



中等职业技术学校数控技术应用专业教材

ZHONGDENG ZHIYE JISHU XUEXIAO SHUKONG JISHU YINGYONG ZHUANYE JIAOCAI

数控机床结构、原理与维护保养

SHUKONG JICHUANG JIEGOU YUANLI YU WEIHU BAOYANG



中国劳动社会保障出版社

中等职业技术学校数控技术应用专业教材

数控机床结构、原理 与维护保养

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床结构、原理与维护保养/黄荣亿, 谢祥强主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2007

中等职业技术学校数控技术应用专业教材

ISBN 978-7-5045-76261-6

I. 数… II. ①黄…②谢… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 122038 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

*

北京市艺辉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 10.75印张 247千字

2007年8月第1版 2007年8月第1次印刷

定价: 18.00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

编审人员名单

主 编 黄荣亿 谢祥强

副主编 詹 敏 李世强 黄兆牛 湛年远

参 编 陆婉线 莫晓德 黄 悦 闭俊波

前 言

为了更好地满足中等职业技术学校数控技术应用专业的教学要求，适应广西壮族自治区的实际情况和职教特色，促进广西地区数控技术人才的培养，劳动和社会保障部教材办公室组织广西有关学校的职业教育研究人员、一线教师 and 行业专家在广泛调研的基础上，开发了这套中等职业技术学校数控技术应用专业教材。

这套数控技术应用专业教材主要包括《机械制图与 AutoCAD》《机械基础》《机械加工工艺与实训》《机床电气控制基础》《CAD/CAM 软件应用实训教程》《数控车削实训教程》《数控铣削实训教程》《数控机床结构、原理与维护保养》。以后我们还会根据教学需要和行业发展，推出其他数控教材。

本套教材的编写原则是：以就业为导向，以学生为主体，以培养中等数控技术应用型人才为根本任务，以数控技术应用岗位必备的能力和基本素质为主线，构建课程的知识结构，重组课程体系；突出理论知识在实践中的应用和实际能力的培养，以技能和能力培养为重点，坚持常规机械制造技术训练与数控技术训练相结合，坚持实验室模拟编程仿真教学与数控机床单机实操实训相结合，构建具有中职特色的理论教学和实践教学新体系。

本套教材的编写特点是：

一是从生产实际出发，合理安排教材的知识和技能结构，突出技能性培养，摒弃“繁难偏旧”的理论知识。

二是以国家相关职业标准为依据，确保在知识内容和技能水平上符合国家职业技能鉴定标准。

三是引入新技术、新工艺内容，反映行业的新标准、新趋势，淘汰陈旧过时的技术，拓宽专业技术人员的知识眼界。

四是在结构安排和表达方式上，强调由浅入深，循序渐进，力求做到图文并茂。

本套教材的编写工作得到了广西教苑图书有限公司的大力支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

《数控机床结构、原理与维护保养》的主要内容有：数控机床概述、计算机数控系统、数控加工控制原理、数控机床的伺服驱动与检测、数控机床典型机械结构、数控机床的应用及数控机床的故障诊断与维修。

劳动和社会保障部教材办公室

2007年8月

目 录

第 1 章 数控机床概述	(1)
§ 1—1 数控机床的产生与发展	(1)
§ 1—2 数控机床概述	(3)
§ 1—3 数控机床的分类	(5)
§ 1—4 数控机床的坐标系	(8)
习题	(11)
第 2 章 计算机数控系统	(13)
§ 2—1 CNC 系统的基本组成	(13)
§ 2—2 CNC 装置的组成及功能	(15)
§ 2—3 CNC 装置的硬件结构	(20)
§ 2—4 CNC 装置的软件结构	(25)
§ 2—5 PLC 在 CNC 中的应用	(31)
§ 2—6 开放式数控系统	(34)
§ 2—7 典型 CNC 系统简介	(35)
习题	(43)
第 3 章 数控加工控制原理	(44)
§ 3—1 概述	(44)
§ 3—2 输入	(46)
§ 3—3 输入数据处理	(50)
§ 3—4 插补原理	(60)
§ 3—5 进给速度控制	(66)
习题	(68)
第 4 章 数控机床的伺服驱动与检测	(70)
§ 4—1 概述	(70)
§ 4—2 步进电动机的驱动与应用	(71)
§ 4—3 交、直流伺服电动机的驱动	(78)
§ 4—4 常用位置检测装置	(88)

