



中等职业教育“十一五”规划教材  
中职中专机电类教材系列



# 数控加工技术

徐宇明 主 编  
罗卫东 郑舟杰 副主编



科学出版社  
[www.sciencep.com](http://www.sciencep.com)

---

● 中等职业教育“十一五”规划教材

---

中职中专机电类教材系列

# 数控加工技术

徐宇明 主 编  
罗卫东 郑舟杰 副主编

科 学 出 版 社

北 京

## 内 容 简 介

本书是根据教育部颁发的数控技术应用专业教改方案,同时参考了劳动与社会保障部制定的《国家职业标准》关于中、高级工考核标准编写的。本书采用理论实践一体化教学的项目式编写方式,对相关的传统课程内容进行了整合,贴近生产实际,突出技能的培养。本书主要包括4个项目,分别为数控加工入门、数控机床操作、数控车削加工、数控铣削加工。

本书可供中等职业学校数控技术应用专业,各类职业院校机械类、机电类专业教学使用,也可作为岗位培训和相关技术工人的自学参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

---

数控加工技术/徐宇明主编. —北京:科学出版社,2009  
中等职业教育“十一五”规划教材·中职中专机电类教材系列  
ISBN 978-7-03-024853-4

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第104495号

---

责任编辑:彭明兰 / 责任校对:耿 耘  
责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

双青印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2009年7月第一版 开本:787×1092 1/16

2009年7月第一次印刷 印张:15

印数:1—3 000 字数:345 000

定价:22.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

销售部电话 010-62134988 编辑部电话 010-62132124(ST03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

## 前 言

本书是根据教育部颁发的数控技术应用专业教改方案，同时参考了劳动与社会保障部制定的《国家职业标准》关于中、高级工考核标准编写的。

本书力图体现以下特色：

1. 体现“教、学、做”合一的职教思想，针对中等职业学校的培养目标，以理论为技能服务的原则，突出与操作技能相关的必备专业知识，在结构和内容上保证了理论实践一体化等先进教学方法的实施。

2. 尝试着突破传统的学科体系模式，采用基于工作过程的行动体系模式，运用项目式编写方式，对相关的传统课程内容进行了整合，贴近生产实际，突出技能的培养。

3. 力争以“学生、问题、情景”为中心，通过每一目标的技能目标、安全规范、场景描述、工作任务、实践操作等，努力使学生在职业情境中展开学习过程，通过行动而学习。本书包括数控加工入门、数控机床操作、数控车削加工和数控铣削加工4个项目，涵盖了数控加工的基本知识、数控加工工艺基本知识、典型零件的工艺编制、数控车及数控铣（加工中心）的编程与操作、零件检测技术等理论和实践知识，安排了大量的加工实例。

本书项目1由杭州市临平职业高级中学徐宇明、珠海市技工学校郑舟杰编写，项目2由徐宇明、徐州机电工程高等职业学校李芹编写，项目3由苏州托普信息技术学院黄浪贵、朝阳市财经学校罗卫东编写，项目4由罗卫东、徐宇明编写，全书由徐宇明统稿。

因编者水平和经验有限，本书难免有不妥之处，敬请读者指正。

编 者

2009年5月于杭州

# 目 录

## 前言

<b>项目 1 数控加工入门</b> .....	1
任务 1 认识常用的数控机床 .....	2
任务 2 数控加工初体验 .....	10
<b>项目 2 数控机床操作</b> .....	25
任务 1 数控车床的操作与维护 .....	26
任务 2 数控铣床的操作与维护 .....	54
<b>项目 3 数控车削加工</b> .....	75
任务 1 外圆柱面、外圆锥面加工 .....	76
任务 2 带凹弧的外圆加工 .....	90
任务 3 外槽、外螺纹加工 .....	96
任务 4 内孔加工 .....	107
任务 5 零件掉头加工 .....	114
任务 6 数控车等级工操作训练 .....	121
<b>项目 4 数控铣削加工</b> .....	155
任务 1 平面铣削 .....	156
任务 2 外形铣削 .....	169
任务 3 凹槽铣削 .....	180
任务 4 孔加工 .....	186
任务 5 数控铣等级工操作训练 .....	197
<b>附表一 铣削的每齿进给量</b> .....	231
<b>附表二 铣削常用工件材料的切削速度</b> .....	232
<b>参考文献</b> .....	233

