



新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材

· 机电一体化技术专业

# 数控机床与 数控编程技术

陈志雄 主 编

董兆伟 主 审



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材

· 机电一体化技术专业

# 数控机床与数控编程技术

陈志雄 主编

董兆伟 主审

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING



## 内 容 简 介

本书是根据高等职业教育教学要求编写的。主要内容包括数控机床的组成和工作原理；数控机床的结构；数控车床、加工中心的编程方法；数控机床的选用、安装、调试和维护；CAD/CAM 图形交互式自动编程系统简介等。书后还附录了准备功能 G 代码、辅助功能 M 代码及部分常用数控术语。每章均有一定数量的练习思考题。本书取材注重新颖、实用，具有针对性。

本书可作为高等职业院校机电一体化专业、模具设计与制造专业、电气控制专业的数控机床和数控编程技术教材，也可作为广大自学者及工程技术人员自学用书。

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。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控机床与数控编程技术 / 陈志雄主编. —北京：电子工业出版社，2003.7  
新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·机电一体化技术专业  
ISBN 7-5053-8726-X

I. 数… II. 陈… III. ① 数控机床—加工—高等学校：技术学校—教材 ② 数控机床—程序设计—高等学校：技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 061354 号

责任编辑：张荣琴

印 刷：北京东光印刷厂

出版发行：电子工业出版社 <http://www.phei.com.cn>

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

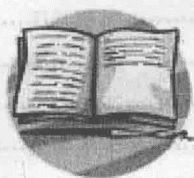
经 销：各地新华书店

开 本：787×1092 1/16 印张：14.25 字数：374 千字

版 次：2003 年 8 月第 1 版 2003 年 8 月第 1 次印刷

印 数：6 000 册 定价：18.00 元

凡购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系。  
联系电话：(010) 68279077



## Contents

<b>第 1 章 概论</b> .....	(1)
1.1 数控技术的发展过程 .....	(1)
1.1.1 数控机床的出现和发展 .....	(1)
1.1.2 我国数控机床的发展概况 .....	(2)
1.1.3 数控机床的发展趋势 .....	(2)
1.2 数控机床的基本组成及工作原理 .....	(4)
1.2.1 数控机床的组成 .....	(4)
1.2.2 数控机床的工作原理 .....	(5)
1.3 数控机床的分类 .....	(6)
1.3.1 按控制系统功能分类 .....	(6)
1.3.2 按加工方式分类 .....	(7)
1.3.3 按伺服控制方式分类 .....	(8)
1.3.4 按数控系统的功能水平分类 .....	(10)
1.4 数控机床的特点 .....	(10)
1.4.1 数控机床的加工特点 .....	(10)
1.4.2 数控机床的使用特点 .....	(11)
本章小结 .....	(13)
思考题和习题 1 .....	(13)
<b>第 2 章 数控机床的结构</b> .....	(14)
2.1 概述 .....	(14)
2.1.1 对数控机床机械结构的要求 .....	(14)
2.1.2 数控车床的主体结构 .....	(17)
2.1.3 加工中心的主体结构 .....	(18)
2.2 主轴驱动及其机械结构 .....	(19)
2.2.1 数控机床对主传动的要求 .....	(19)
2.2.2 主传动的调速方式 .....	(20)
2.2.3 主传动的机械结构 .....	(21)
2.3 伺服驱动控制系统与机床进给机构 .....	(24)
2.3.1 数控机床对伺服系统的要求 .....	(24)
2.3.2 步进电动机伺服系统 .....	(25)
2.3.3 直流伺服电动机伺服系统 .....	(28)