习题.....	(100)
第 5 章 数控机床典型机械结构	(101)
§ 5—1 数控机床的机械结构特点.....	(101)
§ 5—2 数控机床的主传动系统及主轴部件.....	(105)
§ 5—3 数控机床进给系统机械部件.....	(115)
§ 5—4 导轨.....	(122)
§ 5—5 自动换刀装置.....	(126)
§ 5—6 回转工作台.....	(135)
习题.....	(138)
第 6 章 数控机床的应用	(142)
§ 6—1 数控机床的选用.....	(142)
§ 6—2 数控机床的安装与调试.....	(144)
§ 6—3 数控机床的验收.....	(147)
§ 6—4 数控机床的使用、保养与维修.....	(150)
习题.....	(153)
第 7 章 数控机床的故障诊断与维修	(156)
§ 7—1 概述.....	(156)
§ 7—2 数控机床的故障诊断.....	(159)
习题.....	(164)

第 1 章

数控机床概述

§ 1—1 数控机床的产生与发展

◎ 本节学习要求

1. 了解数控机床的产生原因及目的。
2. 了解数控机床的发展情况。

一、数控机床的产生

1946 年世界上第一台电子计算机诞生后,人们就设想用电子计算机来解决复杂零件的加工问题。1948 年,美国帕森斯公司在研制机床时提出了用电子计算机控制机床来加工样板曲线的设想。后来,公司受美国空军委托,与麻省理工学院伺服机构研究所合作进行研制工作,于 1952 年试制成功世界上第一台由电子计算机控制的三坐标立式铣床。1959 年 3 月 29 日,美国制成可按穿孔带指令更换刀具和多种工序自动加工的综合型数控机床,后称为第一台“加工中心”。我国从 1958 年开始研制数控机床,20 世纪 60 年代中期进入实用阶段。自 20 世纪 80 年代开始,我国引进日本、美国、德国等国的数控系统和技术,使国产数控系统在性能、可靠性等方面得到了迅速提高。经过“六五”“七五”“八五”及“九五”科技攻关,我国已掌握了现代数控技术的核心内容。

二、数控机床的发展

数控机床的发展至今已经历了两个阶段和六个时代(图 1—1)。数控机床正向高速、高效、高精度、高可靠性、模块化、智能化、柔性化、集成化及体系结构开放性方向发展。

为了满足市场和科学技术发展的需要,达到现代制造技术对数控技术提出的更高要求,数控技术及其装备的发展趋势主要体现在以下几个方面:

1. 高速、高效、高精度和高可靠性

(1) 高速、高效 20 世纪 90 年代以来,德、美、日等国争相开发新一代高速数控机床,加快了机床高速化的发展步伐。高速主轴单元(电主轴,转速 15 000~100 000 r/min)、高速且高加减速的进给运动部件(快移速度达 60~120 m/min,切削进给速度达 60 m/min)、高性能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破,达到了新的技术水平。

(2) 高精度 从精密加工发展到超精密加工（特高精度加工），是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级，乃至纳米级（ $<10\text{ nm}$ ），应用范围日趋广泛。