# 项目 1

## 数控加工入门



### 教学目标

1. 了解数控加工的概念、特点及应用场合
2. 了解常用数控机床的种类、组成及应用
3. 了解数控加工的一般过程

### 安全规范

1. 严格遵守实验室或工厂规章制度及设备操作规程
2. 严禁在不了解机床操作的情况下擅自操作设备，防止发生意外

### 技能要求

1. 能区分常用数控机床的种类、组成、作用
2. 知道数控加工的一般过程
3. 明白加工程序和零件形状之间的关系

## 任务 1 认识常用的数控机床

### 一、场景描述

数控加工生产现场。

### 二、相关知识与技能点

(一) 数控机床的分类、特点及应用

#### 1. 按加工工艺方法分类

##### (1) 金属切削类数控机床

与传统的车、铣、钻、磨、齿轮加工相对应的数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。

数控车床能够实现连续控制刀具的纵向（Z轴）和横向（X轴）运动，从而完成对各类回转体零件的内外型面（如车削圆柱、圆锥、圆弧、槽、各类螺纹等，如图 1.1 和图 1.2 所示）的加工。

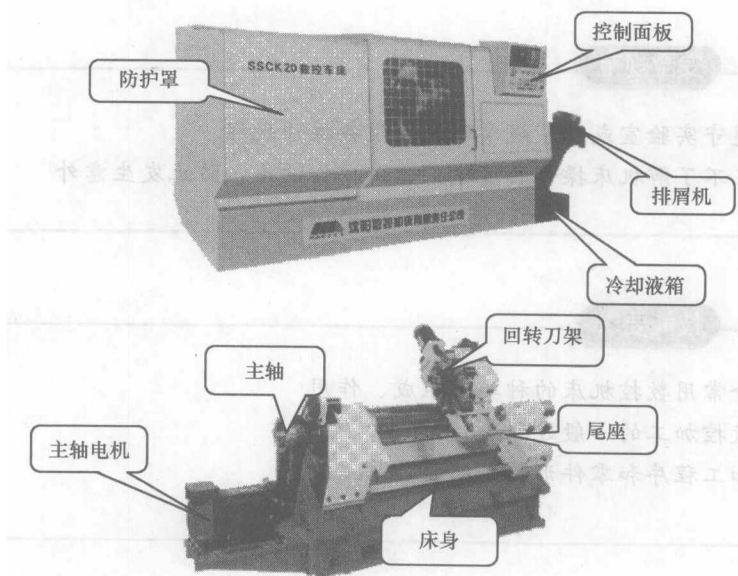


图 1.1 数控车床

数控铣床能够进行铣削、钻削、镗削及攻螺纹等加工，能完成各种平面、沟槽、螺旋槽、成型表面、平面曲线、空间曲线等复杂型面的加工，如图 1.3 和图 1.4 所示。

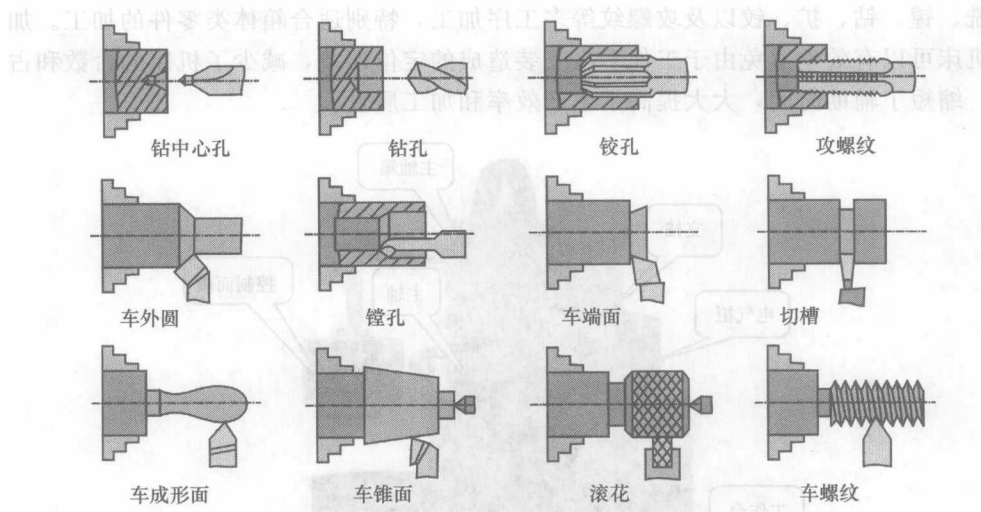


图 1.2 车床加工范围

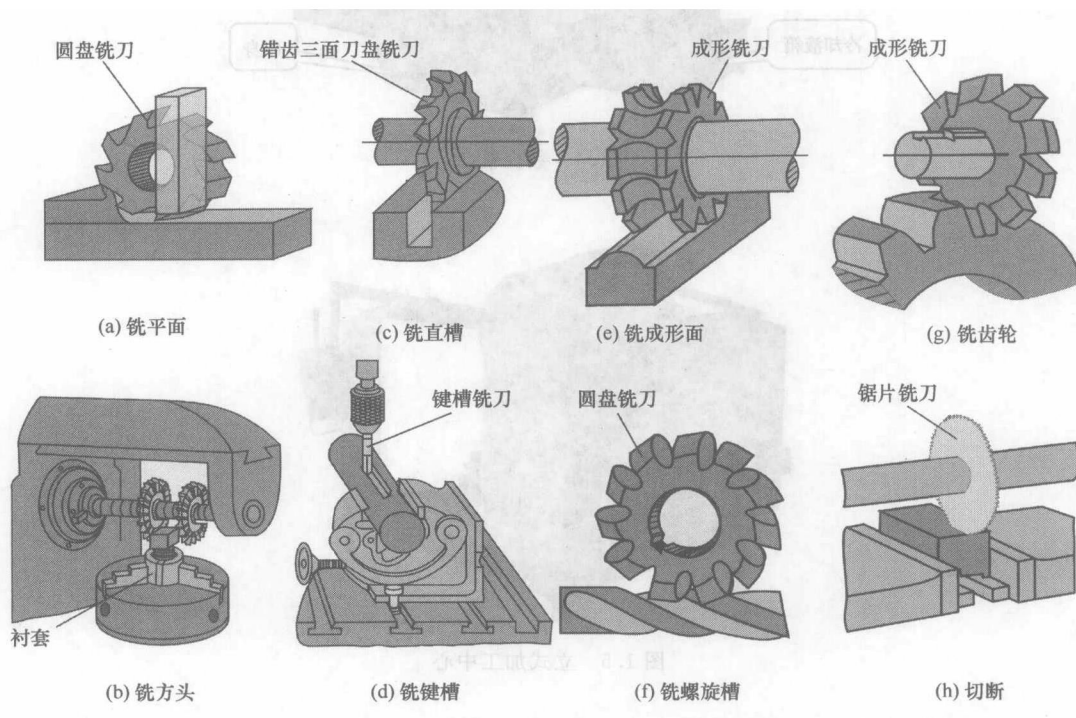


图 1.3 铣削范围

在普通数控机床加装一个刀库和换刀装置就成为数控加工中心机床，如图 1.5 所示。例如铣、镗、钻加工中心，它是在数控铣床基础上增加了一个容量较大的刀库和自动换刀装置形成的，工件一次装夹后，可以对箱体零件的四面甚至五面大部分加工工序



### III 数控加工技术

进行铣、镗、钻、扩、铰以及攻螺纹等多工序加工，特别适合箱体类零件的加工。加工中心机床可以有效地避免由于工件多次安装造成的定位误差，减少了机床的台数和占地面积，缩短了辅助时间，大大提高了生产效率和加工质量。

