

# 数控机床基础教程

● 主编 秦 忠

 北京理工大学出版社  
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

# 数控机床基础教程

主 编 秦 忠

副主编 万永丽 邹艳红 张建兵  
陈 伟 陈家文 唐瑜谦

版权专有 侵权必究

---

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床基础教程/秦忠主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2018.9

ISBN 978 - 7 - 5682 - 5273 - 7

I. ①数… II. ①秦… III. ①数控机床 - 车床 - 程序设计 - 高等学校 - 教材  
IV. ①TG519.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 022154 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 13

字 数 / 298 千字

版 次 / 2018 年 9 月第 1 版 2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价 / 49.00 元

责任编辑 / 多海鹏

文案编辑 / 多海鹏

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李 洋

---

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换



# 前言

Qianyan

机床及数控机床是装备制造中的重要设备，也称为工作母机。编者力求从机床、数控机床、加工中心的发展历程入手，让学生在有限的专业教学课时内，尽可能掌握数控机床的基本原理、基本功能及用途，为后续专业课（机械加工工艺基础、数控机床编程、数控机床加工等）的学习奠定基础。

本书第1、2章内容由秦忠编写；第6章内容以秦忠为主，陈伟、邹艳红、唐瑜谦参与编写；第3、7、8章以万永丽为主，秦忠、邹艳红、陈军参与编写；第4、5、9章以张建兵为主，陈家文、唐瑜谦、陈伟参与编写。其他同志参与了资料收集整理、图形绘制等工作。全书由秦忠统稿。

本书在编写过程中得到了云南省机械研究设计院及云南省机电一体化重点实验室的指导和支 持，在教材征求意见及调研过程中得到了云南航天数控有限公司、云南宏焱机电设备有限公司、云南建投钢结构股份有限公司、云南白药集团股份有限公司、云南鑫圆锺业股份有限公司等企业领导及技术人员的大力支持，同时在编写过程中参考了许多专家、老师的著作，在此一并表示感谢。

本书涉及知识较广，编者水平有限，错误和不当之处在所难免，恳请专家、同行及广大读者批评指正。

编 者

<b>第1章 机床基本知识</b> .....	001
1.1 机床的定义 .....	001
1.2 机床的发展历程 .....	001
1.2.1 世界机床的发展 .....	001
1.2.2 我国机床的发展历程 .....	004
1.2.3 总结 .....	005
1.3 机床的组成及工作原理 .....	006
1.4 机床的分类 .....	006
1.4.1 按加工性质和所用刀具的不同分 .....	006
1.4.2 按机床通用性程度分 .....	007
1.4.3 在同一种机床中,按加工精度的不同分 .....	007
1.4.4 按机床的质量和尺寸不同分 .....	007
1.4.5 按机床自动化程度分 .....	007
1.5 机床的用途 .....	008
<b>第2章 数控机床及加工中心概论</b> .....	009
2.1 数控机床及加工中心的定义 .....	009
2.2 数控机床及加工中心的发展历程 .....	009
2.3 数控机床及加工中心的组成和工作原理 .....	011
2.3.1 数控机床的组成 .....	011
2.3.2 加工中心的组成 .....	011
2.3.3 数控机床的工作原理 .....	012
2.3.4 加工中心的工作原理 .....	012
2.4 数控机床的分类 .....	013
2.4.1 按工艺用途分类 .....	013
2.4.2 按成形方式分类 .....	014
2.4.3 按电加工方式分类 .....	014
2.4.4 按数控系统控制运动的方式分类 .....	014
2.4.5 按伺服驱动的控制方式分类 .....	014
2.5 加工中心的分类 .....	015