(3) 高可靠性 指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性在一个数量级以上。

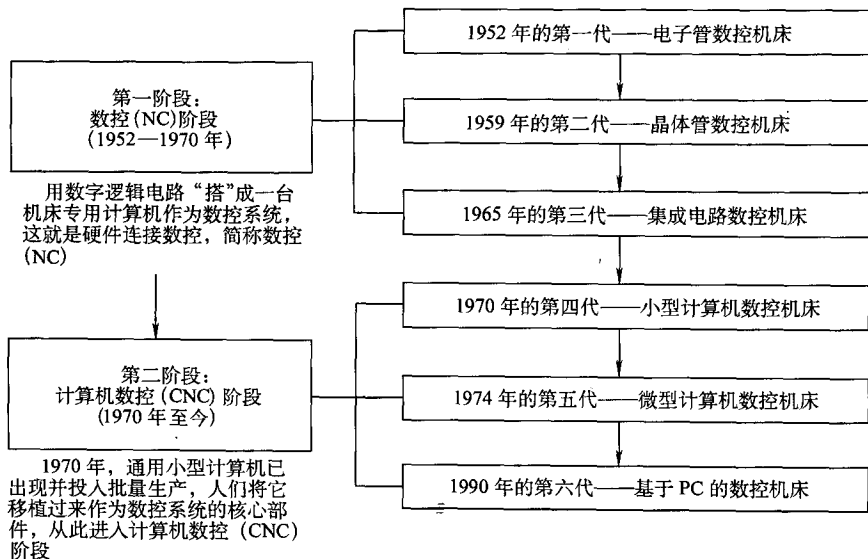


图 1—1 数控机床的发展

2. 模块化、智能化、柔性化和集成化

(1) 模块化、专门化与个性化 机床结构模块化，数控功能专门化，机床性价比显著提高并加快优化。

(2) 智能化 智能化体现在数控系统中的各个方面：加工效率和加工质量方面的智能化，如自适应控制、工艺参数自动生成；驱动性能和使用连接方便方面的智能化，如前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型、自整定等；简化编程和简化操作方面的智能化，如智能化的自动编程、智能化的人机界面等；诊断和监控方面的智能化，如方便系统的诊断及维修等。

(3) 柔性化和集成化 所谓“柔性”，即灵活、通用、万能。柔性自动化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段，是各国制造业发展的主流趋势，是先进制造领域的基础技术。其重点是以提高系统的可靠性、实用性为前提，以易于联网和集成为目标；数控机床及其柔性制造系统能方便地与 CAD、CAM、CAPP（计算机辅助工艺规程设计）系统连接，向信息集成方向发展。

3. 开放性

为适应数控进线、联网、个性化、多品种、小批量、柔性化及迅速发展的要求，要重点发展体系结构的开放性，设计生产开放式的数控系统。

§ 1—2 数控机床概述

◎ 本节学习要求

1. 了解数控机床的概念。
2. 掌握数控机床的组成及其特点。
3. 熟悉数控机床的工作过程。
4. 熟悉数控机床的应用范围。

一、数控机床的概念

1. 数控 (Numerical Control, 简称 NC)

数控是利用数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制的方法。

2. 数控机床

采用数字控制的机床简称数控机床。

硬线数控机床又称 NC 机床, 它使用的是硬线 (件) 数控装置。

计算机数控机床又称 CNC 机床, 它使用的是计算机数控装置 (Computerized Numerical Control)。现代数控机床普遍采用计算机数控装置。

二、数控机床的组成

数控机床一般由输入装置、输出装置、数控装置、伺服驱动装置、辅助控制装置、检测反馈装置和机床本体等部分组成。数控机床的组成如图 1—2 和图 1—3 所示。

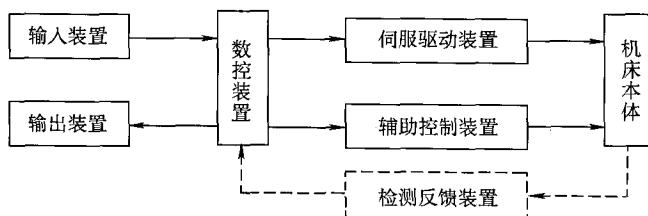


图 1—2 数控机床的组成框图

三、数控机床的特点

1. 提高加工精度, 尤其是提高了同批零件加工的一致性, 使产品质量稳定。
2. 提高生产效率, 一般约提高生产效率 3~5 倍, 使用数控加工中心则可提高生产效率 5~10 倍。
3. 可加工形状复杂的零件。
4. 减轻了劳动强度, 改善了劳动条件。
5. 有利于生产管理和机械加工综合自动化的发展。