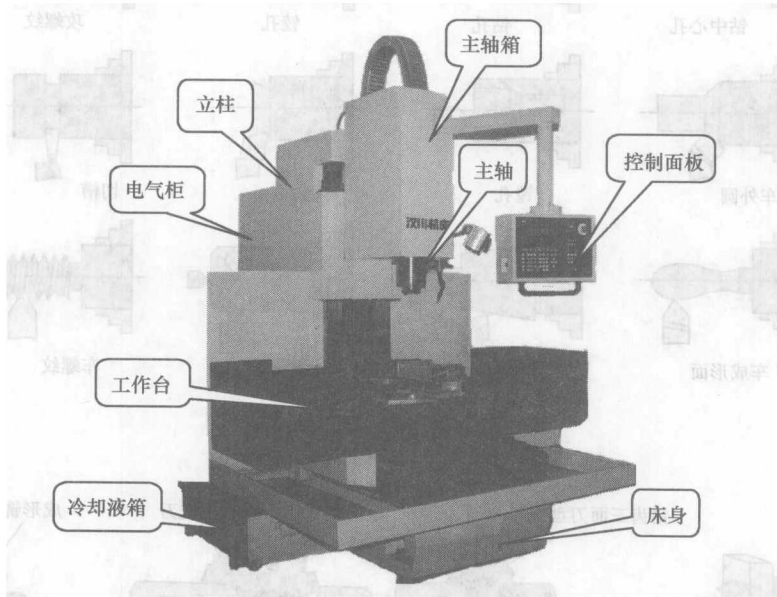


图 1.4 数控铣床

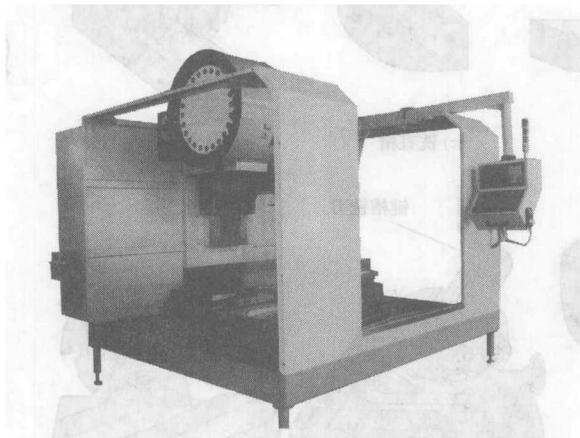


图 1.5 立式加工中心

#### (2) 特种加工类数控机床

除了切削加工数控机床以外，数控技术也大量用于数控电火花线切割机床、数控电火花成型机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

#### (3) 板材加工类数控机床

常见的应用于金属板材加工的数控机床有数控压力机、数控剪板机和数控折弯

机等。

近年来，其他机械设备中也大量采用了数控技术，如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

## 2. 按伺服系统的类型分类

### (1) 开环伺服系统

工作原理：每当数控装置发出一个指令脉冲信号，就使步进电动机的转子旋转一个固定角度，机床工作台移动一定的距离，如图 1.6 所示。

特点：这种系统的结构简单、调试方便、工作可靠、稳定性好、价格低廉，因此被广泛用于精度要求不太高的经济型数控机床上。

### (2) 闭环伺服系统

工作原理：数控装置发出位移指令脉冲，经电动机和机械传动装置使机床工作台移动，安装在工作台上的位置检测器把机械位移变成电学量，反馈到输入端并与输入信号相比较，得到的差值经过放大和变换，最后驱动工作台向减少误差的方向移动。如果输入信号不断地产生，则工作台就不断地跟随输入信号运动，如图 1.7 所示。

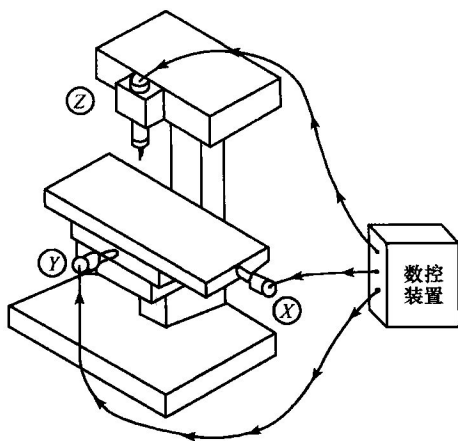


图 1.6 开环伺服系统

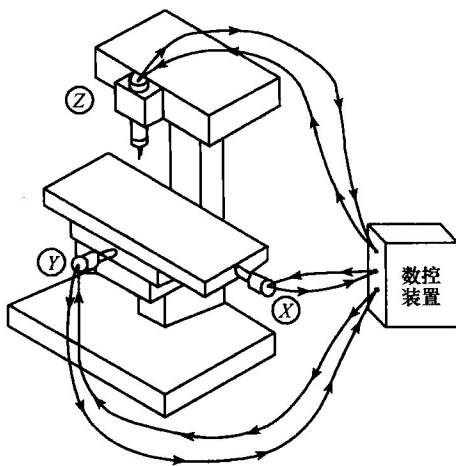


图 1.7 闭环伺服系统

特点：闭环伺服系统有位置反馈系统，可以补偿机械传动装置内的各种误差、间隙和干扰的影响，因而可以达到很高的定位精度，同时还能达到较高的速度。因此，在数控机床上得到广泛应用，特别是在精度要求高的大型和精密机床上应用十分广泛。