# 目 录

# Contents

2.5.1 按主轴在加工时的空间位置分类 .....	015
2.5.2 按功能特征分类 .....	016
2.5.3 按运动坐标数和联动轴数分类 .....	016
2.5.4 按加工精度分类 .....	017
2.5.5 按自动换刀装置分类 .....	017
2.6 数控机床及加工中心的用途 .....	018
2.6.1 数控机床的用途 .....	018
2.6.2 加工中心的用途 .....	018
<b>第3章 数控机床及加工中心的机械结构 .....</b>	<b>019</b>
3.1 数控机床及加工中心机械本体的构成及特点 .....	019
3.1.1 数控机床及加工中心机械本体的构成 .....	019
3.1.2 数控机床及加工中心机械本体的特点 .....	020
3.2 数控机床及加工中心主要基础件 .....	021
3.2.1 床身 .....	021
3.2.2 立柱 .....	022
3.2.3 工作台 .....	022
3.2.4 底座 .....	023
3.2.5 导轨 .....	023
3.3 数控机床及加工中心主传动系统 .....	026
3.3.1 主传动系统 .....	026
3.3.2 主传动系统结构特点 .....	026
3.3.3 主传动系统分类 .....	027
3.3.4 主轴部件 .....	028
3.4 数控机床及加工中心进给系统 .....	033
3.4.1 进给传动系统的特点 .....	033
3.4.2 进给传动系统的构成 .....	033
3.4.3 滚珠丝杠螺母副 .....	035
3.4.4 传动齿轮间隙消除机构 .....	040
3.5 加工中心的自动换刀装置 .....	043
3.5.1 自动换刀装置的分类 .....	043

3.5.2	刀库 .....	045
3.5.3	机械手 .....	049
3.6	柔性制造单元的工作台交换装置 .....	050
3.7	柔性制造系统的零件转运机器人及 AGV 小车 .....	051
3.7.1	柔性制造系统的构成 .....	051
3.7.2	柔性制造系统的零件转运机器人 .....	052
3.7.3	物流搬运机器人 - AGV .....	053
<b>第4章</b>	<b>数控系统 CNC .....</b>	<b>056</b>
4.1	数控系统 CNC 的基本概念 .....	056
4.1.1	数控系统简介 .....	056
4.1.2	数控系统的组成 .....	056
4.1.3	数控系统的工作流程 .....	058
4.1.4	数控系统的数据转换流程 .....	061
4.2	CNC 系统的硬件结构 .....	063
4.2.1	整体式和分体式结构 .....	063
4.2.2	大板式和模块化结构 .....	064
4.2.3	单微处理器和多微处理器结构 .....	064
4.3	数控系统 CNC 的软件结构及工作原理 .....	066
4.3.1	多任务并行处理 .....	067
4.3.2	实时中断处理 .....	069
<b>第5章</b>	<b>伺服驱动系统 .....</b>	<b>072</b>
5.1	伺服驱动系统简介 .....	072
5.1.1	伺服系统的概念 .....	072
5.1.2	伺服系统主要作用 .....	072
5.1.3	伺服系统主要分类 .....	073
5.1.4	伺服系统主要特点 .....	073
5.1.5	伺服驱动系统的应用 .....	076
5.1.6	机床伺服驱动系统的组成与分类 .....	076
5.2	步进电动机伺服驱动系统 .....	079

# 目 录

# Contents

5.2.1	步进电动机的工作原理	080
5.2.2	步进电动机的驱动控制	083
5.2.3	步进电动机的应用	084
5.3	直流电动机伺服系统	088
5.3.1	直流伺服电动机的分类	088
5.3.2	直流伺服电动机的控制原理	089
5.3.3	直流伺服电动机的应用	091
5.4	交流伺服电动机驱动系统	098
5.4.1	交流伺服电动机的概述	099
5.4.2	交流伺服电动机的调速原理	102
5.4.3	交流伺服电动机的应用	104
<b>第6章</b>	<b>数控机床及加工中心的位移检测系统</b>	<b>110</b>
6.1	概述	110
6.1.1	检测装置的性能指标与要求	110
6.1.2	检测装置的分类	110
6.2	感应同步器	112
6.2.1	直线型感应同步器的结构	112
6.2.2	感应同步器的工作原理	113
6.2.3	感应同步器的典型应用	114
6.2.4	感应同步器的安装	117
6.3	光栅位置检测装置	117
6.3.1	长光栅检测装置的结构	118
6.3.2	光栅传感器的工作原理	118
6.3.3	光栅位移—数字变换电路	120
6.4	光电脉冲编码器	121
6.4.1	脉冲编码器的分类与结构	121
6.4.2	光电脉冲编码器的工作原理	122
6.4.3	光电编码器的运用	123
6.5	旋转变压器	125
6.5.1	旋转变压器的工作原理	125

