





本书是依据中等职业学校、技工学校数控技术应用领域技能型紧缺人才培养培训指导方案编写的。其内容包括：数控机床、数控加工工艺基础、数控机床夹具、数控刀具、数控车削加工工艺、数控铣削加工工艺、加工中心加工工艺、数控电加工工艺。本书内容由浅入深、循序渐进，突出了数控加工工艺的实际应用。全书内容丰富、图文并茂，具有较强的实用性。本书还配有电子教学参考资料包，包括教学指南、电子教案，以便于进行教学。

本书可作为中等职业学校、技工学校数控技术应用专业的教材，也可作为职业技术学院机电一体化、机械制造类专业的教材及机械工人的岗位培训和自学用书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工工艺/翟瑞波主编. —北京: 机械工业出版社, 2007. 7  
中等职业教育数控技术应用专业规划教材  
ISBN 978-7-111-21639-1

I. 数… II. 翟… III. 数控机床—加工工艺—专业学校—教材  
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 085916 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 王英杰 版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

责任印制: 洪汉军

北京瑞德印刷有限公司印刷 (三河市明辉装订厂装订)

2007 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·14.75 印张·360 千字

0001—4000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-21639-1

定价: 23.00 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) 88379083

封面无防伪标均为盗版

# 中等职业教育数控技术应用专业规划教材 编委会

主任 白一凡

副主任 南晓东 翟瑞波（常务）

委员（按姓氏笔画排序）

万长安 于清 王英杰（常务） 李宙 杨琳 南逢玉  
贺鹏 闻福三 段战军 徐明 高光明 阎栋 谢龙爱

## 编委介绍

白一凡 西安航空技师学院院长 陕西省数控教学研究会会长

南晓东 陕西省劳动和社会保障厅技工学校指导中心副主任

贺鹏 陕西航天技术学院院长

杨琳 陕西航空技术学院院长助理 教务处处长

陕西省数控教学研究会副会长

徐明 西安工程技术学院院长

李宙 陕西建设技术学院院长

谢龙爱 西安航空技师学院副院长

陕西省数控教学研究会秘书长

阎栋 陕西航天技术学院数控教研室主任

陕西省数控教学研究会副秘书长

南逢玉 西安航空技师学院副院长

闻福三 陕西建设技术学院教师

高光明 西安工程技术学院数控教研室主任

段战军 西安北方华山机电有限公司工具制造公司副经理

万长安 西安航空职工大学机电工程系副主任

于清 西安航空技师学院教师

翟瑞波 西安航空技师学院教务培训处副主任

王英杰 机械工业出版社技能教育分社编辑

# 前言

陕西省数控教学研究会 编

本套教材是在陕西省数控教学研究会的安排、指导下，依据中等职业学校、技工学校数控技术应用领域技能型紧缺人才培养培训指导方案和国家颁布的数控技术应用专业教学大纲编写的。它符合核心教学与训练项目的基本要求和中、高级数控机床操作人员职业技能鉴定规范的基本要求。

本套教材的编写坚持以就业为导向，将数控机床加工工艺（工艺路线确定、刀具选择、切削用量设置等）和程序编制等专业技术能力融合到实训操作中，充分体现了“教、学、做合一”的职教办学特色，并结合数控机床操作工职业资格考核标准进行实训操作的强化训练，注重提高学生的实践能力和岗位就业竞争力。

《数控加工工艺》重点讲述数控机床、数控加工工艺基础、数控机床夹具、数控刀具以及专门数控加工工艺，循序渐进、易于掌握。它重点介绍了数控加工中的工艺特点、工艺技巧、数控刀具的选用以及典型零件加工工艺制定，广泛收集了数控加工技术领域的最新技术成果及最新标准，适合职业教育技能培养的需要。本书由具有多年教学、生产经验的教师及技术人员编写，其中翟瑞波获得陕西省教学能手、陕西省技术能手称号，并代表陕西省参加了全国第一届数控技能大赛。本书第一、二、三、四、六、七章由翟瑞波编写、第五章由段战军编写、第八章由白一凡编写，全书由翟瑞波统稿并担任主编。本书在编写过程中得到胡克明、苏成、刘振福、刘文祥等教师及有关专家的帮助，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中存在的不足之处，恳请读者批评指正。

编者

# 目 录

## 前 言

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <b>第一章 数控机床</b> .....     | 1   |
| 第一节 数控机床的工作原理及组成 .....    | 1   |
| 第二节 数控机床的分类 .....         | 3   |
| 第三节 机床坐标系和工作坐标系 .....     | 8   |
| 第四节 数控机床的机械结构 .....       | 10  |
| 第五节 数控系统及数控机床的发展 .....    | 24  |
| 复习思考题 .....               | 27  |
| <b>第二章 数控加工工艺基础</b> ..... | 29  |
| 第一节 生产过程和工艺过程 .....       | 29  |
| 第二节 数控加工工艺设计 .....        | 32  |
| 第三节 定位基准的选择 .....         | 35  |
| 第四节 数控加工工艺路线设计 .....      | 37  |
| 第五节 数控加工工序设计 .....        | 45  |
| 第六节 数控加工工艺文件 .....        | 49  |
| 复习思考题 .....               | 51  |
| <b>第三章 数控机床夹具</b> .....   | 52  |
| 第一节 机床夹具概述 .....          | 52  |
| 第二节 工件的定位 .....           | 55  |
| 第三节 工序尺寸及其公差确定 .....      | 64  |
| 第四节 工件在夹具中的夹紧 .....       | 70  |
| 第五节 数控加工常用夹具 .....        | 76  |
| 复习思考题 .....               | 80  |
| <b>第四章 数控刀具</b> .....     | 82  |
| 第一节 数控刀具的材料 .....         | 82  |
| 第二节 数控机床用刀具 .....         | 87  |
| 第三节 数控机床的工具系统 .....       | 101 |