### (3) 半闭环伺服系统

在闭环伺服系统中，用安装在进给丝杠轴端或电动机轴端的角位移测量元件（如旋转变压器、脉冲编码器、圆光栅等）来代替安装在机床工作台上的直线测量元件，用测量丝杠或电动机轴旋转角位移来代替测量工作台直线位移。

特点：半闭环伺服系统将惯性大的工作台安排在闭环之外，系统调试较容易，稳定性好。

### 3. 按控制坐标数

按控制坐标数，数控机床有二轴、三轴、四轴、五轴等，分别如图 1.8~图 1.11 所示。

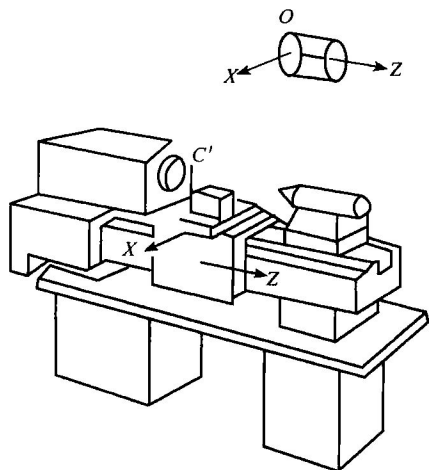


图 1.8 数控车床 (二轴)

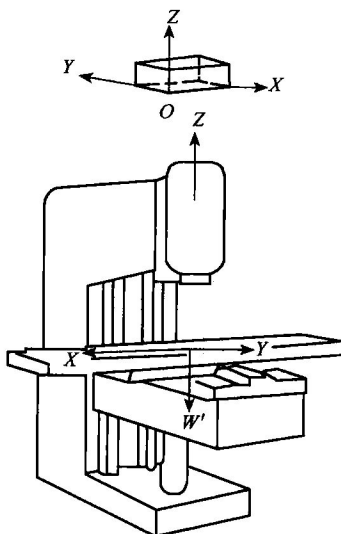


图 1.9 数控铣床 (三轴)

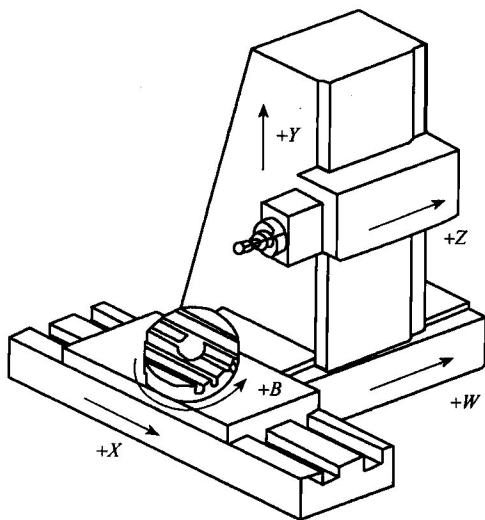


图 1.10 卧式镗铣床 (四轴)

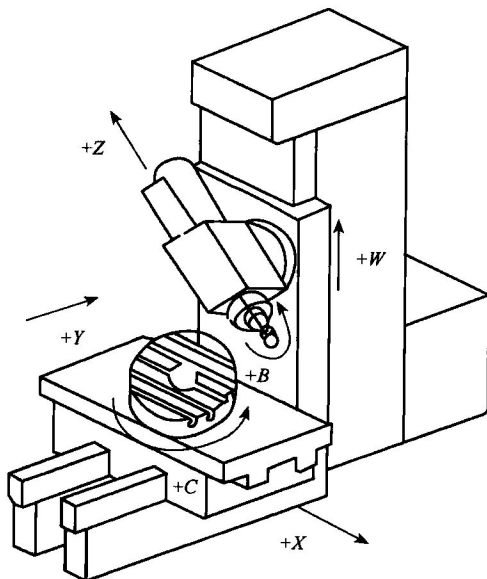


图 1.11 五轴加工中心 (五轴)

在确定机床坐标轴时，一般先确定 Z 轴，然后确定 X 轴和 Y 轴，最后确定其他轴。《数控机床及其数控机械的坐标系和运动方向的命名方法》(JB3051—82) 标准规定，