2.3.4	交流伺服电动机伺服系统	(30)
2.3.5	机床进给传动机构	(30)
2.4	自动换刀系统	(43)
2.4.1	自动换刀装置的形式	(43)
2.4.2	数控车床的换刀形式	(44)
2.4.3	加工中心的换刀形式	(48)
2.5	回转工作台	(51)
2.5.1	开环数控回转工作台	(51)
2.5.2	闭环数控回转工作台	(51)
2.6	数控机床检测装置	(52)
2.6.1	概述	(52)
2.6.2	测速发电机	(54)
2.6.3	编码盘与光电盘	(54)
2.6.4	旋转变压器	(55)
2.6.5	感应同步器	(56)
2.6.6	光栅	(57)
2.6.7	磁栅	(58)
	本章小结	(59)
	思考题和习题 2	(60)
<b>第 3 章</b>	<b>数控加工编程</b>	<b>(61)</b>
3.1	数控加工编程的基础知识	(61)
3.1.1	数控程序的编制方法及步骤	(61)
3.1.2	程序的结构和格式	(63)
3.1.3	常用地址符及其含义	(66)
3.1.4	数控机床的坐标系	(66)
3.2	数控机床加工工艺分析	(67)
3.2.1	加工方法的选择	(67)
3.2.2	加工工序的编排原则	(68)
3.2.3	工件的装夹	(68)
3.2.4	对刀点和换刀点位置的确定	(69)
3.2.5	加工路线的选定	(71)
3.2.6	刀具及切削用量的选择	(73)
3.3	常用准备功能和辅助功能指令	(77)
3.3.1	准备功能 G 代码	(77)
3.3.2	辅助功能 M 代码	(84)
3.4	数控机床的操作功能	(86)
3.4.1	数控车床的操作功能简介	(86)
3.4.2	加工中心的操作功能简介	(93)
3.5	数控车床程序编制	(98)



3.5.1	数控车床的坐标系	(98)
3.5.2	数控车床的编程要点	(100)
3.5.3	刀具补偿	(101)
3.5.4	固定循环	(102)
3.5.5	螺纹加工	(108)
3.5.6	数控车床编程实例	(110)
3.6	数控加工中心程序编制	(116)
3.6.1	立式加工中心的坐标系	(116)
3.6.2	刀具补偿 (G40, G41, G42)	(118)
3.6.3	固定循环 (钻孔循环)	(121)
3.6.4	换刀指令	(132)
3.6.5	加工中心编程实例	(133)
	本章小结	(135)
	思考题和习题 3	(136)
<b>第 4 章</b>	<b>数控机床的选用、安装、调试及维护</b>	<b>(139)</b>
4.1	数控机床的选用	(139)
4.1.1	选用依据	(139)
4.1.2	选用内容	(139)
4.1.3	购置订货时应注意的问题	(141)
4.2	数控机床的安装、调试和验收	(141)
4.2.1	机床初就位	(142)
4.2.2	机床连接	(142)
4.2.3	数控系统的连接与调整	(142)
4.2.4	通电试车	(144)
4.2.5	机床精度和功能的测试	(145)
4.2.6	试运行	(146)
4.2.7	数控机床的验收	(146)
4.3	数控机床的维护保养	(150)
4.3.1	对数控机床操作人员的要求	(150)
4.3.2	数控机床的日常维护与保养	(151)
4.3.3	数控机床的故障维修	(153)
	本章小结	(156)
	思考题和习题 4	(157)
<b>第 5 章</b>	<b>自动编程技术简介</b>	<b>(158)</b>
5.1	自动编程基础	(158)
5.1.1	自动编程的基本概念	(158)
5.1.2	自动编程的基本工作原理	(159)
5.1.3	国内外典型 CAM 软件介绍	(160)



5.2	Master CAM 的特点与功能 .....	(162)
5.2.1	Master CAM 的主要特点与功能 .....	(163)
5.2.2	Master CAM 的工作环境 .....	(165)
5.3	二维刀具轨迹的生成与编辑 .....	(168)
5.3.1	二维刀具路径模组及其共同参数 .....	(168)
5.3.2	二维刀具路径的使用 .....	(171)
5.3.3	二维刀具模组 .....	(173)
5.4	三维刀具轨迹的生成与编辑 .....	(189)
5.4.1	产生曲面刀具路径的两种方法 .....	(189)
5.4.2	用线框架法产生刀具路径 .....	(189)
5.4.3	曲面模型产生三维刀具路径 .....	(191)
5.4.4	三维刀具路径的编辑 .....	(191)
5.4.5	应用实例 .....	(192)
	本章小结 .....	(204)
	思考题和习题 5 .....	(204)
<b>附录 A 准备功能 G 代码(JB3208-83) .....</b>		<b>(205)</b>
A.1	表格 .....	(205)
A.2	定义 .....	(206)
<b>附录 B 辅助功能 M 代码 .....</b>		<b>(209)</b>
B.1	表格 .....	(209)
B.2	定义 .....	(210)
<b>附录 C 部分常用数控术语 .....</b>		<b>(212)</b>
C.1	通用术语 .....	(212)
C.2	程序编制和软件术语 .....	(213)
C.3	数控系统术语 .....	(214)
C.4	机床及加工工艺术语 .....	(215)
<b>参考文献 .....</b>		<b>(217)</b>