6.5.2 旋转变压器的应用 .....	126
6.6 磁尺检测装置 .....	126
6.6.1 磁尺的组成 .....	127
6.6.2 磁性标尺和磁头 .....	127
6.6.3 磁尺的工作原理 .....	128
6.6.4 检测电路 .....	129
<b>第7章 数控编程基础知识 .....</b>	<b>133</b>
7.1 手工编程 .....	133
7.1.1 手工编程的步骤 .....	133
7.1.2 手工编程的应用 .....	134
7.2 自动编程 .....	134
7.3 功能代码 .....	136
7.3.1 字符与代码 .....	136
7.3.2 字 .....	136
7.3.3 字的功能 .....	136
7.3.4 符号组 .....	137
7.3.5 编程示例 .....	138
7.4 机床坐标系 .....	139
7.4.1 确定机床坐标系 .....	139
7.5 常用编程指令表 .....	140
7.6 数控车床编程 .....	148
7.6.1 尺寸系统的编程方法 .....	148
7.6.2 主轴控制、进给控制及刀具选用 .....	149
7.7 数控铣床及加工中心编程 .....	151
7.7.1 数控编程基础 .....	151
7.7.2 位移说明 .....	151
7.7.3 轴运行 .....	157
7.7.4 主轴运动 .....	159
7.7.5 轮廓编程支持 .....	159
7.7.6 刀具和刀具补偿 .....	160

# 目 录

# Contents

7.7.7 辅助功能 M .....	161
7.7.8 H 功能 .....	161
7.7.9 计算参数 R, LUD 和 PLC 变量 .....	161
7.7.10 程序跳转 .....	162
7.7.11 子程序 .....	162
7.8 循环 .....	162
7.8.1 循环概述 .....	162
7.8.2 循环编程 .....	163
7.8.3 循环编程举例 .....	163
<b>第 8 章 数控机床及加工中心的功能部件 .....</b>	<b>168</b>
8.1 数控回转工作台 .....	168
8.2 分度工作台 .....	169
8.2.1 定位销式分度工作台 .....	170
8.2.2 端面齿盘式分度工作台 .....	171
8.3 排屑装置 .....	173
8.4 冷却系统 .....	175
8.4.1 机床冷却和温度控制 .....	175
8.4.2 工件切削冷却 .....	176
8.5 润滑系统 .....	176
8.5.1 润滑系统的作用 .....	176
8.5.2 润滑系统的类型和应用 .....	176
<b>第 9 章 数控机床及加工中心的精度评定 .....</b>	<b>178</b>
9.1 数控机床及加工中心精度的基本概念 .....	178
9.2 数控机床及加工中心精度的主要检测项目 .....	178
9.2.1 几何精度 .....	178
9.2.2 定位精度 .....	179
9.2.3 工作精度 .....	179
9.3 数控机床及加工中心的定位精度 .....	180
9.3.1 定位精度的基本概念 .....	180

9.3.2 定位精度的检测 .....	182
9.3.3 定位精度的评定 .....	183
9.4 数控机床及加工中心的工作精度 .....	185
9.4.1 数控机床及加工中心的工作精度试验 .....	185
9.4.2 机床进给伺服系统特性对加工精度的影响 .....	187
参考文献 .....	189