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第四节 刀具的磨损和提高刀具寿命的措施 .....  | 111 |
| 复习思考题 .....                | 113 |
| <b>第五章 数控车削加工工艺</b> .....  | 114 |
| 第一节 数控车床概述 .....           | 114 |
| 第二节 数控车削刀具及切削用量的选择 .....   | 120 |
| 第三节 数控车削加工工艺分析 .....       | 127 |
| 第四节 典型零件的数控车削加工工艺 .....    | 133 |
| 复习思考题 .....                | 147 |
| <b>第六章 数控铣削加工工艺</b> .....  | 150 |
| 第一节 数控铣床概述 .....           | 150 |
| 第二节 数控铣削刀具及切削用量的选择 .....   | 155 |
| 第三节 数控铣削加工工艺的制定 .....      | 161 |
| 第四节 典型零件的数控铣削加工工艺 .....    | 170 |
| 复习思考题 .....                | 175 |
| <b>第七章 加工中心的加工工艺</b> ..... | 177 |
| 第一节 加工中心概述 .....           | 177 |
| 第二节 加工中心加工工艺方案的制定 .....    | 186 |
| 第三节 加工中心典型零件的加工工艺 .....    | 191 |
| 复习思考题 .....                | 202 |
| <b>第八章 数控电加工工艺</b> .....   | 204 |
| 第一节 数控电火花成形加工工艺 .....      | 204 |
| 第二节 数控电火花线切割加工工艺 .....     | 216 |
| 复习思考题 .....                | 227 |
| <b>参考文献</b> .....          | 228 |

# 第一章 数控机床

数控机床产生于1952年，发展至今数控系统经历了早期的硬件数控系统和现代的计算机数控系统两个阶段。硬件数控系统主要由电路的硬件和连线组成。它的特点是具有很多硬件电路和连接结点，电路复杂，可靠性不好。计算机数控系统（Computer Numerical Control 简称 CNC 系统）主要是由计算机硬件和软件组成。它最突出的特点是利用存储在存储器里的软件控制系统工作。这种系统容易扩大功能，柔性好，可靠性高。

国际信息处理联盟（IFIP）第五技术委员会对数控机床定义如下：数控机床是一个装有程序控制系统的机床，该系统能够逻辑地处理具有使用号码，或其他符号编码指令规定的程序。定义中所说的程序控制系统即数控系统。进一步说，当把数字化了的刀具移动轨迹的信息输入数控装置，经过译码、运算，从而实现控制刀具与工件相对运动，加工出所需要的零件的一种机床即为数控机床。

## 第一节 数控机床的工作原理及组成

### 一、数控机床工作原理

数控加工就是根据零件图样及工艺要求等原始条件，编制零件数控加工程序，并输入到数控机床的数控系统，用以控制数控机床中刀具与工件的相对运动，从而完成零件的加工。数控加工原理如图 1-1 所示。数控加工步骤为：

- 1) 根据零件图样要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具参数。
- 2) 用规定的程序代码和格式编写零件数控加工程序。可采用手工编程、自动编程的方法完成零件的加工程序文件。
- 3) 通过数控机床操作面板或用计算机传送的方式将数控加工程序输入到数控系统。
- 4) 按数控程序进行试运行、刀具路径模拟等。
- 5) 通过对机床的正确操作，运行程序，完成零件加工。

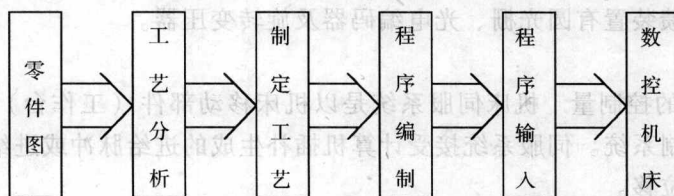


图 1-1 数控加工原理

### 二、数控机床的组成

数控机床一般由机床主体、控制部分、伺服系统、辅助装置四部分组成。

#### 1. 机床主体

是指数控机床的机械结构实体,包括床身、导轨、主轴箱、工作台、进给机构等。

数控机床主体结构有以下特点:

1) 由于采用了高性能的主轴及伺服传动系统,数控机床的机械传动结构大为简化,传动链较短。如主轴变速形式采用无级变速、分段无级变速、内装电动机主轴变速。

2) 为适应连续地自动化加工,数控机床机械结构具有较高的动态刚度和阻尼精度,较高的耐磨性而且热变形小。

3) 为减少摩擦,提高传动精度,更多地采用了高效传动部件,如滚珠丝杠副和贴塑导轨、滚动导轨、静压导轨等。

## 2. 控制部分 (CNC 装置)

CNC 装置是数控机床的控制核心,一般是一台机床专用计算机,包括输入装置、CPU (包括运算器、控制器、存储器及寄存器等)、屏幕显示器 (监视器) 和输出装置。它的功能是将输入的各种信息,经 CPU 的计算处理后再经输出装置向伺服系统发出相应的控制信号,由伺服系统带动机床按预定轨迹、速度及方向运动。CNC 装置的基本工作过程如下:

(1) 输入 内容包括零件程序、控制参数、补偿数据的输入。输入形式有键盘输入、磁盘输入、计算机传送、光电阅读机纸带输入等。

(2) 译码 目的是将程序段中的各种信息,按一定语法规则解释成数控装置能识别的语言,并以一定的格式存放在指定的内存专用区间。

(3) 刀具补偿 包括刀具位置补偿、刀具长度补偿、刀具半径补偿。

(4) 进给速度处理 编程所给定的刀具移动速度是加工轨迹切线方向的速度。速度处理就是将其分解成各运动坐标方向的分速度。

(5) 插补 当刀具轨迹为直线或圆弧时,数控装置则在线段的起、终点坐标之间进行“数据点的密化”,即插补,向各坐标轴输出脉冲数,保证各个坐标轴同时运动到线段的终点坐标,这样数控机床能够加工出需要的直线或圆弧轮廓。一般 CNC 装置能对直线、圆弧进行插补运算。一些专用或较高档的 CNC 装置还可以完成对椭圆、抛物线、正弦曲线和一些专用曲线的插补运算。常用的插补运算方法有逐点比较插补法、数字积分插补法、时间分割插补法等。

(6) 位置控制 在 CNC 装置中,通过检测反馈系统,在每个采样周期内,把插补计算得到的理论位置与实际反馈位置相比较用其差值去控制进给电动机。检测反馈系统可分为半闭环和闭环两种系统。常用的直线型检测反馈装置有长光栅、绝对编码尺和直线感应同步器;旋转型检测反馈装置有圆光栅、光电编码器及旋转变压器。

## 3. 伺服系统

(1) 伺服系统的控制量 机床伺服系统是以机床移动部件 (工作台) 的位置和速度作为控制量的自动控制系统。伺服系统接受计算机插补生成的进给脉冲或进给位移量,将其转化为机床工作台的位移。

(2) 伺服系统应满足的要求 进给速度范围要大 (如  $0.1\text{mm}/\text{min}$  低速趋近,  $15\text{m}/\text{min}$  快速移动)、位移精度要高、工作速度响应要快以及工作稳定性要好。

(3) 伺服系统由驱动装置和执行机构组成 驱动装置是数控机床的执行机构 (工作台、主轴) 的驱动部件,包括主轴电动机、进给伺服电动机。

(4) 伺服系统的分类 数控机床的伺服系统按其控制方式,可分为开环伺服系统、半



闭环伺服系统、闭环伺服系统三大类。

#### 4. 辅助装置

是指数控机床的一些配套部件,包括刀库、液压或气动装置、冷却系统和排屑装置等。

## 第二节 数控机床的分类

目前,数控机床品种齐全,规格繁多,可以从不同的角度分类。

### 一、按工艺用途分类

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的,各种类型的数控机床基本上起源于同类型的普通机床,按工艺用途分类大致如下:

#### 1. 普通数控机床

如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控齿轮加工机床、数控磨床等,这类机床的工艺性能和通用机床相似。

#### 2. 加工中心

加工中心是带有刀库和自动换刀系统的数控机床。常见的有数控车削中心、数控车铣中心、数控镗铣中心(简称加工中心)等。

#### 3. 数控特种加工机床

如数控线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光切割机床等。

#### 4. 其他类型的数控机床

如数控三坐标测量机等。

### 二、按控制运动的方式分类

#### 1. 点位控制数控机床

该机床只对点的位置进行控制,即机床的数控装置只控制机床移动部件从一个位置(点)精确地移动到另一个位置(点),移动过程中不进行加工,如图1-2所示。

采用点位控制的机床有数控坐标镗床、数控钻床以及数控冲床等。

#### 2. 点位直线控制数控机床

这种机床不仅要控制点的准确位置,而且还要控制刀具(或工作台)以一定的速度沿着与坐标轴平行的方向进行切削加工。此类机床应具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具选择以及循环进给加工等辅助功能。这种控制常应用于简易数控车床、镗铣床和某些加工中心等,现已较少使用,如图1-3所示。

#### 3. 轮廓控制数控机床

这种机床能同时对两个或两个以上的坐标轴实现连续控制,它不仅能够控制移动部件的起点和终点,而且能控制整个加工过程中每点的位置与速度。也就是说,能连续控制加工轨迹,使之满足零件轮廓形状要求。这种机床具有刀具补偿、主轴转速控制以及自动换刀等较齐全的辅助功能。

