



“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材



“十三五”江苏省高等学校重点教材

数控原理及控制系统

周庆贵 陈书法 主编



教材预览、申请样书



微信公众号: pup6book



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS



“十三五”普通高等教育本科规划教材
高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材



“十三五”江苏省高等学校重点教材(编号: 2016-2-051)

数控原理及控制系统

主 编 周庆贵 陈书法

副主编 王华岳

参 编 郑书谦



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是根据教育部“全国机械类专业应用型本科人才培养目标及基本规格”的要求,为相关专业学生学习数控原理课程而编写的教材。本书较全面地介绍了数控系统的相关理论和数控机床各部分的控制应用方法及应用实例,重点突出,力求体现先进性、应用性。全书共分8章,内容包括绪论、数控系统的插补原理、计算机数控装置、数控机床的伺服系统、数控机床的位置检测装置、PLC在数控机床中的应用、数控系统的电磁兼容设计和典型数控机床电气控制系统分析。

本书可作为应用型本科院校的机械设计制造及其自动化、机械电子工程等专业的教材,也可作为机械类和近机类专业本科、高职高专教学用书,还可供设备操作、设计与维护维修等工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控原理及控制系统/周庆贵,陈书法主编. —北京:北京大学出版社,2017.9

(高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材)

ISBN 978-7-301-28834-4

I. ①数… II. ①周… ②陈… III. ①数控机床—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第247674号

书 名	数控原理及控制系统 Shukong Yuanli ji Kongzhi Xitong
著作责任者	周庆贵 陈书法 主编
策 划 编 辑	童君鑫
责 任 编 辑	黄红珍
数 字 编 辑	刘 蓉
标 准 书 号	ISBN 978-7-301-28834-4
出 版 发 行	北京大学出版社
地 址	北京市海淀区成府路205号 100871
网 址	http://www.pup.cn 新浪微博:@北京大学出版社
电 子 信 箱	pup_6@163.com
电 话	邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667
印 刷 者	北京溢漾印刷有限公司
经 销 者	新华书店
	787毫米×1092毫米 16开本 15.25印张 350千字
	2017年9月第1版 2017年9月第1次印刷
定 价	36.00元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话:010-62752024 电子信箱:fd@pup.pku.edu.cn

图书如有印装质量问题,请与出版部联系,电话:010-62756370

前 言

随着我国工业的快速发展,机械制造业发展的一个明显趋势是越来越广泛地应用数控技术。普通机械逐渐被高效率、高精度的数控机械代替,因而急需大量的数控机床使用、维护和维修的高级专门人才。

数控机床是一种综合应用了信息技术、自动控制、电力电子技术、通信技术、精密测量、精密机械、气动、液压、润滑等技术的典型机电一体化产品,是现代制造技术的基础。相关人员需要经过系统的学习和培训才能胜任数控机床使用、维护和维修工作。随着计算机技术的飞速发展,数控技术得到了迅速发展,数控系统的性能和品质也有了极大的提高。本书坚持从数控原理的基本概念入手,以数控机床为控制对象,较全面地介绍了数控系统的相关理论和数控机床各部分的控制应用方法及应用实例。本书在介绍基本理论的基础上,还重点阐述了插补软件实现方法、代表性的数控装置相关接口、西门子(SIEMENS)数控系统集成 PLC 的特点和典型数控机床电气控制系统分析等,强调对基本理论和应用技术的学习,突出学以致用。全书共分 8 章,内容包括绪论、数控系统的插补原理、计算机数控装置、数控机床的伺服系统、数控机床的位置检测装置、PLC 在数控机床中的应用、数控系统的电磁兼容设计和典型数控机床电气控制系统分析。本书内容先进、选材典型、案例丰富,理论联系实际,面向工程应用,可作为机械类和近机类相关专业的教材,也可供工程技术人员参考使用。

本书由周庆贵和陈书法担任主编,并负责统稿、定稿,王华兵担任副主编,郑书谦参与编写,具体编写分工如下:第 1 章由郑书谦编写,第 2 章由陈书法编写,第 3、4、5、8 章由周庆贵编写,第 6 章由周庆贵和王华兵编写,第 7 章由王华兵编写。

