效率。

## 课题二 坐标系统

为了便于编程时描述机床的运动，简化程序的编制方法及保证记录数据的互换性，数控机床的坐标和运动的方向均已标准化。

### 一、坐标系的确定原则和坐标轴的确定方法

#### 1. 坐标系的确定原则

国家标准《数控机床坐标和运动方向的命名》(JB/T 3051—1999)中规定的命令原则如下：

##### (1) 刀具相对于静止工件而运动的原则

这一原则使编程人员能在不知道是刀具移近工件还是工件移近刀具的情况下，就可依据零件图样，确定机床的加工过程。

##### (2) 标准坐标（机床坐标）系的规定

在数控机床上，机床的运动是由数控装置来控制的，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，这就需要一个坐标系才能实现，这个坐标系就称为机床坐标系。

标准的机床坐标系即右手笛卡儿直角坐标系，如图 1—5 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，它与安装在机床上并且按机床的主要直线导轨找正的工件有关。根据右手螺旋方法可以很方便地确定出  $A$ 、 $B$ 、 $C$  三个旋转坐标的方向。

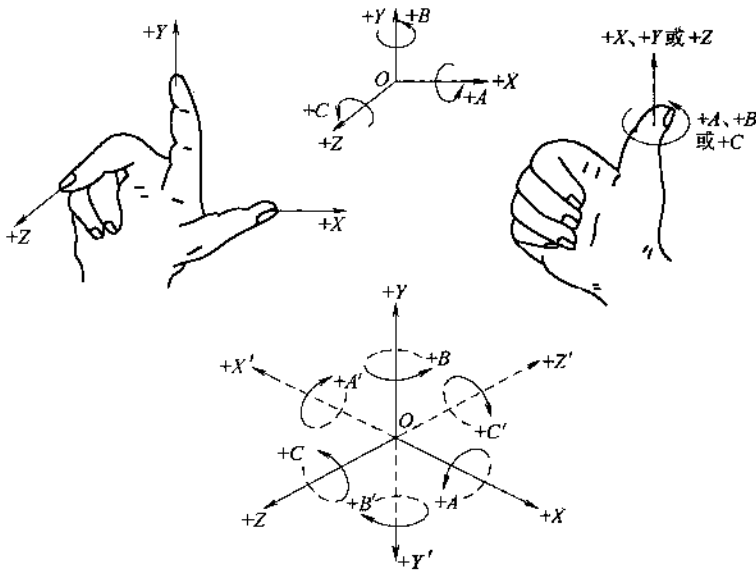


图 1—5 右手笛卡儿直角坐标系

### (3) 运动的方向

数控机床的某一部件运动的正方向，是增大工件和刀具之间距离的方向。

## 2. 机床坐标轴的确定方法

确定机床坐标轴时，一般先确定  $Z$  轴，再确定  $X$  轴和  $Y$  轴。

### (1) $Z$ 轴

一般选产生切削力的轴线作为  $Z$  轴。对于有主轴的机床，都以机床主轴轴线作为  $Z$  轴（如图 1—6 所示的卧式车床和图 1—7 所示的立式升降台铣床）；对于没有主轴的机床，则规定以垂直于装夹面的坐标轴为  $Z$  轴（如图 1—8 所示的牛头刨床）；同时还规定刀具远离工件的方向为  $Z$  轴的正方向。

### (2) $X$ 轴

$X$  轴位于与工件装夹面相平行的水平面内。对于机床主轴带动工件旋转的机床，如车床等， $X$  轴在工件的径向并且平行于横向滑板，刀具离开工件旋转中心的方向是  $X$  轴的正方向（见图 1—6）。

对于机床主轴带动刀具旋转的机床，如铣床、钻床、镗床等，如果  $Z$  轴是水平的，则从刀具（主轴）向工件看， $X$  轴的正方向指向右边，如图 1—9 所示。如果  $Z$  轴是竖直的，则从刀具（主轴）向立柱看， $X$  轴的正方向指向右边，如图 1—7 所示。