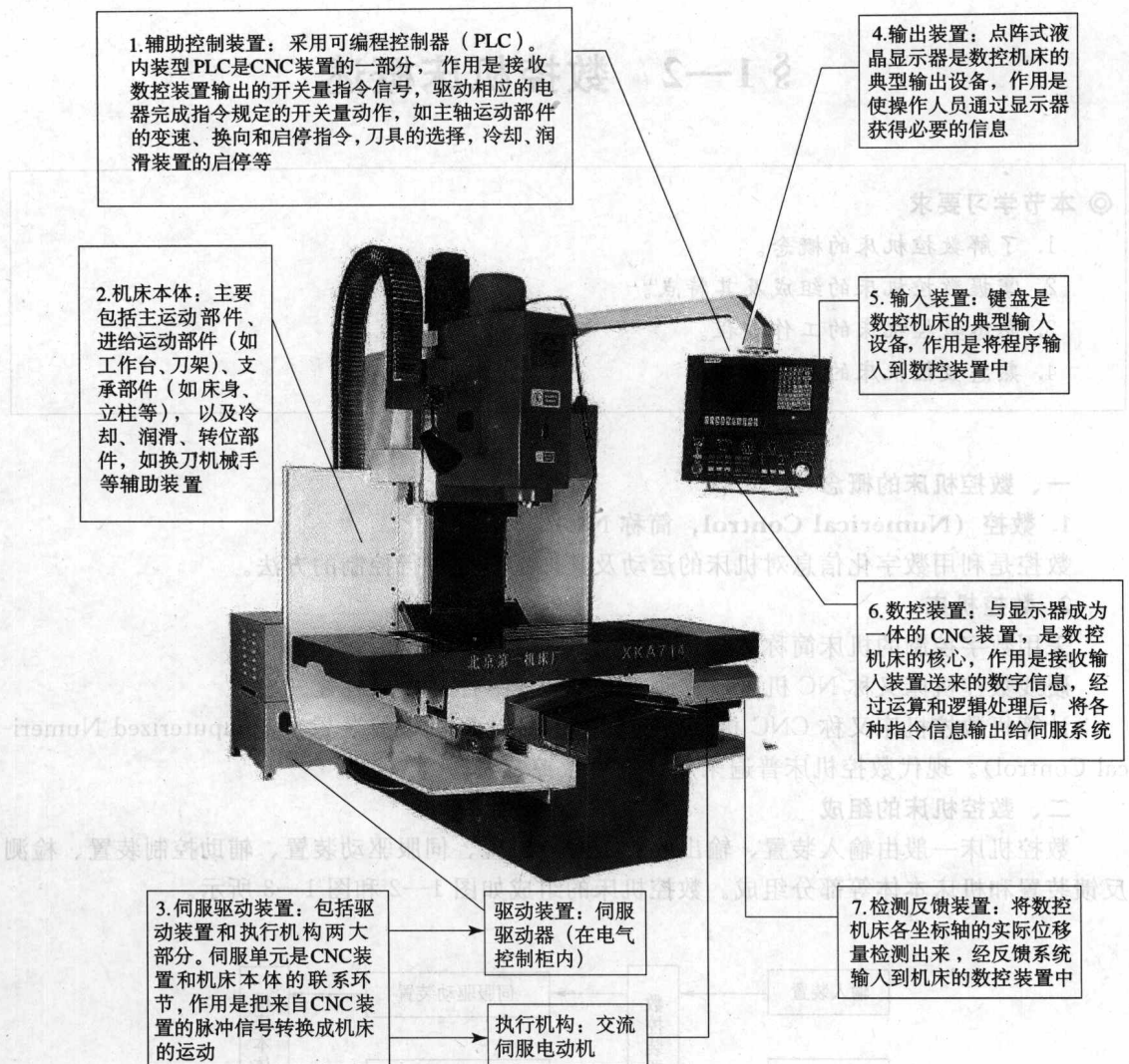


图 1—3 数控机床的组成

四、数控机床的工作过程

利用数控机床完成零件加工的过程，如图 1—4 所示。

五、数控机床的应用范围

数控机床最适合加工具有以下特点的零件：

1. 多品种、小批量生产的零件。
2. 形状结构比较复杂的零件。
3. 需要频繁改型的零件。
4. 价格昂贵，不允许报废的关键零件。
5. 需要生产周期短的零件。
6. 批量较大，精度要求高的零件。

