



“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

数控技术

周庆贵 主编



梁外借



扫一扫联系客服



电子课件



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

数 控 技 术

主 编 周庆贵
副主编 陈书法 郑书谦
参 编 王华兵



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技术课程而编写的教材。本书较全面地介绍了数控技术方面的相关内容，体现了工程教育模式下人才培养的能力素质要求，重点突出相关理论的应用方法及实例。全书共9章，包括绪论、数控加工的工艺分析与编程基础、数控铣削加工的程序编制、自动编程基础、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。

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，也可作为相关工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控技术/周庆贵主编. —北京: 北京大学出版社, 2019. 3

高等院校机械类专业“互联网+”创新规划教材

ISBN 978-7-301-30026-8

I. ①数… II. ①周… III. ①数控技术—高等学校—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 255710 号

- 书 名** 数控技术
SHUKONG JISHU
- 著作责任者** 周庆贵 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 978-7-301-30026-8
- 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 010-62752015 发行部 010-62750672 编辑部 010-62750667
- 印 刷 者** 北京大学印刷厂
- 经 销 者** 新华书店
- 787 毫米×1092 毫米 16 开本 19 印张 445 千字
2019 年 3 月第 1 版 2019 年 3 月第 1 次印刷
- 定 价** 54.00 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、高精度的数控机械所代替，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、自动控制技术、电力电子技术、通信技术及精密测量、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的使用、维护和维修工作。

本书基于现代工程教育，强调、突出技术应用能力训练与职业素质培养，以实际问题作为引导，注重理论在解决实际问题中的应用，在明确的实践背景下对重要的专业理论加以介绍。

本书从数控技术的基本概念入手，以数控机床为对象，较全面地介绍了数控技术的相关内容，重点突出相关理论的应用及实例。全书共分为9章，内容包括绪论、数控加工的工艺分析与编程基础、数控铣削加工的程序编制、自动编程基础、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。

书中链接了与数控技术相关的学习资源，读者可以利用移动设备扫描二维码在线学习。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，针对工程教育模式下人才培养的能力素质要求，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，也可作为相关工程技术人员的参考用书。

本书由周庆贵担任主编，陈书法、郑书谦担任副主编，王华兵参与编写，具体编写分工如下：第1、4章由郑书谦编写，第2、3章由陈书法编写，第5~8章由周庆贵编写，第9章由周庆贵和王华兵编写。全书由周庆贵和陈书法统稿及定稿。

在本书的编写过程中，编者参考了西门子 SINUMERIK 802S/C 安装调试手册、SINUMERIK 802S/C 操作与编程手册、SINUMERIK 802S/C PLC 子程序库应用指南，华中世纪星 HNC-21 设备连接调试手册，以及其他文献资料，在此向资料的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，加之数控技术日新月异及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

2018年12月



【资源检索】

目 录

第 1 章 绪论	1	3.2 固定循环指令	60
1.1 概述	3	3.2.1 概述	60
1.2 数控机床的组成及加工过程	3	3.2.2 钻削循环指令	61
1.2.1 数控机床的组成	3	3.2.3 钻削孔排列循环指令	65
1.2.2 数控机床的加工过程	5	3.2.4 铣槽加工循环指令	68
1.3 数控机床的特点及分类	6	3.3 铣削加工实例	70
1.3.1 数控机床的特点	6	本章小结	72
1.3.2 数控机床的分类	7	思考题	73
1.4 数控机床的发展	10	第 4 章 自动编程基础	75
本章小结	15	4.1 自动编程概述	76
思考题	15	4.1.1 常用自动编程软件简介	78
第 2 章 数控加工的工艺分析与		4.1.2 数控加工自动编程步骤	80
编程基础	16	4.2 Mastercam 自动编程技术	80
2.1 数控编程的基础知识	17	4.2.1 Mastercam 自动编程	
2.1.1 数控编程的过程及方法	17	工作流程	80
2.1.2 程序的结构与格式	19	4.2.2 Mastercam 自动编程	
2.1.3 数控机床的坐标系	26	基本操作	81
2.2 数控编程中的数值计算	29	4.3 Mastercam 三维传统铣削加工	91
2.2.1 基点坐标的计算	29	4.3.1 零件设计	92
2.2.2 非圆曲线节点坐标的		4.3.2 零件加工	93
计算	30	4.4 Mastercam 多轴铣削加工	103
2.3 数控加工的工艺分析	34	4.4.1 定面加工	103
2.3.1 数控加工工艺的基本特点和		4.4.2 联动加工	105
基本内容	34	本章小结	107
2.3.2 数控加工的工艺分析	35	思考题	107
本章小结	44	第 5 章 数控系统的插补原理	109
思考题	44	5.1 插补的基本概念	110
第 3 章 数控铣削加工的程序编制	45	5.2 逐点比较法	110
3.1 基本编程指令	46	5.2.1 直线插补	111
3.1.1 辅助指令 M、主轴指令 S、		5.2.2 圆弧插补	115
刀具指令 T	46	5.2.3 逐点比较法的合成进给	
3.1.2 尺寸系统指令	47	速度	119
3.1.3 运动控制指令	52	5.3 数字积分法	120
3.1.4 刀具补偿指令	55	5.3.1 数字积分法的基本原理	120