# 第 1 章 概 论



## 内容提要

本章主要介绍了数控的概念,数控机床的发展过程及发展趋势;数控机床的基本组成及工作原理;按控制系统功能、加工方式、伺服控制方式、数控系统的功能水平等四种方法对数控机床进行分类;数控机床的加工特点和使用特点。

## 1.1 数控技术的发展过程

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。数控技术水平高低和数控设备的拥有量,是体现一个国家综合国力水平、衡量工业现代化的重要标志之一。

### 1.1.1 数控机床的出现和发展

数控是数字控制(Numerical control)的简称,是近代发展起来的用数字化信息进行控制的自动控制技术。其含义是用以数值和符号构成的数字信息自动控制机床的运转。数控机床也简称为 NC 机床。

最早采用数字控制技术进行机械加工的思想,是在第二次世界大战以后提出的。当时,美国一个小型飞机工业承包商帕森兹公司(Parsons corporation)在制造飞机时,利用全数字电子计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理,并考虑了刀具半径对加工路径的影响,其加工精度达到 $\pm 0.0381\text{ mm}$ 。这在当时是具有相当高的水平的。

1952年,美国帕森兹公司(Parsons corporation)与麻省理工学院伺服机构实验室(Serve Mechanisms laboratory of The Massachusetts's Institute of Technology)合作,成功研制出一套三坐标联动、利用脉冲乘法器原理的试验性数字控制系统,并将它装在一台立式铣床上,当时用的电子元件是电子管。这就是公认的第一台数控机床,也是数控机床的第一代。

1959年,晶体管元件问世,数控系统中广泛应用晶体管和印刷电路板。从此,数控系统跨入了第二代。1959年3月,美国克耐·杜列克公司(Keane Y & Trecker Corp)开发了带有自动换刀装置的数控机床,称为“加工中心”。

1965年,出现了小规模集成电路。由于其体积小,功耗低,使数控系统的可靠性得到了进一步的提高,从而使数控系统发展到了第三代。

以上三代数控系统都是采用专用控制硬件逻辑数控系统,称为普通数控系统,即 NC (Numerical Control) 系统。

由于当时控制计算机的价格十分昂贵,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FMS(Flexible Manufacturing System)柔性制造系统。随着计算机技术的发展,小型计算机的价格急剧下降,开始取代专用控制的硬件逻辑数控系统(NC),数字控制的许多功能由软件程序实现,由此出现了用计算机作为控制单元的数控系统(CNC),这就是数控系统的第四代。

1970年前后,美国英特尔(Intel)公司首先开发和使用微处理器。1974年,美国、日本等首先研制出以微处理器为核心的数控系统的数控机床。由于中、大规模集成电路的集成度和可靠性高、价格低廉,因此,20多年来,微处理器数控系统的数控机床得到飞速发展和广泛应用。这就是微机数控(Micro-Computer Numerical Control)系统,即MNC系统。从而数控机床进入了第五代。后来,人们将MNC(微机数控系统)也统称为CNC(计算机数控系统)。

20世纪80年代初,国际上又出现了柔性制造单元FMC(Flexible Manufacturing Cell)。

柔性制造单元(FMC)和柔性制造系统(FMS)被认为是实现计算机集成制造系统CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)的必经阶段和基础。

### 1.1.2 我国数控机床的发展概况

我国从1958年开始研制数控机床,由清华大学研制出了最早的样机。1966年我国诞生了第一台用于直线-圆弧插补的晶体管数控系统,即第二代数控系统。1970年,集成电路数控系统制造成功,标志着我国进入了第三代数控系统制造阶段。但是由于历史的原因,数控机床的发展很慢,品种和数量都很少,稳定性和可靠性也比较差,只在一些复杂的、特殊的零件加工中使用。

从20世纪70年代开始,数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电加工等领域全面展开,数控加工中心在上海、北京研制成功。但由于电子元器件的质量和制造工艺水平差,致使数控系统的可靠性、稳定性未得到解决,因此不能广泛推广。

直到20世纪80年代,我国先后从日本、德国、美国等国家引进一些先进的数控系统和直流伺服电机、直流主轴电机技术,并进行了商品化生产,这些系统可靠性高,稳定性好,功能齐全,推动了我国数控机床的发展,使我国数控机床在质量、性能及水平上有了一个飞跃。1985年,我国数控机床的品种累计达80多种,进入了实用阶段。