由于编者水平有限,加上数控技术日新月异的发展和不同系统之间的差异,书中难免存在疏漏或不当之处,恳请读者不吝赐教,提出批评意见。

编 者

2017 年 7 月

目 录

第 1 章 绪论	1	3.1.2 数控系统的功能和 工作过程	48
1.1 概述	3	3.2 CNC 装置的硬件结构	51
1.2 数控机床的构成及加工过程	3	3.2.1 单微处理器数控系统的结构	52
1.2.1 数控机床的构成	3	3.2.2 多微处理器数控系统的结构	52
1.2.2 数控机床的加工过程	5	3.2.3 开放式数控系统的结构	54
1.3 数控机床的特点及分类	5	3.3 CNC 装置的软件结构	59
1.3.1 数控机床的特点	6	3.3.1 CNC 装置软硬件界面	59
1.3.2 数控机床的分类	7	3.3.2 CNC 系统的软件结构特点	60
1.4 数控机床的发展	10	3.3.3 CNC 装置软件结构模式	63
本章小结	14	3.3.4 CNC 系统软件的工作过程	65
思考题	14	3.4 数控系统的接口与连接	68
第 2 章 数控系统的插补原理	15	3.4.1 西门子 802C base line 数控系统	69
2.1 插补的基本概念	16	3.4.2 华中世纪星 HNC-21 数控系统	73
2.2 逐点比较法	16	本章小结	82
2.2.1 直线插补	17	思考题	82
2.2.2 圆弧插补	20	第 4 章 数控机床的伺服系统	83
2.2.3 逐点比较法的合成进给速度 ...	24	4.1 概述	84
2.3 数字积分法	26	4.1.1 伺服系统的概念	84
2.3.1 数字积分法的基本原理	26	4.1.2 开环、闭环、半闭环 伺服系统	85
2.3.2 DDA 直线插补	26	4.1.3 数控机床对伺服系统的 基本要求	86
2.3.3 DDA 圆弧插补	29	4.2 步进电动机驱动系统	87
2.4 插补的实现	33	4.2.1 步进电动机的工作原理与 运行特性	87
2.4.1 硬件逻辑实现直线插补	33	4.2.2 步进电动机的驱动	91
2.4.2 软件实现直线插补	36	4.3 直流伺服电动机驱动系统	95
2.4.3 基于单片机的直线插补 控制系统	38	4.3.1 常用的直流伺服电动机	96
本章小结	43	4.3.2 直流电动机的调速	96
思考题	43		
第 3 章 计算机数控装置	44		
3.1 数控系统的组成及工作过程	45		
3.1.1 数控系统的组成	45		



4.3.3 单片微机控制的脉宽调制 直流可逆调速系统	102	5.5.3 磁栅的检测电路	141
4.4 交流伺服电动机驱动系统	103	5.6 光栅	142
4.4.1 常用交流伺服电动机及其 特点	103	5.6.1 光栅的结构	143
4.4.2 交流伺服电动机的调速	103	5.6.2 光栅测量的基本原理	144
4.5 进给驱动器的接口与连接	107	5.7 位置控制原理	147
4.5.1 电源接口	108	本章小结	149
4.5.2 指令接口	110	思考题	149
4.5.3 控制接口	114		
4.5.4 状态与安全报警接口	115	第 6 章 PLC 在数控机床中的应用	150
4.5.5 反馈接口	116	6.1 概述	151
4.5.6 通信接口	116	6.1.1 PLC 的应用领域	151
4.5.7 电动机电源接口	116	6.1.2 可编程控制器的基本组成和 工作原理	152
4.6 主轴驱动器的接口与连接	119	6.1.3 PLC 的编程语言	153
4.6.1 变频器基本接口	119	6.2 数控机床中的 PLC	155
4.6.2 数控装置与变频器的连接	120	6.2.1 数控机床 PLC 的类型与 作用	155
本章小结	120	6.2.2 CNC 装置、PLC、机床 之间的信号处理	158
思考题	122	6.3 S7-200 系列 PLC	160
第 5 章 数控机床的位置检测装置	123	6.3.1 S7-200 系列 PLC 数据类型及 元件功能	160
5.1 概述	124	6.3.2 S7-200 系列 PLC 的基本 指令及编程	164
5.2 旋转变压器	125	6.4 CNC 装置集成 PLC	171
5.2.1 旋转变压器的结构和 工作原理	125	6.4.1 CNC 装置与 PLC 接口信号 种类与表示	172
5.2.2 旋转变压器的工作方式	126	6.4.2 PLC 与数控系统及机床间的 信息交换	173
5.3 脉冲编码器	128	6.4.3 机床 I/O 连接	176
5.3.1 增量式编码器	128	6.4.4 标准程序说明	178
5.3.2 绝对式编码器	129	6.5 数控机床独立型 PLC 控制实例	182
5.3.3 编码器在数控机床中的 应用	132	6.5.1 PLC 输入输出信号	182
5.4 感应同步器	135	6.5.2 PLC 主程序	184
5.4.1 感应同步器的结构	135	6.5.3 主要子程序	186
5.4.2 感应同步器的工作原理	136	6.6 数控机床主轴 PLC 设计实例	193
5.4.3 感应同步器的特点	138	本章小结	196
5.5 磁栅	139	思考题	196
5.5.1 磁栅结构	139		
5.5.2 磁栅的工作原理	140		