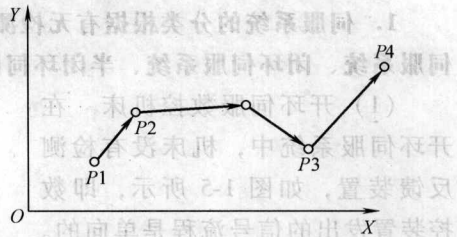


图1-2 数控机床的点位加工

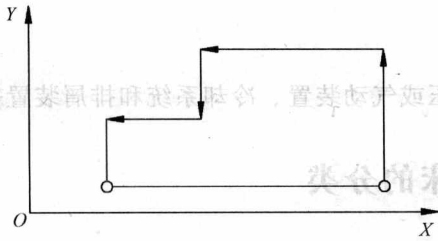


图 1-3 点位直线加工

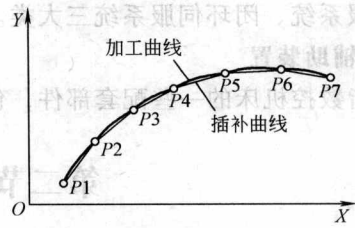


图 1-4 轮廓控制

轮廓控制主要用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂形状的数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等，现在的数控机床多为轮廓控制数控机床，如图 1-4 所示。

### 三、按同时控制且相互独立的轴数分类

#### 1. 二坐标机床

如数控车床，加工曲面回转体；某些数控镗床，二轴联动可镗削斜面。

#### 2. 三坐标数控机床

如一般的数控铣床、加工中心，三轴联动可加工曲面零件。

#### 3. 二轴半坐标数控机床

实为二坐标联动，第三轴作周期性等距运动。

#### 4. 多坐标数控机床

四轴及四轴以上联动称为多轴联动。例如五轴联动铣床，工作台除  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个方向可直线进给外，还可绕  $Z$  轴旋转进给 ( $C$  轴)、刀具主轴可绕  $Y$  轴作摆动进给 ( $B$  轴)、工件绕  $x$  轴旋转运动 ( $A$  轴)。

### 四、伺服系统的分类及其检测装置

1. 伺服系统的分类根据有无检测反馈元件及其检测装置，机床的伺服系统可分为开环伺服系统、闭环伺服系统、半闭环伺服系统。

(1) 开环伺服数控机床 在开环伺服系统中，机床没有检测反馈装置，如图 1-5 所示，即数控装置发出的信号流程是单向的。工作台的移动速度和移动量是由输入脉冲的频率和脉冲数决定的。由于开环伺服系统对移动部件的实际位移无检测反馈，故不能补偿系统精度，因此伺服电动机的误差以及齿轮与丝杠的传动误差，都将影响被加工零件的精度。但开环伺服系统的结构简单，成本低，调整维修方便及工作可靠。它适用于精度、速度要求不高的场合，如简易机床、小型  $X$ - $Y$  工作台、线切割机和绘图仪等。

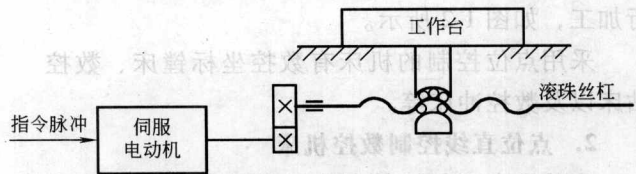


图 1-5 开环伺服系统

但开环伺服系统的结构简单，成本低，调整维修方便及工作可靠。它适用于精度、速度要求不高的场合，如简易机床、小型  $X$ - $Y$  工作台、线切割机和绘图仪等。

(2) 闭环伺服数控机床 闭环伺服系统是在机床移动部件上安装直线位置检测装置，如图 1-6 所示，将检测到的实际位置反馈到数控装置中，与指令要求的位置进行比较，用差值进行控制，直到差值消除为止，最终实现移动部件的高位置精度，这种位置补偿回路也称位置环。

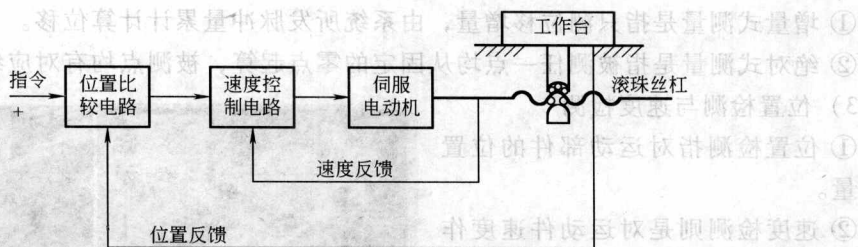


图 1-6 闭环伺服系统

在闭环系统中，机械系统也包括在位置环之内，诸如机械固有频率，阻尼比和间隙等因素，将会影响系统的稳定性，从而增加了系统设计和调试的难度。

(3) 半闭环伺服数控机床 这种控制方式对移动部件的实际位置不进行检测，而是通过检测伺服电动机的转角，间接地测知移动部件的实际位移量，用此值与指令值相比较，通过差值进行控制，如图 1-7 所示。