1986年~1990年期间是我国数控机床大发展的时期。在此期间,通过实施国家重点科技攻关项目——“柔性制造系统技术及设备开发研究”和重点科技开发项目——“数控机床引进技术消化吸收(数控机床一条龙)”,推动了我国数控机床的发展。

从20世纪90年代以来,我国主要发展高档数控机床。

目前,在数控领域中,我国和先进的工业国家之间还存在一定的差距。我国数控机床的生产还远远满足不了国内生产的需要,更不能满足出口的要求。在现有数控机床中,还有待于进一步提高其利用率。随着我国加入WTO,并将成为世界制造中心,各行各业对数控机床的需要将会很大,数控机床也必然在国家建设中发挥更大的作用。

### 1.1.3 数控机床的发展趋势

#### 1. 数控系统发展趋势

数控系统的总体发展趋势是:



(1) 新一代数控系统采用开放式体系结构。开放式体系结构可以大量采用通用微机的先进技术,如多媒体技术,实现声控自动编程、图形扫描自动编程等。数控系统继续向高集成度方向发展,每个芯片上可以集成更多个晶体管,使系统更加小型化、微型化,可靠性大大提高。利用多CPU的优势,实现故障自动排除;增强通信功能,提高进线、联网能力。

开放式体系结构的新一代数控系统,其硬件、软件和总线规范都是对外开放的。充足的软、硬件资源,不仅使数控系统制造商和用户进行的系统集成得到有力的支持,而且也为用户的二次开发带来极大的方便,促进了数控系统多档次、多品种的开发和广泛应用,既可通过升档或剪裁构成各种档次的数控系统,又可通过扩展构成不同类型数控机床的数控系统,开发生产周期大大缩短。这种数控系统可随CPU升级而升级,结构上不必变动。

(2) 新一代数控系统,向智能化发展。控制性能大大提高。

随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应控制、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好,并具有故障诊断专家系统。其自诊断和故障监控功能更趋完善。伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置,能自动识别负载和优化调整参数。

总之,新一代数控系统技术水平大大提高,促进了数控机床性能向高精度、高速度、高柔性化方向发展,使柔性自动化加工技术水平不断提高。

## 2. 数控机床发展趋势

当前,世界数控技术及其装备发展趋势主要体现在以下几个方面:

(1) 高速、高效、高精度、高可靠性。

高速、高效:机床向高速化方向发展,可充分发挥现代刀具材料的性能,不但可大幅度提高加工效率、降低加工成本,而且还可提高零件的表面加工质量和精度。超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产,有广泛的适用性。

高精度:从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),是世界各工业强国发展的方向。其精度从微米级到亚微米级,乃至纳米级,其应用范围日趋广泛。

高可靠性:是指数控系统的可靠性高于被控设备的可靠性要在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然是适度可靠,受性能价格比的约束。

(2) 模块化、专门化与个性化;智能化;柔性化和集成化。

模块化、专门化与个性化:机床结构模块化,数控功能专门化,机床性能价格比显著提高。个性化是近几年来特别明显的发展趋势。

智能化:智能化的内容包括数控系统的各个方面:一是为追求加工效率和加工质量方面的智能化;二是为提高驱动性能及使用连接的智能化;三是简化编程和操作方面的智能化;四是智能诊断、智能监控方面,如方便系统的诊断及维修等。

柔性化和集成化: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。

(3) 开放性。为适应数控进线、联网、普及型个性化、多品种、小批量、柔性化及数控迅速发展的要求,最重要的是体系结构的开放性,如设计生产开放式的数控系统。美国、欧共体及日本正发展开放式数控。





(4) 出现新一代数控加工工艺与装备：如为适应制造自动化的发展，向 FMC（柔性制造单元），FMS（柔性制造系统）和 CIMS（计算机集成制造系统）提供基础设备，要求数字控制制造系统不仅能完成通常的加工功能，而且还要具有自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头（有时带坐标变换）、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网等功能；FMC，FMS 制造及无图纸制造技术；围绕数控技术、制造过程技术在快速成型、并联机构机床、机器人化机床、多功能机床等整机方面和高速主轴、直线电动机、软件补偿精度等单元方面技术；以计算机辅助管理和工程数据库、因特网为主体的制造信息处理技术和智能化决策系统等。