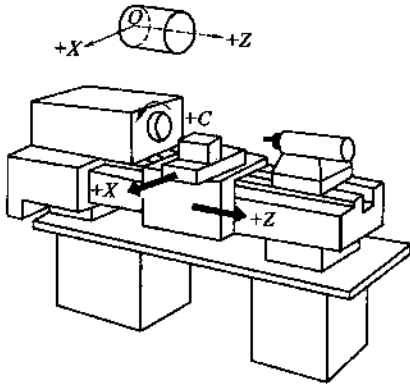


图 1—6 卧式车床

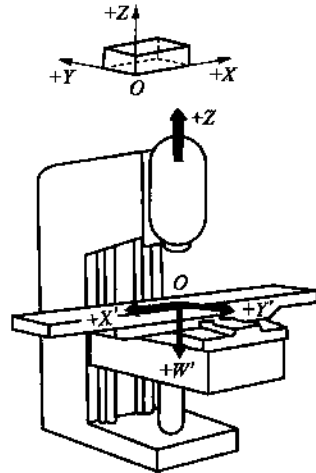


图 1—7 立式升降台铣床

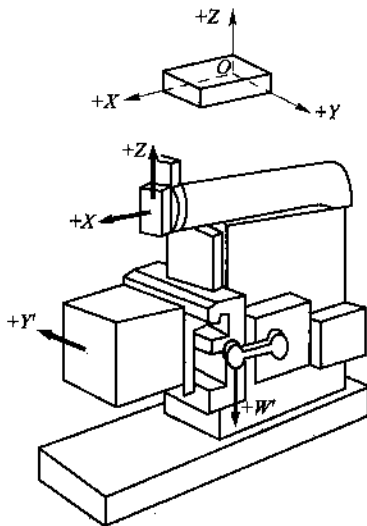


图 1—8 牛头刨床

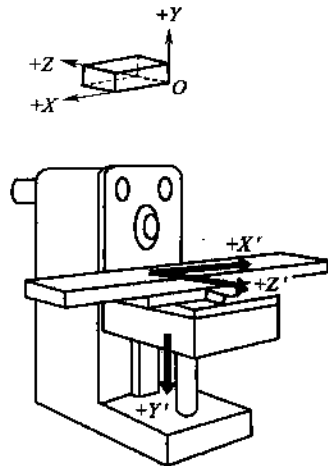


图 1—9 卧式升降台铣床

对于无主轴的机床，如刨床等，则选定主要切削方向为  $X$  轴正方向（见图 1—8）。

### (3) $Y$ 轴

$Y$  轴方向根据已选定的在  $Z$ 、 $X$  轴按右手笛卡儿直角坐标系来确定。

### (4) 旋转坐标 $A$ 、 $B$ 、 $C$

选定  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴后，根据右手螺旋定则来确定  $A$ 、 $B$ 、 $C$  运动的正方向，按右螺旋纹旋入工件的方向作为正方向。

### (5) 附加坐标系

对于直线运动，如果机床在基本的直角坐标系  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  之外，另有轴线平行或不平行

于它们的坐标系，则附加的直角坐标系指定为  $U$ 、 $V$ 、 $W$  和  $P$ 、 $Q$ 、 $R$ 。对于旋转运动，如果在第一组旋转运动  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的同时，还有平行于或不平行于  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的第二组旋转运动，可指定为  $D$ 、 $E$ 、 $F$ 。

## 二、坐标系的原点

在确定了机床各坐标轴及方向后，还应进一步确定坐标系原点的位置。

### 1. 机床原点（又称机械原点）

机床坐标原点是指在机床上设置的一个固定点，即机床坐标系的原点。在机床装配、调试时就已经确定下来了，是数控机床进行加工运动的基准参考点。在数控车床上，一般取在卡盘端面与主轴中心线的交点处，如图 1—10a 所示，图中  $O_1$  即为机床原点。在数控铣床上，机床原点一般取在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个直线坐标轴正方向的极限位置上，如图 1—11a 所示，图中  $O_1$  即为立式数控铣床的机床原点。