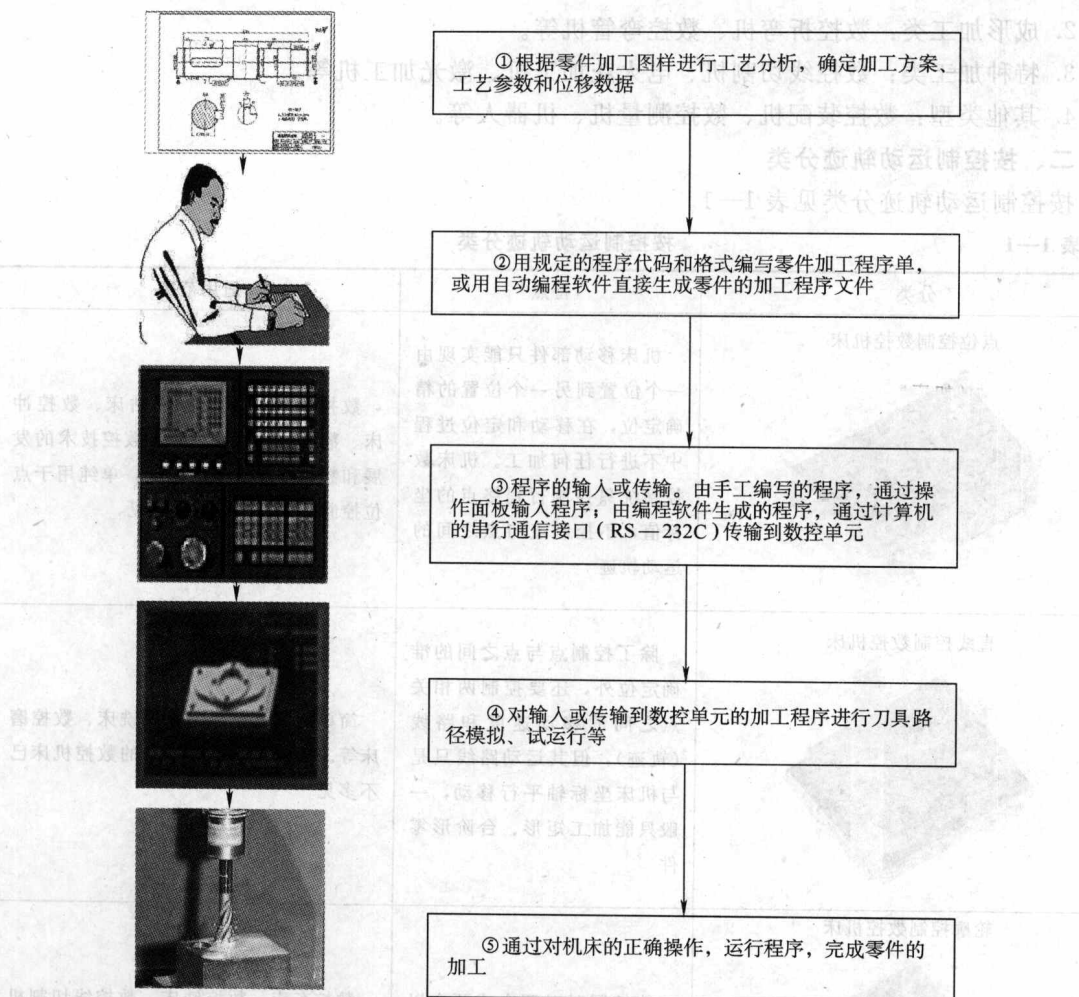


图 1—4 数控机床加工零件的基本过程

§ 1—3 数控机床的分类

◎ 本节学习要求

1. 了解数控机床按加工工艺方法的分类。
2. 熟悉数控机床按控制运动轨迹的分类。
3. 掌握数控机床按驱动装置特点的分类。
4. 熟悉数控机床按联动轴数的分类及按 CNC 装置功能水平的分类。

一、按加工工艺方法分类

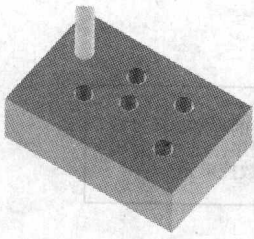
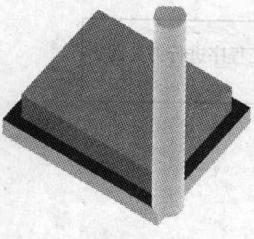
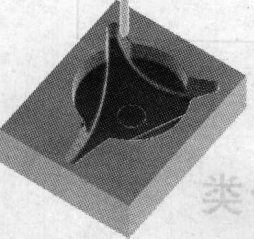
1. 切削加工类：数控镗铣床、数控车床、数控磨床、加工中心、数控齿轮加工机床等。

2. 成形加工类：数控折弯机、数控弯管机等。
3. 特种加工类：数控线切割机、电火花加工机、激光加工机等。
4. 其他类型：数控装配机、数控测量机、机器人等。

二、按控制运动轨迹分类

按控制运动轨迹分类见表 1—1。

表 1—1 按控制运动轨迹分类

分类	特点	适用范围
<p>点位控制数控机床</p> 	<p>机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位，在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值，不控制点与点之间的运动轨迹</p>	<p>数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机等。随着数控技术的发展和数控系统价格的降低，单纯用于点位控制的数控系统已不多见</p>
<p>直线控制数控机床</p> 	<p>除了控制点与点之间的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和路线（轨迹），但其运动路线只是与机床坐标轴平行移动，一般只能加工矩形、台阶形零件</p>	<p>简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。单纯用于直线控制的数控机床已不多见</p>