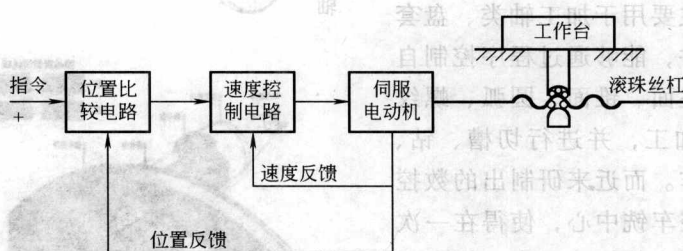


图 1-7 半闭环伺服系统

对于半闭环系统，由于其角位移检测装置结构简单，安装方便，而且惯性大的移动部件不包括在闭环内，所以系统调试方便，并有很好的稳定性。

半闭环系统的控制精度介于开环和闭环之间，应用广泛。

## 2. 检测装置

(1) 检测装置作用 检测装置是把位移和速度测量信号作为反馈信号，并将反馈信号转换成数字信号送回计算机与脉冲指令信号进行比较，以控制驱动元件正确运转。检测装置的精度直接影响数控机床的定位精度和加工精度。

(2) 对检测装置的要求 检测装置要有高的可靠性和抗干扰能力，满足机床加工精度和加工速度的要求，使用维护方便，成本低。

### (3) 检测装置的分类

#### 1) 直接测量与间接测量

① 直接测量是指所测对象为被测对象本身，其方式有二：一是直线测量，即测工作台直线位移（但检测装置需和行程等长）；二是角度测量，即测主轴旋转角度。

② 间接测量是指以旋转方式的检测装置反映工作台直线位移，该方法使用方便又无长度限制，但精度要受机床传动链精度的影响。

2) 增量式测量和绝对式测量

- ① 增量式测量是指只测位移增量，由系统所发脉冲量累计计算位移。
- ② 绝对式测量是指被测任一点均从固定的零点起算，被测点均有对应编码。
- 3) 位置检测与速度检测

① 位置检测指对运动部件的位置作测量。

② 速度检测则是对运动件速度作测量（如测速发电机）。

(4) 位置检测装置 包括直线型检测装置（感应同步器、光栅、磁栅）、旋转型检测装置（旋转变压器、脉冲编码器、测速发电机）。图 1-8 所示为光栅，图 1-9 所示为脉冲编码器。

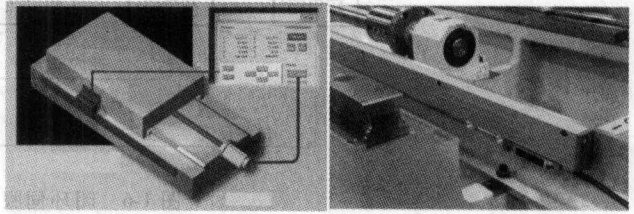


图 1-8 光栅

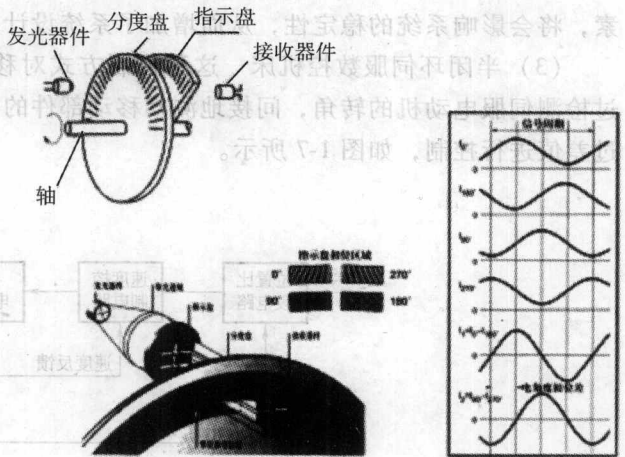


图 1-9 脉冲编码器

五、主要数控机床介绍

1. 数控车床

数控车床主要用于加工轴类、盘套类等回转体零件，能够通过程序控制自动完成内外圆柱面、锥面、圆弧、螺纹等工序的切削加工，并进行切槽、钻、扩、铰孔等工作。而近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。

如图 1-10 所示，是一台数控车床的外观图，机床本体包括主轴、溜板、刀架等。数控系统包括显示器、控制面板、强电控制系统。



图 1-10 数控车床

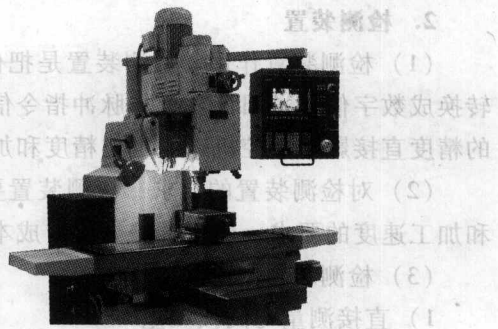


图 1-11 数控铣床

2. 数控铣床

数控铣床可以三坐标联动，用于加工各类复杂的零件、曲面和壳体类零件，它可分为数控立式铣床、数控卧式铣床、数控仿形铣床等。随着数控机床的发展，数控铣床向数控加工

中心等方向发展。如图 1-11 所示。

### 3. 加工中心

加工中心具有刀具自动交换装置，主要用于加工箱体类零件和复杂曲面零件，能进行铣、镗、钻、扩、铰、攻螺纹等工序的加工。加工中心又可分为立式加工中心和卧式加工中心，如图 1-12 所示。