## 1.2 数控机床的基本组成及工作原理

数控机床是一种利用信息处理技术进行自动加工的机床。熟悉数控机床的组成，不仅要掌握数控机床的工作原理，同时还要掌握数控技术在其他行业的应用。

### 1.2.1 数控机床的组成

数控机床主要由加工程序、输入装置、数控系统、伺服系统、辅助控制装置、反馈系统及机床等几个部分组成，如图 1.1 所示。

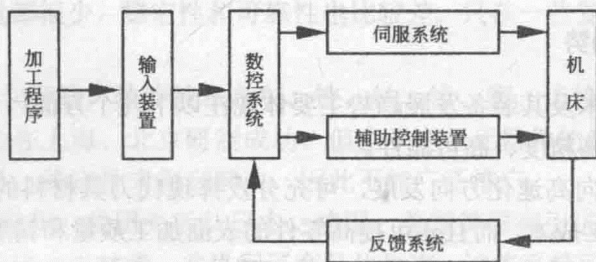


图 1.1 数控机床的基本组成

#### 1. 加工程序

数控机床与普通机床的最大区别是数控机床不需要工作人员直接去操作机床，它是按输入的工件加工程序运行的。工件加工程序中，包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数（进给量、主轴转速等）和辅助运动等加工所需的全部信息。加工程序可存储在控制介质（也称信息载体、程序载体）上。数控机床中，常用的控制介质有穿孔带、磁带和磁盘等。

#### 2. 输入装置

输入装置的作用是将控制介质（信息载体、程序载体）上的有关加工信息传递并存入控制系统内。根据控制介质的不同，相应有不同的输入装置。如对应穿孔带，有光电阅读机；对应磁带，有录放机；对应磁盘，有磁盘驱动器等。

现代数控机床，可以通过键盘，用手动方式（MDI 方式）直接输入数控系统，也可以由计算机编程后，用通信方式传送到数控系统中。



### 3. 数控系统

数控系统是数控机床的核心, 主要包括微型计算机、通用输入和输出外围设备及相关软件。

数控系统的主要功能是接受输入装置送来的脉冲信号, 经过数控系统的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后, 输出各种信息和指令, 控制机床各部分进行规定的动作。所输出的控制信息中最基本的信息是: 经插补运算确定各坐标轴(即做进给运动的各执行部件)的进给速度、进给方向和进给位移量指令, 还有主运动部件的变速、换向和启停指令; 刀具的选择和交换指令; 冷却、润滑装置的启停, 工件和机床部件的松开、夹紧, 分度工作台转位等辅助指令。

### 4. 伺服系统

伺服系统是数控系统的执行部分。它接受数控装置的指令信息, 经功率放大后, 严格按照指令信息的要求驱动机床的运动部件, 完成指令规定的运动, 加工出合格的零件。一般来说数控机床的伺服系统, 要有好的快速响应性能和高的伺服精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分, 目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

### 5. 测量反馈装置

测量反馈装置的作用是将数控机床各坐标轴的位移指令检测值反馈到机床的数控装置中, 数控装置对反馈回来的实际位移值与设定值进行比较后, 向伺服系统发出指令, 纠正所产生的误差。

### 6. 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的主运动换向、变速、启停、刀具的选择和交换, 以及其他辅助装置等指令信息, 经过必要的编译、逻辑判别和运算, 经功率放大后直接驱动相应的电器, 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。

现在由于可编程逻辑控制器(PLC)具有响应快, 性能可靠, 易于使用、编程和修改, 并可直接驱动机床电器的特点, 已被广泛作为数控机床的辅助控制装置。

### 7. 机床

与普通机床相比, 数控机床主体结构虽然还是由主传动装置、进给传动装置、床身及工作台和辅助装置组成, 但其传动系统更为简单。并且数控机床的静态和动态刚度要求更高, 如传动装置的间隙要求尽可能小, 滑动面的摩擦因数要小, 但有恰当的阻尼, 以应对数控机床高定位精度和良好的控制性能的要求。

#### 1.2.2 数控机床的工作原理

数控机床与普通机床相比, 其工作原理的不同之处在于数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的。

数控机床加工零件,首先要将被加工零件的图样及工艺信息数字化,用规定的代码和程序格式编写加工程序,然后将所编程序指令输入到机床的数控装置中。数控装置再将程序(代码)进行译码、运算后,向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号,驱动机床各运动部件,控制所需要的辅助运动,最后加工出合格零件。

## 1.3 数控机床的分类

数控机床五花八门,种类繁多,据不完全统计,已有 400 多个品种。当前数控机床究竟如何分类,国内外尚无统一的规定。为了便于了解和研究,我们通常按以下 4 种方法来分类。