第 7 章 数控系统的电磁兼容设计	198
7.1 电磁兼容性概述	199
7.1.1 电磁兼容性的基本概念	199
7.1.2 电磁兼容的三要素	200
7.1.3 电磁干扰的危害	201
7.2 数控系统电磁兼容性要求	201
7.3 机床数控系统抗干扰措施	202
7.3.1 接地技术	203
7.3.2 屏蔽技术	211
7.3.3 滤波技术	213
7.4 电气控制柜设计指南	218
本章小结	218
思考题	218
第 8 章 典型数控机床电气控制系统分析	219
8.1 TK1640 数控车床电气控制电路	221
8.1.1 机床的运动及控制要求	221
8.1.2 电气控制线路分析	221
8.2 XK713 数控铣床电气控制电路	225
8.2.1 机床的运动及控制要求	225
8.2.2 电气控制线路分析	225
本章小结	230
思考题	230
参考文献	231

第 1 章

绪 论



本章教学要点

知识要点	掌握程度	相关知识
数控技术	了解数控技术的基本概念; 熟悉数控相关专业术语; 掌握伺服系统的分类	NC 与 CNC; 数控机床的定义; 数控相关专业术语
数控机床	了解数控机床的组成及特点; 熟悉数控机床的分类; 掌握数控机床的加工过程	数控机床的组成; 数控机床的分类; 数控机床的发展



导入案例

数控技术是战略性核心技术，五轴联动以上高档数控系统和机床装备一直是重要的国际战略物资。一个典型案例是“东芝事件”：1983年，日本东芝公司卖给苏联几台五轴联动数控铣床，苏联将其用于制造核潜艇推进螺旋桨，以至于美国的声呐无法侦测到苏联核潜艇的动向。后来，美国国防部追究责任，东芝的相关高层都进了监狱。

国务院印发的《中国制造2025》中就有关于大力发展高档数控机床的内容，开发一批精密、高速、高效、柔性数控机床与基础制造装备及集成制造系统。加快高档数控机床、增材制造等前沿技术和装备的研发。以提升可靠性、精度保持性为重点，开发高档数控系统、伺服电动机、轴承、光栅等主要功能部件及关键应用软件，加快实现产业化。加强用户工艺验证能力建设。

图 1.01 和图 1.02 所示为五轴联动加工中心与五轴联动铣车加工中心。

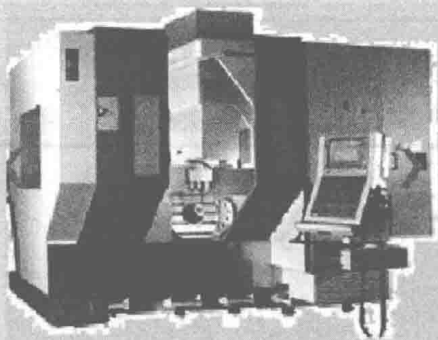


图 1.01 五轴联动加工中心

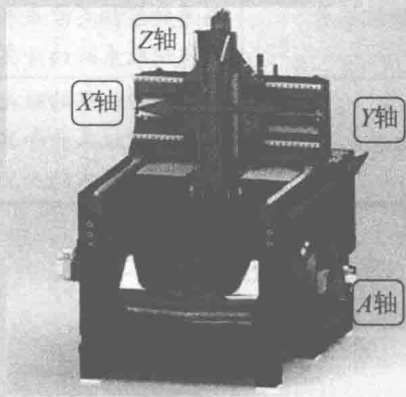


图 1.02 五轴联动铣车加工中心

数字控制技术是综合应用了电子技术、计算机技术、自动控制及自动检测等方面的新成就而发展起来的一门新技术。它在许多领域得到了应用，而在机械加工行业中的应用则更为广泛，其中发展特别快的是数字控制机床，简称数控机床。这是和科学技术的迅速发展，机械产品的更新换代频繁及科研新产品的试制任务增多等情况密切相关的。现代加工业的特点是零件形状复杂，精度要求较高，批量小。这就要求机床设备应具有较强的灵活性、通用性、高加工精度和高生产效率。数控机床正是适应这种要求而产生的。