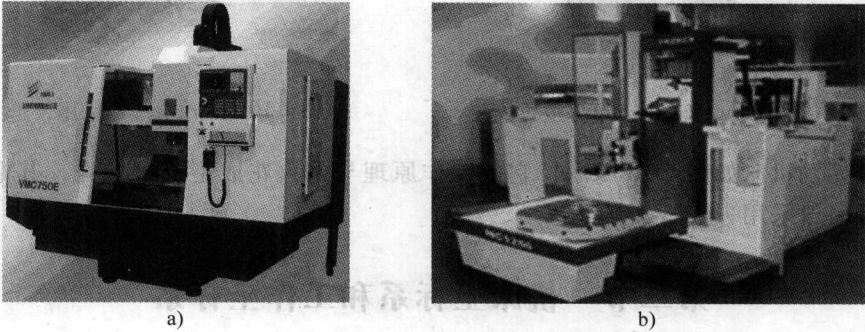


图 1-12 加工中心  
a) 立式加工中心 b) 卧式加工中心

### 4. 数控钻床

如图 1-13 所示，数控钻床可分为数控立式钻床和数控卧式钻床。数控钻床主要具有钻孔、攻螺纹等功能，同时也可以完成简单的铣削功能。

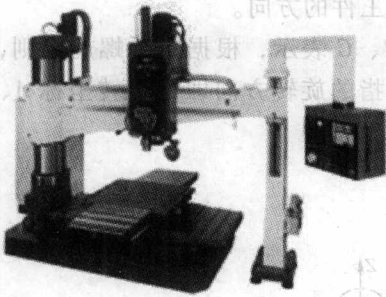


图 1-13 数控钻床



图 1-14 数控磨床

### 5. 数控磨床

数控磨床主要用于加工高硬度、高精度的表面。可分为数控平面磨床（图 1-14）、数控外圆磨床、数控轮廓磨床等。随着自动砂轮补偿技术、自动砂轮修整技术和磨削固定循环技术的发展，数控磨床的功能越来越强。

### 6. 数控电火花成形机床

数控电火花成形机床是一种特种加工方法，它是利用两个不同极性的电极在绝缘液体中产生放电现象，去除材料进而完成加工，对于形状复杂的磨具、难加工材料有特殊的优势，如图 1-15 所示。

### 7. 数控线切割机床

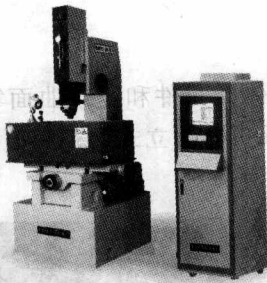


图 1-15 数控电火花成形机床

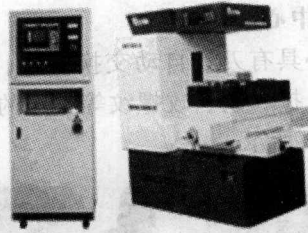


图 1-16 数控线切割机床

数控线切割机床如图 1-16 所示，它的工作原理与电火花成型机床一样，其电极是电极丝，加工液一般采用去离子水。

### 第三节 机床坐标系和工作坐标系

#### 一、数控机床的坐标系

##### 1. 坐标轴和运动方向命名的原则

- 1) 假定刀具相对于静止的工件而运动。当工件移动时，则在坐标轴符号上加“ $\prime$ ”表示。
- 2) 标准坐标系是一个右手直角笛卡儿坐标系，如图 1-17a 所示。
- 3) 刀具远离工件的运动方向为坐标轴的正方向。
- 4) 机床主轴旋转运动的正方向是按照右旋螺纹进入工件的方向。
- 5) 围绕  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标旋转的旋转坐标分别用  $A$ 、 $B$ 、 $C$  表示，根据右手螺旋定则，大拇指的指向为  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标中任意轴的正向，则其余四指的旋转方向即为旋转坐标  $A$ 、 $B$ 、 $C$  的正向，如图 1-17b 所示。

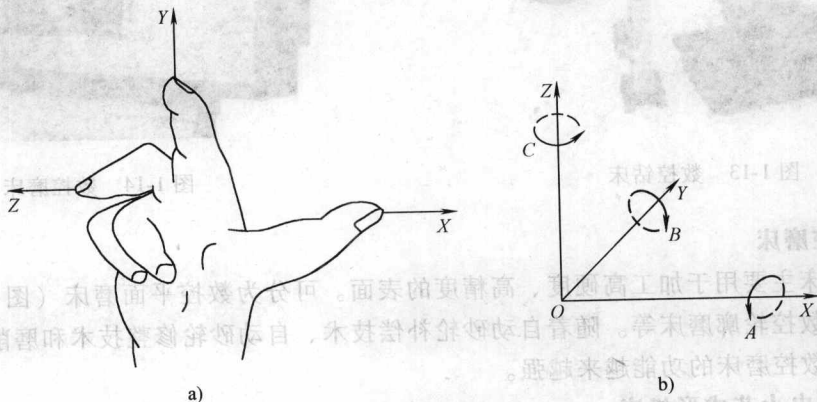


图 1-17 右手直角笛卡儿坐标系

##### 2. 坐标轴的规定

###### (1) Z 坐标轴

- 1) 在机床坐标系中，规定传递切削动力的主轴为  $Z$  坐标轴。

- 2) 对于没有主轴的机床 (如数控龙门刨床), 则规定  $Z$  坐标轴垂直于工件装夹面方向。  
 3) 如机床上有几个主轴, 则选一垂直于工件装夹面的主轴作为主要的主轴。