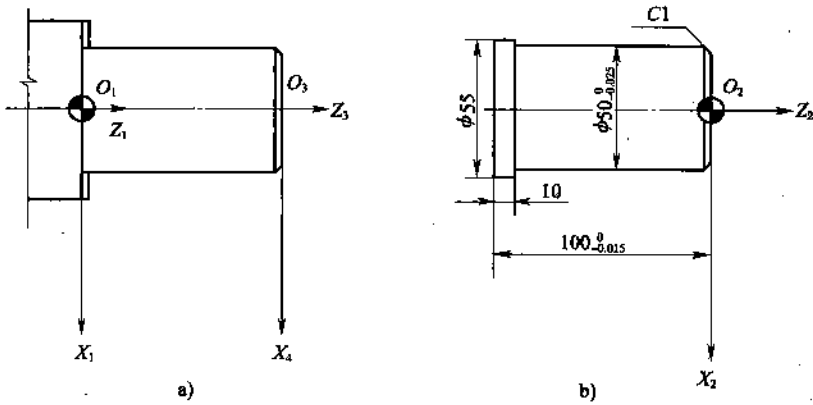


图 1—10 数控车床机床原点

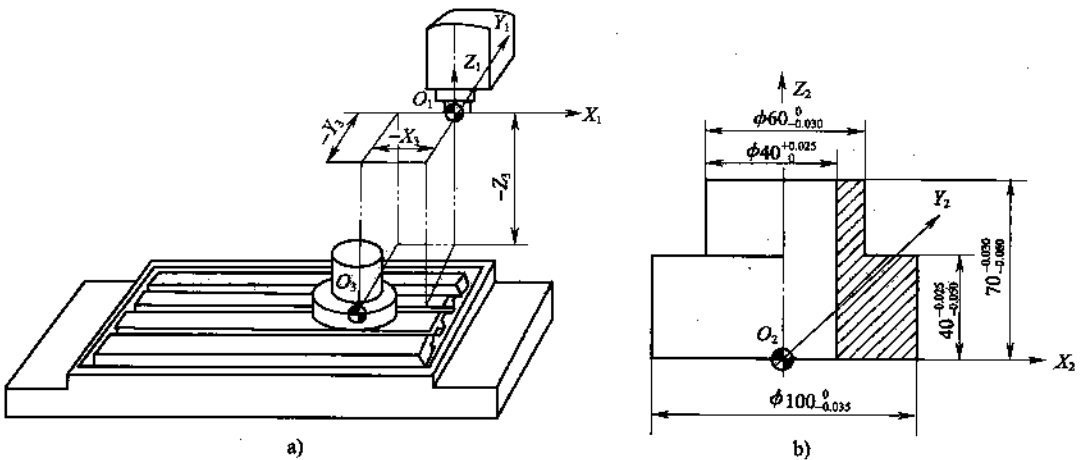


图 1—11 数控铣床机床原点



## 2. 机床参考点

机床参考点是机床坐标系中一个固定不变的极限点，其固定位置由各轴的机械挡块来确定。一般数控机床开机后，用控制面板上的“手动返回参考点”按钮使刀具或工作台退到该点。对于数控铣床、加工中心而言，机床参考点与机床原点重合；对于数控车床而言，机床参考点是指刀架退到离主轴端面和旋转中心线最远处的某一个固定点。机床参考点在数控机床出厂时，就已经调好并记录在机床使用说明书中供用户编程使用，一般情况下，不允许随意变动。

## 3. 编程原点

编程原点又称工件原点，是指根据加工零件图样选定的编制零件程序的原点，即编程坐标系的原点。如图 1—10b 及 1—11b 中所示的  $O_2$  点。编程原点应尽量选择在零件的设计基准或工艺基准上，并考虑到编程的方便性，编程坐标系中各轴的方向应该与所使用数控机床相应的坐标轴方向一致。

## 4. 加工原点

加工原点也称程序原点，是指零件被装夹好后，相应的编程原点在机床原点坐标系中的位置。在加工过程中，数控机床是按照工件装卡好后的加工原点及程序要求进行自动加工的。加工原点如图 1—10a 和 1—11a 中的  $O_3$  所示。加工坐标系原点与机床坐标系原点在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  方向的距离  $X_3$ 、 $Y_3$ 、 $Z_3$ ，分别称为  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  向的原点设定值。

因此，编程人员在编制程序时，只要根据零件图样就可以选定编程原点、建立编程坐标系、计算坐标数值，而不必考虑工件毛坯装卡的实际位置。对于加工人员来说，则应在装卡工件、调试程序时，确定加工原点的位置，并在数控系统中给予设定（即给出原点设定值），这样数控机床才能按照准确的加工坐标系位置开始加工。

## 5. 换刀点和起刀点

数控车床、加工中心等在加工时常需要换刀，故编程时要设置一个换刀点。换刀点应设在工件的外部，以避免换刀时碰伤工件和刀具。数控车床的起刀点一般选在靠近加工原点附近，数控铣床、加工中心机床的起刀点一般选在工件坐标系靠近工件加工切入点附近。

# 三、机床坐标系与工件坐标系

## 1. 机床坐标系

机床坐标系是机床上的固有坐标系，如图 1—10a 和 1—11a 中  $X_1O_1Z_1$  即为机床坐标系。

## 2. 工件坐标系

编程时，为了编程方便，需要在零件图样上选定一个适当的基准点，即编程原点，并以这个点作为坐标系的原点，建立一个新的坐标系，此坐标系称为工件坐标系，如图 1—10b 和 1—11b 中  $X_2O_2Z_2$  即为工件坐标系。

# 四、绝对尺寸与增量尺寸

工件或刀具移动量的指令方法有绝对尺寸指令和增量尺寸指令两种。

所有坐标值均以机床原点或编程原点计算的坐标系，称为绝对坐标系。其移动的尺寸称为绝对尺寸（或称绝对坐标），所用的编程指令称为绝对尺寸指令。图 1—12 中，从  $A$  点运