<p>轮廓控制数控机床</p> 	<p>能够同时对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度进行控制，可以进行各种直线、圆弧、曲线的加工</p>	<p>数控车床、数控铣床、数控线切割机、加工中心等。除少数专用控制系统外，现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能</p>

三、按驱动装置特点分类

按驱动装置特点分类见表 1—2。

表 1—2 按驱动装置特点分类

分类	特点	适用范围
<p>开环控制数控机床</p>	<p>其控制系统没有位置检测元件，伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机。此类数控机床的信息流是单向的，即进给脉冲发出后，实际移动值不再反馈回来，所以称为开环控制数控机床。开环控制数控机床结构简单，成本较低，加工精度低。图 1—5 所示为开环控制数控机床系统框图</p>	<p>适用于加工精度要求不高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床</p>

续表

分类	特点	适用范围
闭环控制数控机床	在机床移动部件上安装直线位移检测装置，直接对工作台的实际位移进行检测。这类控制的数控机床，因把机床工作台纳入了控制环节，故称为闭环控制数控机床。闭环控制数控机床的定位精度高，但调试和维修都较困难，系统复杂，成本高。图1—6所示为闭环控制数控机床系统框图	主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控精密磨床、加工中心、超精密车床等
半闭环控制数控机床	在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移检测装置（如光电编码器），通过检测丝杠的转角，间接地检测移动部件的实际位移。由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制数控机床。半闭环控制数控机床调试比较方便，精度也较高，并且具有很好的稳定性。图1—7所示为半闭环控制数控机床系统框图	主要用于精度要求较高的数控车床、数控铣床、加工中心等。目前，大部分数控机床采用半闭环控制方式