机床运动的正方向是指增大工件和刀具之间距离的方向。

### (1) Z 轴

Z 轴的方向是由传递切削力的主轴确定的，与主轴轴线平行的坐标轴即为 Z 轴。如图 1.12 所示。如果机床没有主轴，则 Z 轴垂直于工件装卡面。同时规定刀具远离工件的方向作为 Z 轴的正方向。例如，在钻镗加工中，钻入和镗入工件的方向为 Z 坐标的负方向，而退出为正方向。

### (2) X 轴

X 轴是水平的，平行于工件的装卡面，且垂直于 Z 轴。这是在刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。对于工件旋转的机床（如车床、磨床等），X 坐标的方向是在工件的径向上，且平行于横滑座。刀具离开工件旋转中心的方向为 X 轴正方向。对于刀具旋转的机床（铣床、镗床、钻床等），如 Z 轴是垂直的，当从刀具主轴向立柱看时，X 运动的正方向指向右。如果 Z 轴是水平的，当从主轴向工件方向看时，主轴的正方向指向右。

### (3) Y 轴

Y 坐标轴垂直于 X、Z 坐标轴。Y 运动的正方向根据 X 和 Z 坐标的正方向，按照右手直角笛卡儿坐标系来判断，如图 1.12 所示。

### (4) 旋转运动

围绕坐标轴 X、Y、Z 旋转的运动，分别用 A、B、C 表示。它们的正方向用右手螺旋法则判定，如图 1.12 所示。

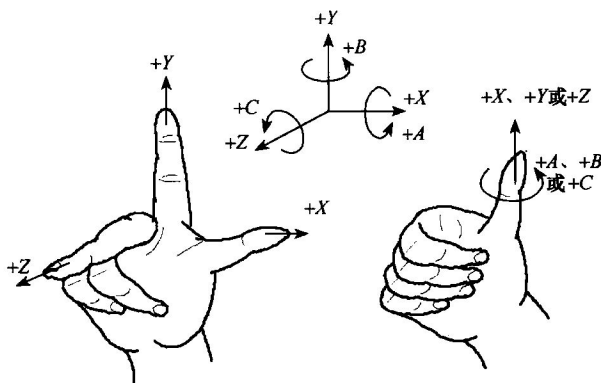


图 1.12 直角笛卡儿坐标系和右手螺旋法则

### (5) 附加轴

如果除 X、Y、Z 坐标以外，还有平行于它们的坐标，可分别指定为 U、V 和 W。

### (6) 工件运动时的相反方向

对于工件运动而不是刀具运动的机床，必须用带“'”的字母，如  $+Y'$ ，表示工件相对于刀具正向运动指令。而不带“'”的字母，如  $+Y$ ，则表示刀具相对于工件负向运动指令。二者表示的运动方向正好相反。对于编程人员只考虑不带“'”的运动方向。

## III 数控加工技术

对于机床制造者，则需要考虑带“/”的运动方向。

### 4. 其他

此外，数控机床也可以按加工路线分为点位控制、直线控制、连续控制等，按实现数控逻辑功能控制的数控装置分为硬线（件）数控（称普通数控，即 NC）和软线（件）数控又称计算机数控或微机数控，即 CNC 或 MNC。

### （二）数控机床的组成

数控机床一般由输入输出装置、数控装置、伺服系统、测量装置和机床本体（组成机床本体的各机械部件）组成，如图 1.13 所示。

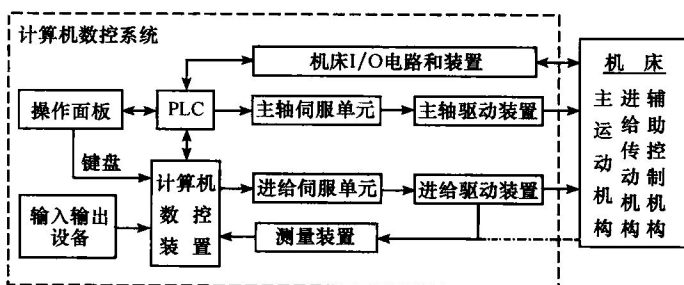


图 1.13 数控机床组成示意图

### 1. 输入输出装置

数控机床在加工运行时，通常都需要操作人员对数控系统进行状态干预，对加工程序的输入、编辑和调试，对数控机床运行状态进行显示等，也就是数控机床要具有人机联系的功能。具有人机联系功能的设备统称人机交互设备。操作面板是操作人员与数控装置进行信息交流的工具。