# 第1章 机床基本知识

## 1.1 机床的定义

机床是指用切削加工的方法将原材料（毛坯）加工成具有一定几何形状、一定尺寸精度和一定表面质量的零件的机器，又称机床为加工母机。

金属切削机床是机床的重要类别，众多技术资料所描述的机床都是指金属切削机床。

金属切削机床是指用切削加工的方法将金属原材料（毛坯）加工成具有一定几何形状、一定尺寸精度和一定表面质量的零件的机器。

卧式加工中心的组成如图1-1所示。

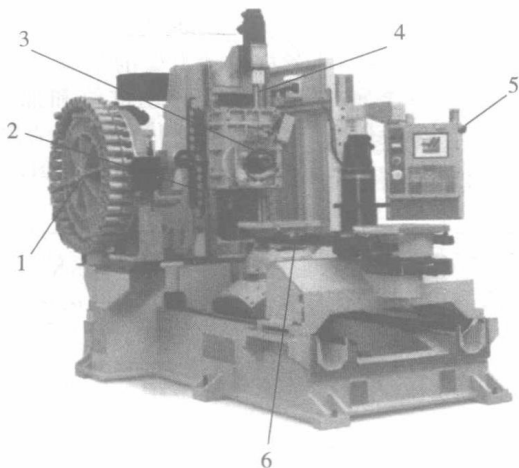


图1-1 卧式加工中心的组成

1—刀库；2—机械手；3—主轴单元；4—滚珠丝杠副；5—机床操纵台；6—回转工作台

## 1.2 机床的发展历程

### 1.2.1 世界机床的发展

世界机床的发展历程见表1-1。

表 1-1 世界机床的发展历程

诞生时间	动力源	切削刀具	加工对象	功能简述	表征
2000 年前	人力	石片	木材 或土坯	用脚踏绳索下端的套圈, 利用树枝的弹性通过绳索带动工件旋转	树枝车床, 机床最早的雏形
15 世纪初	人力 畜力 水力	金属	金属、 非金属	利用杠杆增力, 利用外力驱动工件或刀具旋转, 加工钟表、武器零件	早期螺纹车床, 早期插齿机床, 早期镗床
15 世纪中叶	人力 畜力 水力	金属	金属、 非金属	利用曲柄连杆机构, 将脚踏板的上下运动转化为飞轮的旋转运动, 从而驱动主轴旋转	脚踏车床
15 世纪中叶	人力 畜力 水力	金属	金属、 非金属	法国人贝松设计出了一种用螺丝杠使刀具移动来车螺纹的车床	第二代螺纹车床
1775 年	蒸汽机	金属	金属、 非金属	威尔金森发明了世界上第一台能够进行精密加工的镗床, 这种镗床用的是空心圆筒形镗杆, 两端都安装有轴承	第二代镗床
1797 年	蒸汽机	金属	金属、 非金属	英国的莫利兹设计出了一种用丝杠传动刀架的车床, 这种车床能够实现自动进给和加工螺纹, 被视为划时代的机床结构, 莫利兹也因此被称为“英国机床工业之父”	第三代螺纹车床
1800 年	蒸汽机	金属	金属、 非金属	莫利兹改进了原来的刀架车床, 采用更换齿轮的方法使得进给速度和加工螺纹的螺距可以改变	第四代螺纹车床
1817 年	蒸汽机	金属	金属、 非金属	英国人罗伯茨设计出了可以通过四级带轮的背轮机构来改变主轴转速的车床。此后, 更大型的车床出现了。同时, 工业的发展对于机械化、自动化的要求越来越高	近代普通车床
1818 年	蒸汽机	金属	金属、 非金属	惠特尼研制出了世界上第一台普通铣床, 但是由于当时的铣床造价过高, 因此并没有得到广泛发展。虽然当时关注铣床的人不多, 但是惠特尼的铣床为以后铣床的发明和应用奠定了基础	首例普通铣床
1814— 1839 年	蒸汽机	金属	金属、 非金属	人们先后设计制造出多种龙门刨床, 但这些刨床都没有送刀装置, 1839 年, 英国人博德默设计出了带有送刀装置的龙门刨床	首例带有送刀装置的龙门刨床