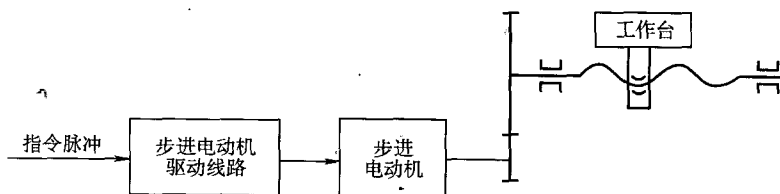
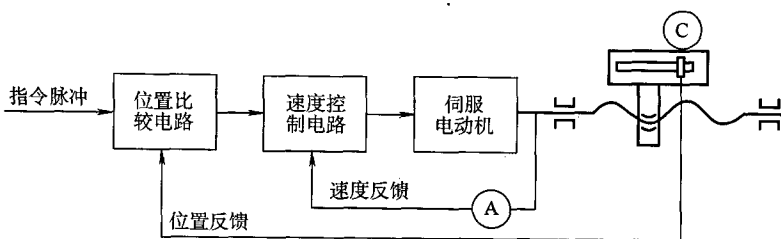
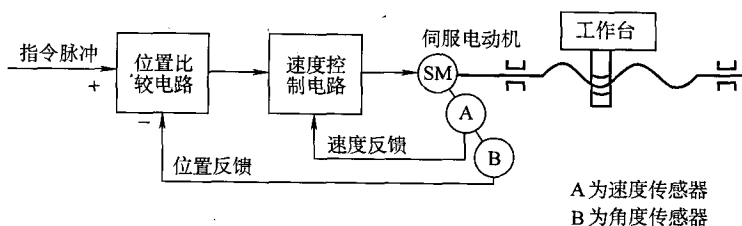


图 1—5 开环控制数控机床系统框图



A为速度传感器
C为直线位移传感器

图 1—6 闭环控制数控机床系统框图



A为速度传感器
B为角度传感器

图 1—7 半闭环控制数控机床系统框图

四、按联动轴数分类

数控系统控制几个坐标轴按需要的函数关系同时协调运动，称为坐标联动。按联动轴数分类见表 1—3。

表 1—3 按联动轴数分类

分类	特点	适用范围
两轴联动	数控机床能同时控制两个坐标轴的联动	适用于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓
两轴半联动	X、Y、Z 三轴中任意两轴做插补联动，第三轴做单独的周期进刀，常称 2.5 轴联动	适用于曲率变化不大以及精度要求不高的粗加工
三轴联动	数控机床能同时控制三个坐标轴的联动	适用于一般曲面的加工，一般的型腔模具均可采用三轴加工完成
多坐标联动	数控机床能同时控制四个以上坐标轴的联动。多坐标数控机床结构复杂，精度要求高，程序编制复杂	适用于加工形状复杂的零件，如叶轮叶片类零件

五、按 CNC 装置功能水平分类

按 CNC 装置功能水平可大致把数控机床分为高、中、低三档，主要可从分辨率、进给速度、伺服系统、同时控制轴数（联动轴数）、通信功能、显示功能、有无 PLC 及主 CPU 水平等方面加以区分。高、中、低三档的界限是相对的，不同时期划分的标准会有所不同，现在的高档有可能是未来的低档。按 CNC 装置功能水平分类见表 1—4。