5.3.2	数字积分法直线插补	121	7.1.2	开环、闭环、半闭环伺服系统	177
5.3.3	数字积分法圆弧插补	124	7.1.3	数控机床对伺服系统的基本要求	178
5.4	插补的实现	128	7.2	步进电动机驱动系统	179
5.4.1	硬件逻辑实现直线插补	128	7.2.1	步进电动机的工作原理与运行特性	179
5.4.2	软件实现直线插补	131	7.2.2	步进电动机的驱动	183
	本章小结	133	7.3	直流伺服电动机驱动系统	188
	思考题	134	7.3.1	常用的直流伺服电动机	188
第6章	计算机数控装置	135	7.3.2	直流电动机的调速	189
6.1	计算机数控系统的组成及工作过程	136	7.3.3	单片微机控制的脉宽调制直流可逆调速系统	195
6.1.1	计算机数控系统的组成	136	7.4	交流伺服电动机驱动系统	196
6.1.2	计算机数控系统的功能和工作过程	139	7.4.1	常用交流伺服电动机及其特点	196
6.2	计算机数控装置的硬件结构	143	7.4.2	交流伺服电动机的调速	196
6.2.1	单微处理器数控系统的结构	143	7.5	进给驱动器的接口与连接	200
6.2.2	多微处理器数控系统的结构	144	7.5.1	电源接口	201
6.2.3	开放式数控系统的结构	146	7.5.2	指令接口	203
6.3	计算机数控装置的软件结构	150	7.5.3	控制接口	207
6.3.1	计算机数控装置的软硬件界面	151	7.5.4	状态与安全报警接口	208
6.3.2	计算机数控装置的软件结构特点	152	7.5.5	反馈接口	209
6.3.3	计算机数控装置的软件结构模式	155	7.5.6	通信接口	210
6.3.4	计算机数控装置的软件工作过程	156	7.5.7	电动机电源接口	210
6.4	数控系统的接口与连接	160	7.6	主轴驱动器的接口与连接	212
6.4.1	西门子 SINUMERIK 802C base line 数控系统	160	7.6.1	变频器基本接口	213
6.4.2	华中世纪星 HNC-21 数控系统	165	7.6.2	计算机数控装置与变频器的连接	214
	本章小结	174		本章小结	215
	思考题	174		思考题	216
第7章	数控机床的伺服系统	175	第8章	数控机床的位置检测装置	217
7.1	概述	176	8.1	概述	218
7.1.1	伺服系统的概念	176	8.2	旋转变压器	219
			8.2.1	旋转变压器的结构和 工作原理	219
			8.2.2	旋转变压器的工作方式	221
			8.3	脉冲编码器	222
			8.3.1	增量式编码器	222
			8.3.2	绝对式编码器	223

8.3.3 编码器在数控机床中的 应用	226	9.2.1 数控机床 PLC 的类型与 作用	250
8.4 感应同步器	229	9.2.2 计算机数控装置、PLC、机床 之间的信号处理	252
8.4.1 感应同步器的结构	229	9.3 S7-200 系列 PLC	254
8.4.2 感应同步器的工作 原理	230	9.3.1 S7-200 系列 PLC 数据类型及 元件功能	255
8.4.3 感应同步器的特点	232	9.3.2 S7-200 系列 PLC 的基本 指令及编程	259
8.5 磁栅	233	9.4 计算机数控装置集成 PLC	266
8.5.1 磁栅的结构	233	9.4.1 计算机数控装置与 PLC 接口 信号种类与表示	268
8.5.2 磁栅的工作原理	234	9.4.2 PLC 与计算机数控系统及 机床间的信息交换	269
8.5.3 磁栅的检测电路	236	9.4.3 机床 I/O 连接	271
8.6 光栅	237	9.4.4 标准程序说明	274
8.6.1 光栅的结构	237	9.5 数控机床独立型 PLC 控制 实例	278
8.6.2 光栅测量的基本原理	238	9.5.1 PLC 输入输出信号	279
8.7 位置控制原理	241	9.5.2 PLC 主程序	280
本章小结	243	9.5.3 主要子程序	282
思考题	243	9.6 数控机床主轴 PLC 设计实例	289
第 9 章 PLC 在数控机床中的 应用	244	本章小结	292
9.1 概述	245	思考题	292
9.1.1 PLC 的应用领域	245	参考文献	294
9.1.2 PLC 的基本组成和 工作原理	246		
9.1.3 PLC 的编程语言	248		
9.2 数控机床中的 PLC	249		