续表

诞生时间	动力源	切削刀具	加工对象	功能简述	表征
1831—1872年	蒸汽机	金属	金属、非金属	用于加工小平面的牛头刨床也开始被制造出来。就在英国为了应对工业革命的需求设计制造刨床、镗床的时候,美国为了生产武器装备,则将精力放在了铣床的研制上	首例牛头刨床
1845年	蒸汽机	金属	金属、非金属	美国人菲奇设计出了转塔车床	首例转塔车床
1848年	蒸汽机	金属	金属、非金属	美国人菲奇设计出了回轮车床	首例回轮车床
1850年	蒸汽机	金属	金属、非金属	德国的马蒂格诺最先研制出了用于在金属上钻孔的麻花钻	首例钻床
1862年	蒸汽机	金属	金属、非金属	<p>(1) 美国工程师约瑟夫·布朗设计制造配备有分度盘和立卧铣刀的铣床,成了一次划时代的设计。万能铣床的工作台可以在水平方向旋转一定的角度,并有立铣头等附件。布朗设计的铣床在1867年的巴黎博览会上获得了极大的成功,随后,他又设计出了经过研磨也不会发生变形的成形铣刀和用于磨铣刀的研磨机。布朗的设计使铣床的发展达到了一个更高的水平。</p> <p>(2) 英国人惠特沃斯在伦敦的国际博览会上展出了由动力驱动的钻床,这也是近代钻床的雏形。以后,各种各样的钻床开始出现,后来电动机的发明及其在钻床上的使用,使大型高性能的钻床也最终被研制出来</p>	<p>(1) 世界上第一台万能铣床。</p> <p>(2) 世界上第一台钻床</p>
1864年	蒸汽机	金属	金属、非金属	美国人在车床的溜板刀架上装上砂轮,并使它能够自动进给来加工工件	第一台磨床
1873年	蒸汽机	金属	金属、非金属	美国的斯潘塞相继研制出了单轴自动车床和三轴自动车床	首例自动车床
1876年	蒸汽机	金属	金属、非金属	美国的布朗研制出了与近代磨床比较接近的万能磨床。后来,由于轴承、导轨的不断改进,磨床的精度也越来越高,并且开始向专业化方向发展	世界上第一台万能磨床

续表

诞生时间	动力源	切削刀具	加工对象	功能简述	表征
1885 年	内燃机	金属	金属、 非金属	在对威尔金森的镗床做了许多改进之后，英国人赫顿发明了工作台升降式镗床	现代镗床的雏形
1900 年	电动机	金属	金属、 非金属	出现了由单独电动机驱动的带有齿轮变速箱的车床	首例电动车床
1900 年到 1952 年	电动机	金属	金属、 非金属	电子技术开始得到快速发展，自动信息处理、数据处理以及计算机技术在机床上的应用，给自动化技术带来了新的概念。于是人们开始研制用数字信号代替机械结构，对机床运动和加工的过程进行控制的新一代的机床	近代机床

## 1.2.2 我国机床的发展历程

### 1.2.2.1 第一阶段

从 1949 年中华人民共和国成立到 1952 年国民经济恢复时期，我国把机床工业的发展放到了重要的位置，实现了机床的从无到有，初步建成了机床行业的构架。

### 1.2.2.2 第二阶段

1953 到 1957 年“一五”期间，我国机床工业开始发展建设，建立了车床、铣床、镗床、钻床、磨床、齿轮加工机床、仪表机床、重型机床等专业机床研究所，这对我国机床技术的发展起到了有力的推动作用。在“一五”期间，我国机床主要采用苏联的图纸或仿制品，累计向全国提供了超过 10 万台机床，主要用于国家的重工业和机械工业的建设。

### 1.2.2.3 第三阶段

1958 到 1962 年“二五”期间，我国机床工业进入到提高完善阶段。这一时期重点发展重型机床、精密机床和锻压机床等，机床产业设备基本齐全，具备了提供大型、精密、高效机床和专用机床的能力，为我国汽车、内燃机、轴承和电机等行业提供了大量的装备。

### 1.2.2.4 第四阶段

到 1962 年年底，我国机床仿制品比例从“一五”期间的 78.5% 下降到了 3.2%。国民经济发展和国防建设对高精度精密机床的要求越来越高，而国内当时还没有具备生产高精度精密机床的能力，欧美又对我国进行技术封锁，苏联也中止了对我国机床的供货，因此只能自力更生，对整个机床行业组织“会战”。