随着现代微电子技术的飞速发展，微电子器件集成度和信息处理功能不断提高，而价格不断降低，使微型计算机在机械制造领域得到广泛应用。微机控制的数控机床的应用与日俱增，柔性加工中心、柔性制造单元及柔性制造系统不断投入使用，生产面貌发生了根本变化。



【五轴联动
加工中心】

1.1 概 述

1. NC 与 CNC

数字控制(Numerical Control, NC)是近代发展起来的一种自动控制技术,是指根据输入的指令和数据,对某一对象的工作顺序、运动轨迹、运动距离和运动速度等机械量,以及温度、压力、流量等物理量按一定规律进行自动控制。数字控制系统中的控制信息是数字量,而模拟控制系统中的控制信息是模拟量。

数字控制系统的硬件基础是数字逻辑电路。最初的数控系统是由数字逻辑电路构成的,因而也被称为硬件数控系统。随着微型计算机的发展,硬件数控系统已逐渐被淘汰,取而代之的是计算机数控系统(Computer Numerical Control, CNC)。由于计算机可完全由软件来确定数字信息的处理过程,从而具有真正的“柔性”,并可以处理硬件逻辑电路难以处理的复杂信息,使数字控制系统的性能大大提高。

2. 数控设备与数控机床

用数字化信息进行控制的自动控制设备称为数控设备。采用数控技术进行控制的机床,称为数控机床(NC 机床)。数控机床是一种综合应用了计算机技术、自动控制技术、精密测量技术和机床设计等先进技术的典型机电一体化产品,是现代制造技术的基础。机床控制也是数控技术应用最早、最广泛的领域,因此,数控机床的水平代表了当前数控技术的性能、水平和发展方向。

数控机床是数控设备的典型代表,它可以加工复杂的零件,并具有加工精度高,生产效率高,便于改变加工零件品种等特点,是实现机床自动化的方向。

3. 数控系统与数控装置

为了对机械运动及加工过程进行数字化信息控制,必须具备相应的硬件和软件。用来实现数字化信息控制的硬件和软件的整体称为数控系统(Numerical Control System),而数控系统的核心是数控装置(Numerical Controller)。

在数控机床行业中,数控系统是计算机数字控制装置、可编程控制器、进给驱动与主轴驱动装置等相关设备的总称,有时则仅指其中的计算机数字控制装置。为区别起见将其中的计算机数字控制装置称为数控装置。

1.2 数控机床的构成及加工过程

1.2.1 数控机床的构成

数控机床的组成框图如图 1.1 所示。

1. 输入 / 输出设备

输入 / 输出设备主要实现程序和数据的输入、显示、存储和打印。这一部分的硬件配

置视需要而定,功能简单的机床可能只配有键盘和数码管(LED)显示器;一般的可再加上人机对话编程操作键盘、通信接口、CRT 显示器和液晶显示器;功能较强的可能还包含一套自动编程机或计算机辅助设计和计算机辅助制造(CAD / CAM)系统。

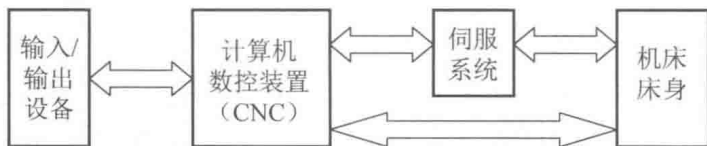


图 1.1 数控机床的组成

2. 计算机数控装置

计算机数控(CNC)装置是数控设备的核心,它根据输入的程序和数据,完成数值计算、逻辑判断、速度控制、插补和输入 / 输出控制等功能。数控装置就是专用计算机或通用计算机与输入输出接口及可编程序控制器等部分组成的控制装置。

在数控装置执行的控制信息和指令中,最基本的是坐标轴的进给速度、进给方向和进给位移量指令。它经插补运算后生成,供给伺服驱动,经驱动器放大,最终控制坐标轴的位移。它直接决定了刀具或坐标轴的移动轨迹。

此外,根据系统和设备的不同,如在数控机床上,还可能有主轴的转速、转向和启、停指令;刀具的选择和交换指令;冷却、润滑装置的启、停指令;工件的松开、夹紧指令;工作台的分度等辅助指令。在基本的数控系统中,它们是通过接口,以信号的形式提供给外部辅助控制装置,由辅助控制装置对以上信号进行必要的编译和逻辑运算,放大后驱动相应的执行器件,带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。