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	数控与计算机数控； 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； 掌握数控机床的加工过程； 熟悉数控机床的分类； 了解数控机床的发展	数控机床的组成； 数控机床的加工过程； 数控机床的分类； 数控机床的发展



导入案例

数字控制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。



【五轴联动
加工中心】

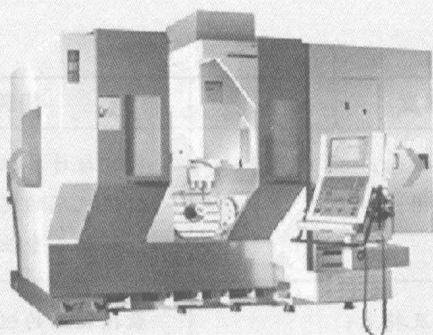


图 1.01 五轴联动加工中心

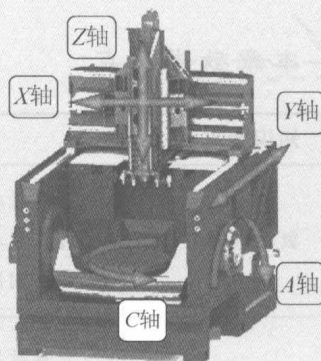


图 1.02 五轴联动铣车加工中心

数字控制（Numerical Control, NC，简称数控）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大的灵活性、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。

1.1 概 述

1. 数控与计算机数控

数控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。数控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。

数控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（Computer Numerical Control, CNC）系统。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，使数控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。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控装置、PLC（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控装置。为区别起见常将其中的计算机数控装置称为数控装置。

1.2 数控机床的组成及加工过程

1.2.1 数控机床的组成

数控机床的组成如图 1.1 所示。

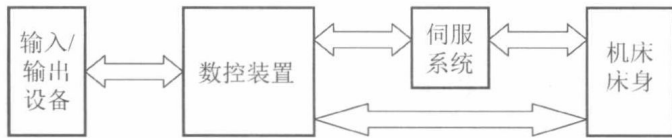


图 1.1 数控机床的组成

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（阴极射线显像管）和液晶显示器；功能较强的可能还包含一套自动编程机或 CAD/CAM（计算机辅助设计和计算机辅助制造）系统。

2. 数控装置

数控装置是数控设备的核心，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。



【计算机数控装置】

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指令，包括速度、方向和位移量。指令经插补运算后生成坐标轴运动信息，供给伺服驱动，经驱动器放大，最终控制坐标轴的位移。坐标轴进给指令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，伺服系统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，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。



【机床床身】

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），并根据编程手册中规定的代码或依据不同数控设备说明书中规定的格式，将这些工艺数据转换为工件程序清单。

2. 程序输入

零件加工程序可采用不同形式输入数控装置，具体有以下几种方式。

(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、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，使辅助时间大大缩短。

(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，适用于复杂异型零件的加工。

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（如柔性制造、柔性自动线、柔性制造单元、柔性制造系统、计算机集成制造系统）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，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，目前较适用于多品种、中小批量生产及形状比较复杂、精度要求较高的零件加工。

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。在数控加工中心，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