### 1.2.2.5 第五阶段

到1965年年底,我国累计掌握了二十多种高精度精密机床的技术,国内出现了高精度精密机床产业。

### 1.2.2.6 第六阶段

1980年以后,我国机床工业进入了新的历史发展时期。改革开放后,我国开始进行技术改造,其中包括数控攻关和数控机床的国产化,通过技术改造,企业在关键工艺装备、开发试验手段和装配、加工条件上得到了改善。

### 1.2.2.7 第七阶段

1981到1985年“六五”期间,我国数控机床技术开始发展。在这一时期,机床行业一共引进了113项国外技术,自行开发了1225种新产品,中国的机床开始出口到多个国家和地区。

### 1.2.2.8 第八阶段

1986到1990年“七五”期间,我国数控机床开始与国外合作生产,机床市场由此向国际市场进发。

### 1.2.2.9 第九阶段

1991到1995年“八五”期间,我国数控机床具有了自主知识产权。

### 1.2.2.10 第十阶段

1996到2000年“九五”期间,我国数控机床的市场占有率大幅提高。2000年以后,我国机床工业实现了跨越式高速发展。为了改变大型、高精度数控机床主要依赖进口的现状,满足国民经济发展和国家重点工业领域发展的需要,提出发展大型、精密高速数控装备和数控系统及功能部件为十六项重点振兴领域之一,在国家政策支持和市场需求的推动下,数控机床产业实现了跨越式发展,代表数控技术先进水平的五轴联动机床也打破了国外封锁。

## 1.2.3 总结

改革开放近40年来,我国机床工业取得了很大的进步,机床行业也将把握未来的发展机遇,使我国由机床制造大国向机床制造强国转变。机床工业是一个国家制造业的基础,机床产业作为一个国家的战略性产业,备受世界各国的重视。对机床的发展史有一定了解,将有助于人们把握将来机床的发展趋势,设计出符合未来需求的机床设备。

## 1.3 机床的组成及工作原理

机床的种类繁多,其组成与工作原理也各不相同,现以各种普通机床的共性部分总结如下:

(1) 基础支撑部件,用于安装与支撑其他部件和工件,承受其重量和切削力,如床身底座和立柱等。

(2) 主轴及变速系统,包括主轴部件和主变速箱,用于安装主轴并改变主运动的速度。

(3) 进给及变速系统,包括床鞍、滑座、丝杠、工作台和进给变速箱等,用于传递进给运动和改变进给速度。

(4) 刀架刀具系统,包括安装刀具的刀架和刀柄等,它是刀具与机床能可靠安装并进行切削的重要部件。

(5) 电气控制,包括电气柜、电机、各种接触器、控制线路等,它是机床能实现一定逻辑控制的关键部件,如主轴及进给正反向变换、刀具夹紧松开、冷却和润滑系统启停等。

(6) 操纵系统,包括操作控制台、各种手柄和各种按钮等,它是对机床进行适时操控的执行部件。

(7) 润滑系统,包括润滑泵、过滤器、分配器、管路、油嘴等,它是保证机床各运动副能正常运转的部件,润滑系统有自动和手动两种。

(8) 冷却系统,包括冷却水泵、过滤器、分配器、管路、喷嘴等,它是机床切削时快速散热降温的部件。

(9) 机床附属装置,包括机床上下料装置、机械手、工业机器人等机床附加装置,以及卡盘、吸盘弹簧夹头、虎钳、回转工作台和分度头等机床附件。

## 1.4 机床的分类

目前金属切削机床的品种和规格繁多,为便于区别、使用和管理,需对机床进行分类。通常根据国家标准 GB/T 15375—1994 对机床进行分类。

### 1.4.1 按加工性质和所用刀具的不同分

按加工性质和所用刀具不同可分为车床、钻床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床、特种加工机床、锯床和其他机床。除了上述基本分类方法之外,根据机床的其他特征,还有其他分类方法。表 1-2 所示为按加工性质和所用刀具的不同对机床进行分类。