3. 伺服系统

所谓伺服,是指使某一机械的某些参量(电动机的旋转速度和旋转相位、机械位置等)维持不变或按一定规律变化的自动控制系统。

数控机床中的伺服系统是接收来自数控装置的指令信息,经过功率放大后,严格按照指令信息的要求驱动机床的移动部件,以加工出符合图样要求的零件。因此,它的控制精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。数控机床中的伺服系统由伺服放大器(也称驱动器、伺服单元)、驱动装置(直流伺服电动机、交流伺服电动机、功率步进电动机和电液脉冲马达等)、机械传动机构和执行机构组成。在数控机床上,目前一般都采用交流伺服电动机作为驱动装置;在 20 世纪 80 年代以前生产的数控机床上,也有采用直流伺服电动机的情况;对于简易数控机床,步进电动机也可以作为执行器件。伺服放大器的形式取决于驱动装置,它必须与驱动装置配套使用。

4. 机床床身

机床床身是被控制的对象,是数控机床的主体,完成各种运动和加工的机械部分。用数控装置和伺服系统对它进行位移、角度和各种开关量的控制。在机床床身上装有检测装置,用来将位移和各种状态信号反馈给数控装置,实现闭环控制。

1.2.2 数控机床的加工过程

数控机床加工时,首先要将工件的几何信息和工艺信息按规定的代码和格式编制数控加工程序,并将加工程序输入数控系统。数控系统根据输入的加工程序进行信息处理,计算出实际轨迹和运动速度(计算轨迹的过程称为插补)。最后将处理的结果输出给伺服机构,控制机床的运动部件按规定的轨迹和速度运动。

1. 加工程序编制

加工一个工件所需的数据及操作命令构成了工件的加工程序。加工前,首先要根据工件的形状、尺寸、材料及技术要求等,确定工件加工的工艺过程,工艺参数(包括加工顺序、切削用量、位移数据、速度等),并根据编程手册中所规定的代码或依据不同数控设备说明书中所规定的格式,将这些工艺数据转换成工件程序清单。

2. 程序输入

零件加工程序可采用不同形式输入到数控装置。具有以下几种方式:

(1) 用光电读带机读入数据(早期数控机床)。读入过程分两种形式:一种是边读入边加工,另一种是一次将工件的加工程序读入数控装置内部的存储器,加工时再从存储器逐段调用。

(2) 用键盘直接将程序输入数控装置。

(3) 在通用计算机上采用 CAD / CAM 软件编程或者在专用编程器上编程,然后通过电缆输入数控装置或先存入存储介质,再将存储介质上的加工程序输入数控装置。

3. 信息处理

信息处理是数控的核心任务,它的作用是识别输入程序中每个程序段的加工数据和操作命令,并对其进行换算和插补计算。零件加工程序中只能包含各种线段轨迹的起点、终点和半径等有限数据,在加工过程中,伺服机构按零件形状和尺寸要求进行运动,即按图形轨迹移动,因而就要在各线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”,求出一系列中间点的坐标值,并向相应坐标输出脉冲信号,这就是所谓的插补。

4. 伺服控制

伺服控制是根据不同的控制方式把来自数控装置插补输出的脉冲信号,经过功率放大,通过驱动元件(如步进电动机、交直流伺服电动机等)和机械传动机构,使数控机床的执行机构相对于工件按预定工艺路线和速度进行加工。

1.3 数控机床的特点及分类

数控机床是一种典型的机电一体化产品。它综合运用了微电子、计算机、自动控制、精密检测、伺服驱动、机械设计与制造技术方面的最新成果。与普通机床相比,数控机床能够完成平面、曲线和空间曲面的加工,加工精度和效率都比较高,因而应用日益广泛。



1.3.1 数控机床的特点

1. 精度高, 质量稳定

数控机床在设计和制造时, 采取了很多措施来提高加工精度。机床的传动部分一般采用滚珠丝杠, 提高了传动精度。机床导轨采用滚动导轨、悬浮式导轨或采用摩擦系数很小的合成材料, 因而减小了摩擦阻力, 消除了低速爬行现象。闭环、半闭环伺服系统装有精度很高的位置检测元件, 随时将位置误差反馈给计算机进行误差校正, 使数控机床获得很高的加工精度。数控机床加工过程由程序自动完成, 与普通机床相比, 没有人为因素的影响, 加工质量稳定, 产品精度重复性好。

2. 生产效率高

数控机床具有较高的生产效率, 尤其对于复杂零件的加工, 生产效率可提高数十倍。效率高的主要原因如下:

(1) 具有自动变速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能, 而且无需工序间的检验与测量, 使辅助时间大为缩短。