### (2) $X$ 坐标轴

- 1)  $X$  坐标轴是水平的, 它平行于工件装夹平面。  
 2) 对于工件旋转的机床,  $X$  坐标的方向在工件的径向上, 并且平行于横滑座。  
 3) 对于刀具旋转的机床, 如  $Z$  坐标是水平 (卧式) 的, 当从主要刀具的主轴向工件看时, 向右的方向为  $X$  的正方向; 如  $Z$  坐标是垂直 (立式) 的, 当从主要刀具的主轴向立柱看时,  $X$  的正方向指向右边。

- 4) 对刀具或工件均不旋转的机床 (如刨床),  $X$  坐标平行于主要进给方向, 并以该方向为正方向。

### (3) $Y$ 坐标轴

$Y$  坐标轴根据  $Z$  和  $X$  坐标轴, 按照右手直角笛卡儿坐标系确定。

- (4) 平行于  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的坐标 如在  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  主要直线运动之外另有第二组、第三组平行于它们的运动, 可分别将它们的坐标定为  $U$ 、 $V$ 、 $W$  和  $P$ 、 $Q$ 、 $R$ 。

- (5) 旋转坐标轴  $A$ 、 $B$ 、 $C$   $A$ 、 $B$ 、 $C$  分别表示其轴线平行于  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  的旋转坐标轴。

## 3. 机床坐标系的确定方法

- (1) 坐标轴的确定方法 一般先确定  $Z$  坐标轴, 因为它是传递主切削动力的主要轴或方向, 再按规定确定  $X$  坐标轴, 最后用右手直角笛卡儿法则确定  $Y$  坐标轴。图 1-18、图 1-19、图 1-20、图 1-21 为几种机床坐标系。

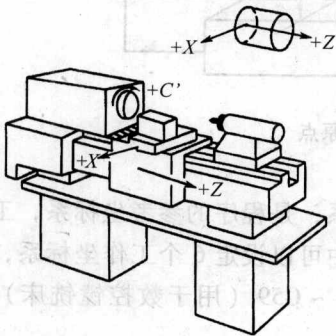


图 1-18 数控车床坐标系

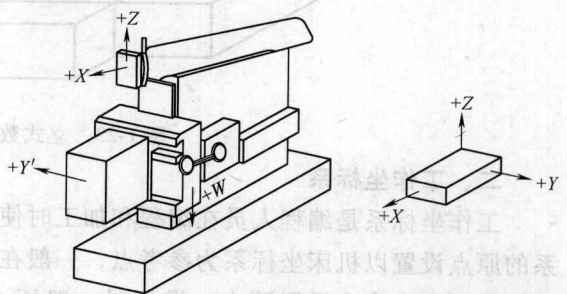


图 1-19 刨床坐标系

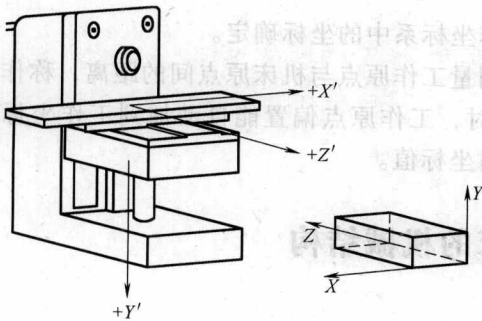


图 1-20 卧式数控铣床坐标系

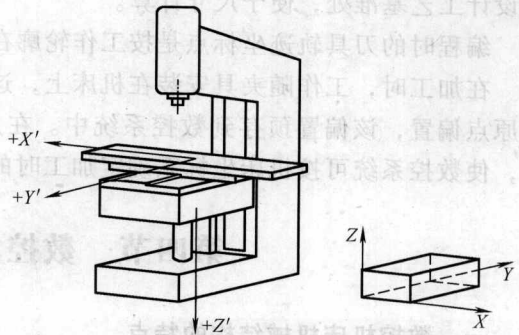


图 1-21 立式数控铣床坐标系

(2) 机床原点 (机械原点) 指机床坐标系的原点, 是机床制造商设置在机床上一个物理位置。其作用是使机床与控制系统同步, 建立测量机床运动坐标的起始点。机床原点一般设置在机床移动部件沿其坐标轴正向的极限位置, 如图 1-22、图 1-23 所示。

(3) 机床参考点 与机床原点相对应的还有一个机床参考点, 它是机床制造商在机床上用行程开关设置的一个物理位置, 与机床的相对位置是固定的。机床参考点一般不同于机床原点。一般来说, 加工中心的参考点为机床的自动换刀位置。