程序除采用操作面板上的键盘进行手动输入外，还可以采用自动编程后用控制介质输入。现代的数控系统除采用输入输出设备进行信息交换外，一般都具有用通讯方式进行信息交换的能力。它们是实现 CAD/CAM 的集成、FMS 和 CIMS 的基本技术。采用的方式有：串行通讯（RS-232 等串口）、自动控制专用接口和规范（DNC 方式，MAP 协议等）、网络技术（Internet，LAN 等）。

### 2. 计算机数控（CNC）装置

数控装置一般是指控制机床运动的微型计算机，它是数控机床的自动化管理中心。它接受由输入设备输入的各种加工信息，经处理与计算，发出相应的脉冲送给伺服系统，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动。数控装置是数控机床的中枢。CNC 装置（CNC 单元）由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板，通讯接口板、特殊功能模块以及相应的控制软件等组成。

数控系统是数字控制系统简称，英文名称为 numerical control system，早期是由硬件电路构成的称为硬件数控（hard NC），20 世纪 70 年代以后，硬件电路元件逐步由专用的计算机代替称为计算机数控系统（computerized numerical control，简称 CNC）。

CNC 系统由于现在普遍采用了微处理器，通过软件可以实现很多功能。数控系统有多种系列，性能各异。目前国内常用的数控系统有日本 FANUC 系列数控系统、德国 SIEMENS 公司的 SINUMERIK 系列、国产的华中数控系统 HNC、广州数控等。

### 3. 进给伺服驱动系统

进给伺服驱动系统由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机组成。伺服驱动的作用，是把来自数控装置的位置控制移动指令转变成机床工作部件的运动，使工作台按规定轨迹移动或精确定位，加工出符合图样要求的工件。

常用的伺服电动机有步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机。根据接收指令的不同，伺服驱动有脉冲式和模拟式，而模拟式伺服驱动方式按驱动电动机的电源种类，可分为直流伺服驱动和交流伺服驱动。步进电动机采用脉冲驱动方式，交、直流伺服电动机采用模拟式驱动方式。

### 4. 机床电气控制

机床电气控制包括两个方面。PLC（可编程的逻辑控制器）用于完成与逻辑运算有关顺序动作的 I/O 控制；而机床 I/O 电路和装置则是用来实现 I/O 控制的执行部件，由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成的逻辑电路。

### 5. 测量装置

通过测量装置将机床移动的实际位置、速度参数检测出来，转换成电信号，并反馈到 CNC 装置中，使 CNC 能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致，并发出相应指令，纠正所产生的误差。测量装置安装在数控机床的工作台或丝杠上，检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。在其他的控制领域，测量装置也有其应用，如机械手。

### 6. 机床本体

数控机床的机械部件包括：主运动部件，进给运动执行部件，如工作台、拖板及其传动部件，床身、立柱等支承部件；此外，还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库，交换刀具的机械手等部件。

## ● 工作任务



参观数控加工生产现场，观察零件是怎样加工出来的，数控机床是怎样加工工件的，并根据现场看到的设备，填写表 1.1。

表 1.1 数控生产设备统计

数控设备名称	型 号	伺服系统	坐 标 数	数控系统	应 用

## ● 实践操作



1. 参观数控加工生产现场，观察数控机床的组成，向老师或师傅询问相关内容，并作记录。
2. 完成需填写的表格。

## ● 巩固训练



生产加工中，除了用到机床，还需要用到什么呢？

# 任务 2 数控加工初体验

## 一、场景描述

在教师的帮助下，用数控车床进行简单零件加工。

## 二、相关知识与技能点

### (一) 数控加工概念及一般过程

数控 (numerical control, 简称 NC 数字控制) 是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等。数控加工是用数字信息控制零件和刀具位移的机械加工方法。采用数控机床加工零件时, 只需要将零件图形和工艺参数、加工步骤等以数字信息的形式, 编成程序代码输入到机床控制系统中, 再由其进行运算处理后转成驱动伺服机构的指令信号, 从而控制机床各部件协调动作, 自动地加工出零件来。数控加工一般过程见图 1.14。