(2) 工序集中。数控机床的轨迹运动是由程序自动控制完成的, 因而在普通机床加工中分几道工序完成的工件在数控加工中可在一台机床上完成, 减少了半成品的周转时间。

(3) 不同零件的加工程序存储在控制介质或内部存储器中, 因而更换工件时, 只需更换零件加工程序即可, 从而节省了大量准备和机床调整的时间。

3. 适应性强

适应性即所谓的柔性, 是指数控机床随生产对象变化而变化的适应能力。在数控机床上进行不同加工时, 只要改变数控机床的输入程序, 就可适应新产品的生产需要, 而不需要改变机械部分和控制电路。

4. 能实现复杂的运动

普通机床很难实现或无法实现轨迹为三次以上的曲线或曲面的运动。如螺旋桨、汽轮机叶片之类的空间曲面。数控机床可以几个坐标同时联动, 实现几乎任意轨迹的运动, 适用于复杂异形零件的加工。

5. 减轻劳动强度, 改善劳动条件

数控机床的运行是由程序控制自动完成的, 能自动换刀、自动变速等, 其大部分操作不需要人工干预, 因而改善了劳动条件。

6. 管理水平提高

数控机床是组成综合自动化系统(如 FA、FTL、FMC、FMS、CIMS)的基本单元。数控机床具有的通信接口和标准数据格式, 可实现计算机之间的连接, 组成工业局部网络(LAN), 实现生产过程的计算机管理与控制。

数控机床虽然具有以上多种优点, 但由于它的技术复杂、成本较高, 目前较适用多品种、中小批量生产及形状比较复杂, 精度要求较高的零件加工等领域。

1.3.2 数控机床的分类

数控机床品种繁多, 功能各异, 可以从不同角度对其进行分类。

1. 按工艺用途分类

1) 金属切削类数控机床

与传统的通用机床一样, 金属切削类数控机床有数控车、铣、磨、镗及加工中心等机床。每一类又有很多品种, 如数控铣床就有立铣、卧铣、工具铣及龙门铣等。数控加工中心又称多工序数控机床。在加工中心, 零件一次装夹后, 可进行各种工艺、多道工序的集中连续加工。这样不仅提高了生产效率, 而且消除了由于重复定位而产生的误差。

2) 金属成型类数控机床

该类机床有数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机、数控冲床等。

3) 数控特种加工机床

数控特种加工机床包括数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切割机等。

2. 按控制运动的方式分类

1) 点位控制数控机床

点位控制是指控制运动部件从一点移动到另一点的准确定位, 在移动过程中不进行加工, 两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求, 可以各个坐标先后移动(图 1.2 中的①和②), 也可以多坐标联动(图 1.2 中的③)。

该类机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。

2) 直线控制数控机床

这类机床不仅要控制点的准确定位, 还要控制两相关点之间的移动速度和路线(即轨迹), 如图 1.3 所示, 该类机床有数控车床、数控镗床等。

3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制如图 1.4 所示。加工中不仅要控制轨迹的起点和终点, 还要控制加工过程中每一个点的位置和运动速度, 使机床加工出符合图样要求的复杂形状的零件。