金属成型类数控机床有数控折弯机、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）。

点位控制数控机床有数控钻床、数控镗床、数控冲床等。

2) 直线控制数控机床

直线控制数控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。这类机床有数控车床、数控镗床等。

3) 轮廓控制数控机床

轮廓加工如图 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。



【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】

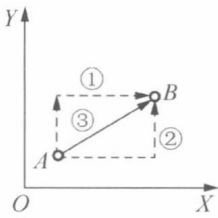


图 1.2 点位加工

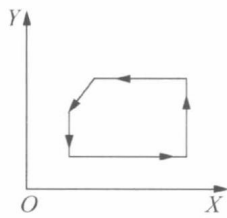


图 1.3 直线加工

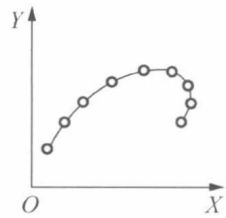


图 1.4 轮廓加工

轮廓控制数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

3. 按伺服系统的类型分类

1) 开环伺服系统

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

半闭环伺服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。

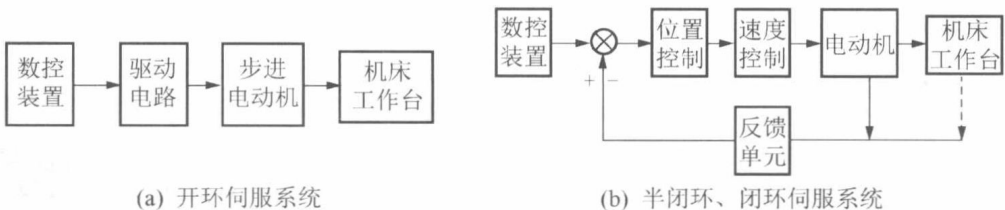


图 1.5 伺服驱动系统

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 $8\sim 15\text{m}/\text{min}$ 的数控系统属低档；分辨率为 $1\ \mu\text{m}$ 、进给速度为 $15\sim 20\text{m}/\text{min}$ 的数控系统属中档；分辨率为 $0.1\ \mu\text{m}$ 、进给速度为 $15\sim 100\text{m}/\text{min}$ 的数控系统属高档。

2) 坐标联动功能

低档数控机床最多联动轴为 2~3 轴，中、高档则为 3~5 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，中档数控系统通常具有 RS-232 或 DNC（直接数字控制）接口，高档数控系统则具有 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（液晶显示器）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 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。

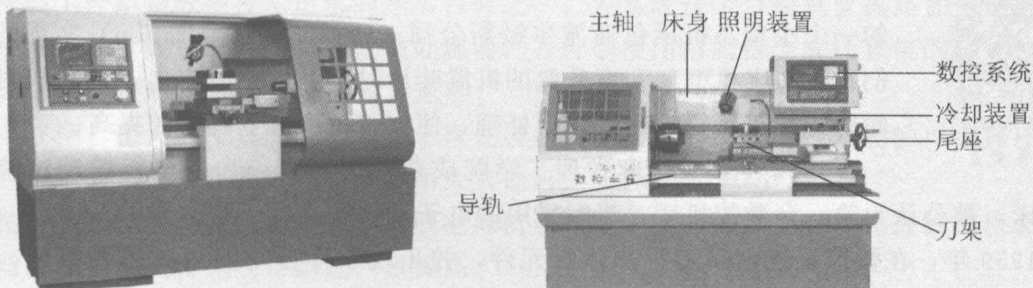


图 1.6 卧式数控车床



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。

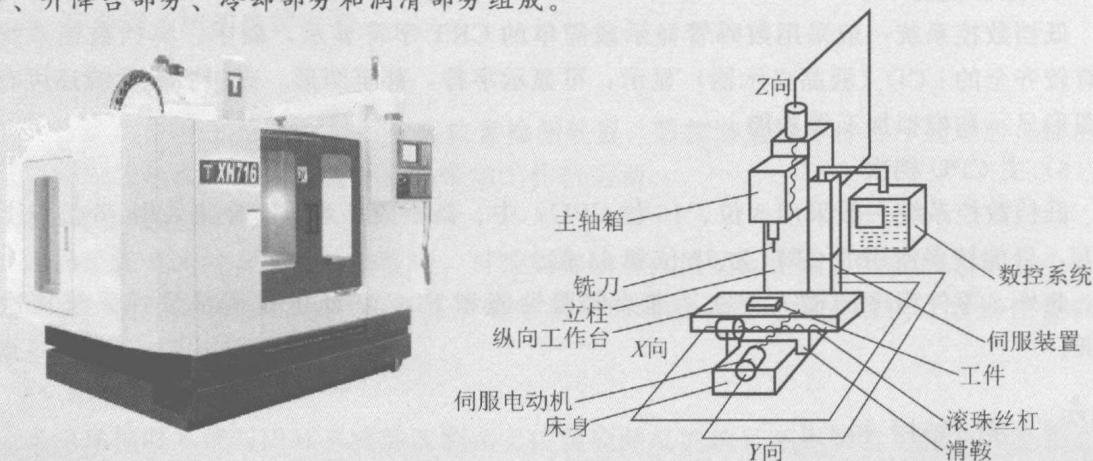


图 1.7 立式数控铣床

1.4 数控机床的发展

1. 数控机床的发展过程



【数控系统的
发展史】

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的提高。

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。