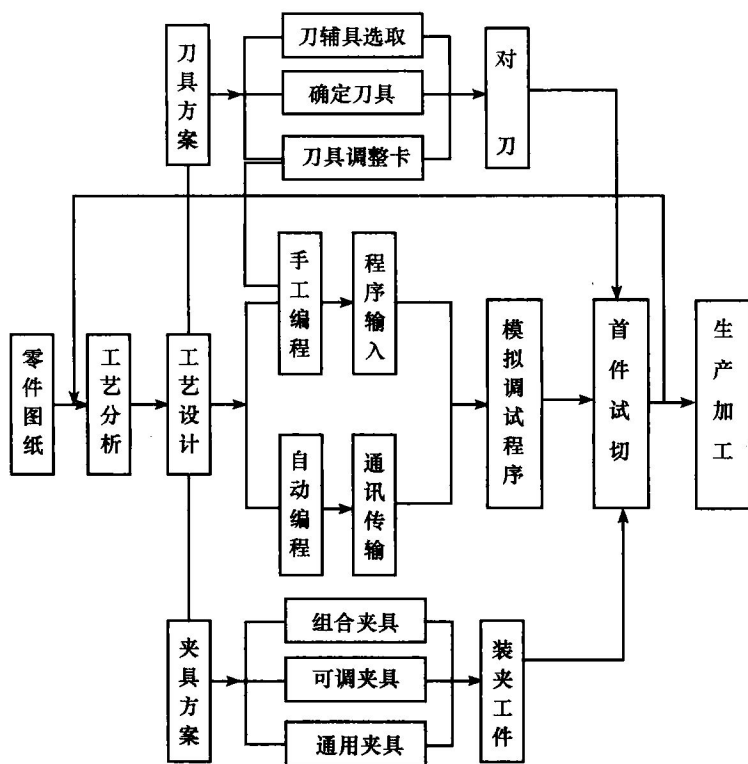


图 1.14 数控加工一般过程

### (二) 数控加工的特点

数控加工的最大特点是用数字信息控制机床进行自动加工。与普通机床加工相比, 数控加工有下列特点: ①适合于复杂异形零件的加工。②加工质量稳定, 加工精度高。③高柔性。加工对象改变时, 一般只需要更改数控程序, 体现出很好的适应性, 可大大



### III 数控加工技术

节省生产准备时间,大量减少工装数量,加工形状复杂的零件不需要复杂的工装,适用于新产品研制和改型。在数控机床的基础上,可以组成具有更高柔性的自动化制造系统。④高生产率。数控机床本身的精度高、刚性大,可选择有利的加工用量;数控机床加工能在一次装夹中加工多个加工表面,而且一般只检测首件,所以可以省去普通机床加工时的不少中间工序,如划线、尺寸检测等,减少了辅助时间。因此,数控加工生产率较高,一般为普通机床的3~5倍,对某些复杂零件的加工,生产效率可以提高十几倍甚至几十倍,特别适合于多品种、小批量生产。⑤劳动条件好。⑥有利于管理现代化。采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展,为实现生产过程自动化创造了条件。⑦投资大,使用费用高。⑧生产准备工作复杂。由于整个加工过程采用程序控制,数控加工的前期准备工作较为复杂。⑨维修困难。数控机床是典型的机电一体化产品,技术含量高,对维修人员的技术要求很高。⑩对管理和操作人员要求较高。

#### (三) 适合数控机床加工的零件

在多品种、中小批量生产情况下,采用数控机床可获得较好的经济效益。不过,随着数控机床制造成本的逐步下降,现在不管是国内还是国外,加工大批量零件的情况也已经出现。加工很小批量和单件生产时,如能缩短程序的调试时间和工装的准备时间也是可以选用的。

根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,一般可按适用程度将零件分为以下三类:

##### (1) 最适用类

①形状复杂,加工精度要求高,用通用机床无法加工或虽然能加工但很难保证产品质量的零件。②用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件。③有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒型零件。④必须在次装夹中合并完成铣、镗、绞或螺纹等多工序的零件。

##### (2) 较适用类

①在通用机床加工时极易受人为因素(如情绪波动、体力强弱、技术水平高低等)干扰,零件价值又高,一旦质量失控会造成重大经济损失的零件。②在通用机床上加工时必须制造复杂的专用工装的零件。③需要多次更改设计后才能定型的零件。④在通用机床上加工需要作长时间调整的零件。⑤用通用机床加工时,生产率很低或体力劳动强度很大的零件。

##### (3) 不适用类

①生产批量大的零件。②装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件。③加工余量不稳定,且数控机床上无在线检测系统可自动调整零件坐标位置的零件。④必须用特定的工艺装备协调加工的零件。