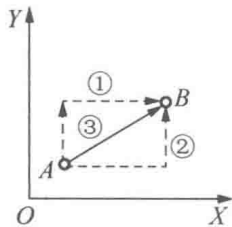


图 1.2 点位加工

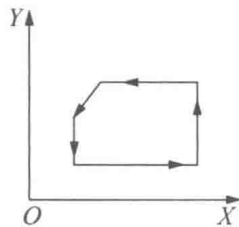


图 1.3 直线加工

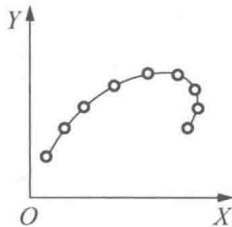


图 1.4 轮廓加工

轮廓控制数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

3. 按伺服系统分类

1) 开环伺服系统

开环伺服系统没有位置检测装置[图 1.5(a)]。数控装置将零件程序处理后, 输出



【金属切削类
数控机床】



【金属成型类
数控机床】



【电火花线
切割机床】



【点位加工】



【直线加工】



【轮廓加工】



脉冲信号给驱动电路，驱动步进电动机带动工作台运动。

2) 闭环伺服系统

闭环伺服系统装有位置检测装置，可检测移动部件的实际距离。数控装置的指令位置值与反馈的实际位置相比较，其差值控制电动机的转速，进行误差修正，直到位置误差消除。

3) 半闭环伺服系统

该系统与闭环系统的区别在于位置检测反馈信号不是来自工作台，而是来自与电动机端或丝杠端连接的测量元件，系统的闭环回路中不包括工作台传动链，故称为半闭环系统。

半闭环、闭环伺服系统如图 1.5(b)所示。

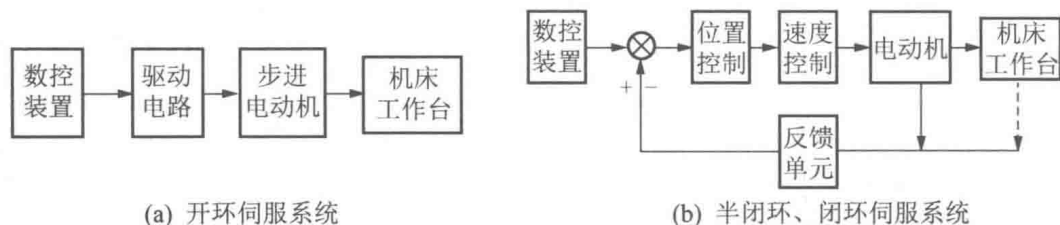


图 1.5 伺服驱动系统

4. 按功能水平分类

按功能水平可以将数控系统分为高、中、低(经济型)三档。随着数控技术的发展，机床的精度和功能也在不断改善和提高，因而在不同时期内同一数控机床的档次也是不一样的，依据何种性能分类目前还不统一。通常从以下几个方面对数控机床的性能进行分类。

1) 分辨率和进给速度

分辨率为 $10\mu\text{m}$ ，进给速度为 $8\sim 15\text{m/min}$ 为低档；分辨率为 $1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15\sim 20\text{m/min}$ 为中档；分辨率为 $0.1\mu\text{m}$ ，进给速度为 $15\sim 100\text{m/min}$ 为高档。

2) 坐标联动功能

低档数控机床最多联动轴为 $2\sim 3$ 轴，中、高档则为 $3\sim 5$ 轴及以上。

3) 伺服进给类型

低档数控机床大都采用开环步进电动机进给系统，而中高档数控机床则采用闭环、半闭环直流伺服系统或交流伺服系统。

4) 通信功能

低档数控系统一般无通信功能；中档系统通常具有 RS-232 或 DNC(直接数字控制)接口；高档系统则具有 MAP(制造自动化协议)通信接口，具有组网功能。

5) 显示功能

低档数控系统一般采用数码管显示或简单的 CRT 字符显示，而中高档数控系统则具有较齐全的 LCD 显示，可显示字符，甚至图形。高档数控系统还可有三维图形显示和模拟加工等功能。

6) 主 CPU 档次

低档数控系统一般采用 8 位、16 位 CPU；中、高档数控系统则普遍采用 16 位以上的 CPU，目前较多使用的 CPU 为 32 位和 64 位。

此外，零件程序的输入方法，进给伺服性能和 PLC(可编程逻辑控制器)功能也是衡量数控系统档次的标准。



阅读材料 1-1

数 控 车 床

数控车床是使用量最大的一种数控机床，加工的零件一般为轴套类零件和盘类零件，具有加工精度高、效率高、自动化程度高的特点。数控车床可分为卧式数控车床(图 1.6)和立式数控车床两大类。卧式数控车床又有水平导轨和倾斜导轨两种，用于轴向尺寸较大或小型盘类零件的车削加工；立式数控车床用于回转直径较大的盘类零件的车削加工。

数控车床由数控装置、床身、主轴箱、刀架进给系统、尾座、液压系统、冷却系统、润滑系统、排屑器等部分组成。

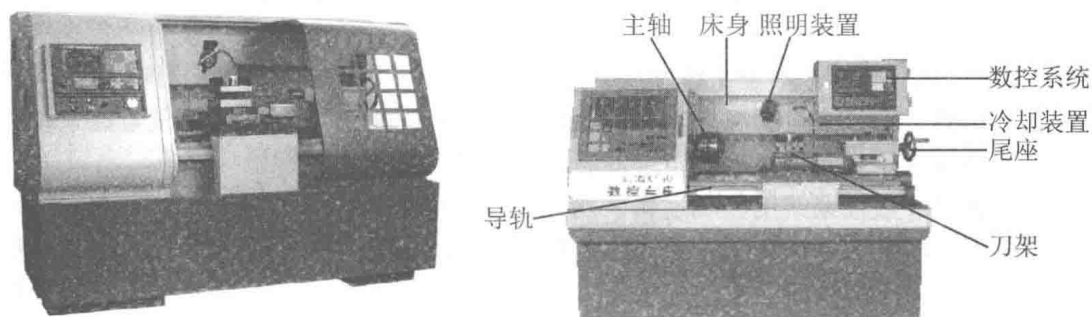


图 1.6 卧式数控车床

数 控 铣 床

数控铣床是在一般铣床的基础上发展起来的一种自动加工设备，两者的加工工艺基本相同，结构也有些相似。其中带刀库的数控铣床又称为加工中心，具有点位控制、直线控制和轮廓控制功能。点位控制主要用于工件的孔加工，如钻孔、扩孔、铰孔、铰孔和镗孔等各种孔加工的操作；直线控制和轮廓控制通过直线插补、圆弧插补或复杂的曲线插补运动，铣削加工工件的平面和曲面。