表 1—4 按 CNC 装置功能水平分类

功能	高档（全能型）	中档（普及型）	低档（经济型）
分辨率 (μm)	0.1	1	10
进给速度 (mm/min)	15~100	15~24	小于 15
伺服系统	交、直流伺服电动机驱动的闭环、半闭环控制伺服系统		功率步进电动机驱动的开环控制伺服系统
同时控制轴数	5 轴或 5 轴以上	2~4 轴	2 轴（3 轴直线）
通信功能	带 RS—232C、MAP 网卡，可以进网	RS—232C、RS—422 或 DNC 通信接口	无或 RS—232C 通信接口
显示功能	可以进行三维图形显示	CRT (LCD) 字符、图形显示	LED 显示或 CRT 字符显示
有无 PLC	有		无
主 CPU	16 位、32 位、64 位，主流为 32 位		8 位，也有 16 位

§ 1—4 数控机床的坐标系

◎ 本节学习要求

1. 了解数控机床坐标系的作用。
2. 熟悉数控机床坐标系的确定依据和确定方法。
3. 熟悉机床原点、机床参考点、工件原点及对刀点。

一、数控机床坐标系的作用

数控机床坐标系是为了确定工件在机床中的位置、机床运动部件的特殊位置及运动范围，即描述机床运动，产生数据信息而建立的几何坐标系。通过机床坐标系的建立，可确定机床位置关系，获得所需的相关数据。

二、数控机床坐标系的确定依据

数控机床坐标系的确定依据为国际上统一的 ISO 841 标准。

三、数控机床坐标系的确定方法

1. 假设：工件固定，刀具相对工件运动。

2. 标准：右手笛卡儿直角坐标系——拇指为 X 向，食指为 Y 向，中指为 Z 向。围绕 X 、 Y 、 Z 各轴的回转运动及其正方向用右手定则判定分别为 $+A$ 、 $+B$ 、 $+C$ 。直角坐标系 X 、 Y 、 Z 又称主坐标系或第一坐标系，如有第二组坐标系和第三组坐标系平行于 X 、 Y 、 Z ，则分别指定为 U 、 V 、 W 和 P 、 Q 、 R ，如图 1—8 所示。

3. 顺序：先 Z 轴，再 X 轴，最后 Y 轴。

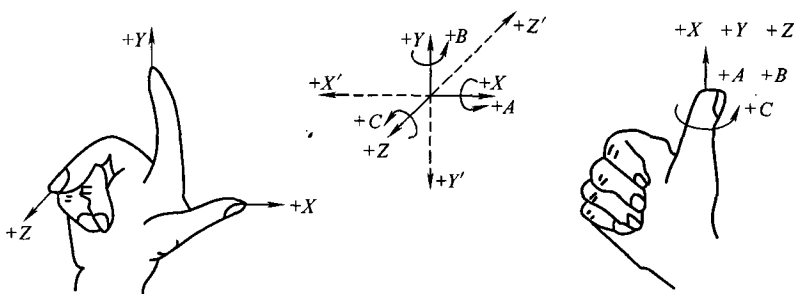


图 1—8 右手笛卡儿直角坐标系

Z 轴——机床主轴。

X 轴——装夹平面内的水平向。

Y 轴——由右手笛卡儿直角坐标系确定。

4. 方向：刀具远离工件的方向为正方向，如图 1—9 和图 1—10 所示；反之，若工件移动，则其正向分别用 X' 、 Y' 、 Z' 表示， $X = -X'$ ， $Y = -Y'$ ， $Z = -Z'$ 。

四、机床原点、机床参考点、工件原点及对刀点

1. 机床原点

机床坐标系原点也称机床原点或机床零点，其位置在机床上是固定不变的。它在机床装配、调试时就已经确定下来，是数控机床进行运动加工的基准参考点，一般取自机床运动方向的最远点。

在数控车床上，机床原点一般取自卡盘端面与主轴中心线的交点处；在数控铣床上，机床原点一般取自 X 、 Y 、 Z 坐标轴的正方向极限位置上。

2. 机床参考点

机床参考点是机床上的一个固定点，其位置由各轴的参考点开关、撞块位置以及各轴伺服电动机的零点位置确定。机床参考点对机床原点的坐标是一个已知数，该点到机床原点在