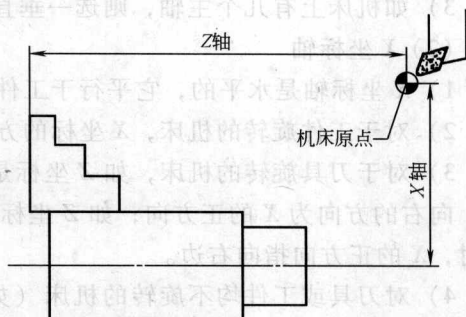


图 1-22 数控车床机床原点

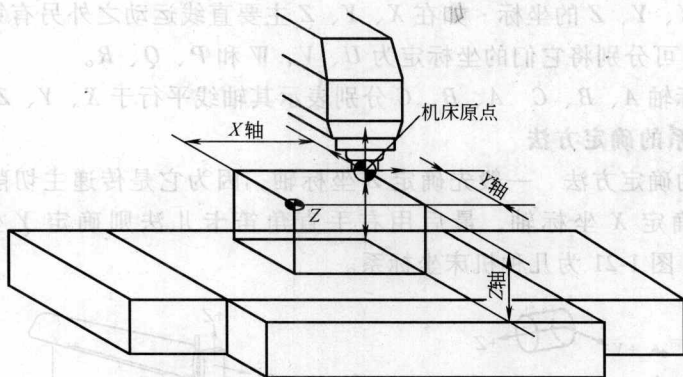


图 1-23 立式数控铣床机床原点

## 二、工作坐标系

工作坐标系是编程人员在编程和加工时使用的坐标系, 是程序的参考坐标系, 工作坐标系的原点设置以机床坐标系为参考点, 一般在一个机床中可以设定 6 个工作坐标系, 同时还可以在程序中多次设置原点。设置时一般用 G92 或 G54 ~ G59 (用于数控镗铣床) 和 G50 (用于数控车床) 等指令。

编程人员以工作图样上某点为工作坐标系的原点, 称工作原点。工作原点一般设在工作的设计工艺基准处, 便于尺寸计算。

编程时的刀具轨迹坐标是按工作轮廓在工作坐标系中的坐标确定。

在加工时, 工作随夹具安装在机床上, 这时测量工作原点与机床原点间的距离, 称作工作原点偏置, 该偏置预存到数控系统中。在加工时, 工作原点偏置能自动加到工作坐标系上, 使数控系统可按机床坐标系确定加工时的绝对坐标值。

## 第四节 数控机床的机械结构

### 一、数控机床机械结构的特点

数控机床是机电一体化产品的典型代表, 尽管它的机械结构与普通机床的结构有许多相



似之处，但并不是简单地在普通机床上配备数控系统即可，它与普通机床相比，结构上进行了改进，主要表现在以下几个方面：

1) 主传动装置多采用无级变速或分段无级变速方式，可利用程序控制主轴的变向和变速，主传动具有较宽的调速范围。有些数控机床的主传动系统已开始采用结构紧凑、性能优异的电主轴。

2) 进给传动装置中广泛采用无间隙滚珠丝杠传动和无间隙齿轮传动，利用贴塑导轨或静压导轨来减少运动副的摩擦力，提高传动精度。有些数控机床的进给部件直接使用直线电动机驱动，从而实现了高速、高灵敏度伺服驱动。

3) 床身、立柱、横梁等主要支承件采用合理的截面形状，且采取一些补偿变形的措施，使其具有较高的结构刚度。

4) 加工中心备有刀库和自动换刀装置，可进行多工序、多面加工，大大提高了生产率。

## 二、数控机床对结构的要求

### 1. 数控机床应具备更高的静、动刚度

刚度是指构件在恒定载荷和交变载荷作用下抵抗变形的能力。前者称为静刚度，后者称为动刚度。

合理地设计结构，改善受力情况，以便减少受力变形。机床的基础大件采用封闭箱形结构，合理布置加强肋板，以及加强构件之间的接触刚度，都是提高机床静刚度和固有频率的有利措施。改善机床结构的阻尼特性，如在机床大件内腔填充阻尼材料，表面喷涂阻尼涂层，充分利用结合面间的摩擦阻尼以及采用新材料可提高机床动刚度。

图 1-24 所示为数控机床采用的封闭箱形机构；图 1-25 所示为数控机床采用的大理石床身。

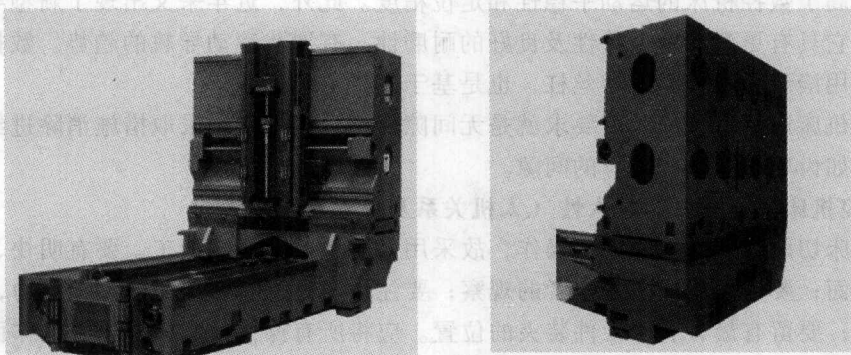
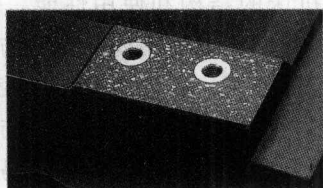
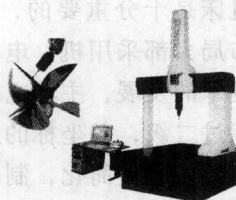


图 1-24 封闭整体箱形结构



a)



b)

图 1-25 大理石床身

a) 人造大理石床身（混凝土聚合物） b) 天然大理石床身