数控铣床(图 1.7)通常由床身部分、主轴(铣头)部分、工作台部分、进给部分、升降台部分、冷却部分和润滑部分组成。

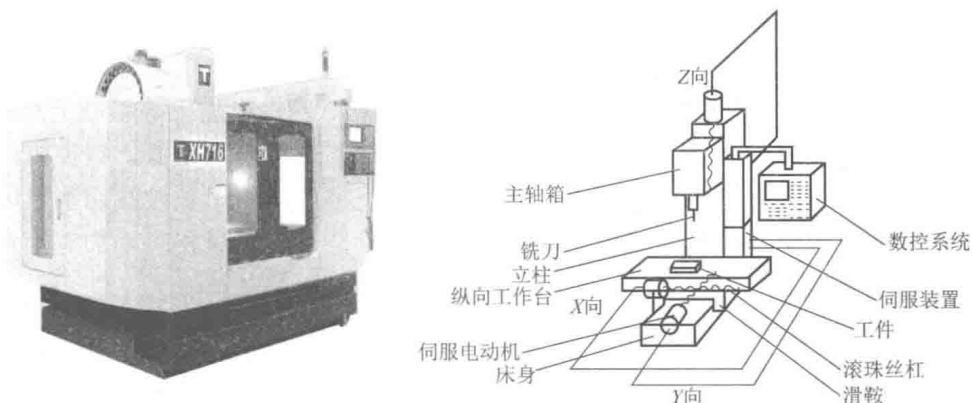


图 1.7 立式数控铣床



1.4 数控机床的发展

1. 数控机床的发展过程

利用数字技术进行机械加工,是在 20 世纪 40 年代初由美国北密支安的一个小型飞机承包商派尔逊斯公司(Parsons Corporation)实现的。他们在制造飞机框架和直升机的机翼叶片时,利用全数字电子计算机对叶片轮廓的加工路线进行了数据处理,使加工精度有了较大提高。



【数控系统的发展史】

1952 年,美国麻省理工学院成功地研制出一台三坐标联动试验型数控铣床,被公认为是第一台数控机床,当时采用的电子元件还是电子管。

1959 年,在数控系统中采用了晶体管元件,并出现了带自动换刀的数控机床,称为“加工中心”。数控系统发展到第二代。

1965 年,出现了小规模集成电路。由于它的体积小,功耗低,使数控系统的可靠性得到进一步提高。数控系统发展到第三代。

此时,数控系统的控制逻辑,均采用由硬件电路组成的专用计算机来实现,制成后不易改变,被称为硬件逻辑数控系统,由此系统构成的机床简称为 NC 机床。

1967 年,英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统,这就是最初的柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)。之后不久美、日、德等国也相继进行了开发和生产。

1970 年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展出了以小型计算机构成的数控系统,称为第四代数控系统。这种类型机床被称为计算机控制的数控机床(CNC 机床)。

1970 年前后,美国英特尔等公司开发和使用了微处理器。1974 年,美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控系统,这就是第五代数控系统(MNC)。

20 世纪 80 年代初,国际上出现了以加工中心为主体,再配上工件自动装卸和检测装置的柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)等。

2. 我国数控机床发展情况

我国从 1958 年开始研究数控技术,一直到 20 世纪 60 年代中期均处于研制和开发时期,60 年代末研制成了 X53K-1G 数控铣床、CJK-18 数控系统。

20 世纪 70 年代开始,数控技术在车、铣、钻、镗、电加工等领域全面展开,数控加工中心也研制成功。但由于元器件的质量和制造工艺水平低,数控机床的可靠性、稳定性等没有得到很好解决,因此未能广泛推广。由于数控线切割机床的结构简单、使用方便及产品更新加快、模具生产的复杂性和数量相应增加等因素,该类数控机床得到了广泛应用。

20 世纪 80 年代,我国先后从日本、美国等国家引进了部分数控装置和数控技术,并进行了商品化生产。这些系统可靠性高,功能齐全,推动了我国数控机床的稳定发展,大大缩短了我国与国外数控机床在制造技术和伺服驱动技术等方面的差距。