### 1.3.1 按控制系统功能分类

按控制系统的功能特点可以将数控机床分为点位控制、点位直线控制、轮廓控制等 3 种数控机床。

#### 1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是在刀具相对工件的移动过程中,不进行切削加工,对定位过程中的运动轨迹没有严格要求,仅要求实现从一个坐标点到另一个坐标点的精确定位。为了尽可能地减少刀具的运动时间并提高定位精度,刀具先是快速移动到接近终点的位置,然后降低移动速度,使之慢速趋近定位点,以确保定位精度。这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控测量机、数控点焊机、数控弯管机等。如图 1.2 所示是点位控制钻孔加工示意图。从图中可以看出,从第一个孔到第二个孔,刀具的 3 种不同的运动轨迹,都能满足钻孔的要求。

#### 2. 点位直线控制数控机床

点位直线控制数控机床的特点是不但要控制从一坐标点到另一坐标点的精确定位,还要控制两相关点之间的移动速度和轨迹。其轨迹是平行机床各坐标轴的直线,或两轴同时移动形成的  $45^\circ$  的斜线。点位直线控制数控机床虽然比点位控制数控机床的工艺范围广,但在实用中仍受到很大的限制。这类数控机床主要有经济型数控车床、数控镗铣床、数控加工中心等。如图 1.3 所示是点位直线控制切削加工示意图。

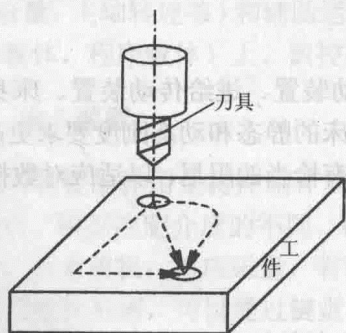


图 1.2 点位控制钻孔加工示意图

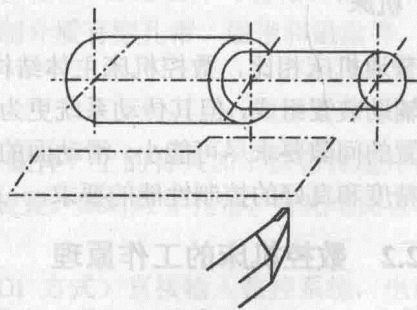


图 1.3 点位直线控制切削加工示意图



### 3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床的特点是能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行加工控制。加工时不仅能控制起点和终点坐标,而且能控制整个加工过程中每一个点的坐标和速度,即控制刀具运动轨迹,将工件加工成一定的轮廓形状。图 1.4 是轮廓控制铣削加工示意图。

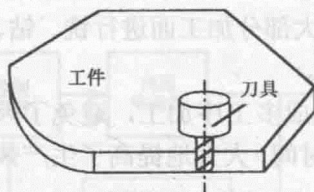


图 1.4 轮廓控制铣削加工示意图

轮廓控制整个加工过程中每一点的速度和位移是由轮廓控制中的插补功能来实现的。插补的任务就是对轮廓线的起点到终点之间再密集地计算出有限个坐标点,刀具沿着这些坐标点移动,逼近轮廓。直线和圆弧是构成工件轮廓形状的基本结构要素。因此大多数数控装置都具有直线和圆弧的插补功能。如图 1.5(a)所示为直线插补示意图,如图 1.5(b)所示为圆弧插补示意图。目前应用的插补算法有脉冲增量插补和数字增量插补。

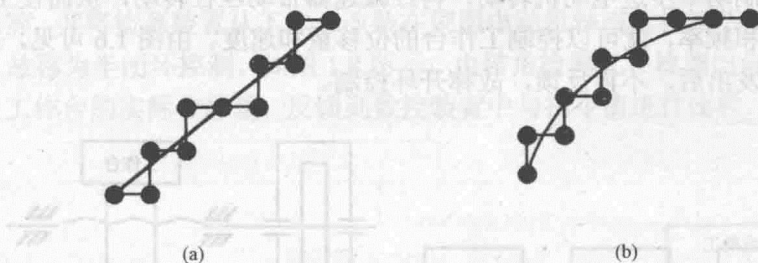


图 1.5 直线插补和圆弧插补

(a) 直线插补; (b) 圆弧插补

轮廓控制数控机床的结构比较复杂。这类数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控加工机床等。

#### 1.3.2 按加工方式分类

大多数数控机床制造厂家都使用这种分类方法,它给厂家的宣传和用户订货选型带来了很大的方便。按加工方式的不同,常将数控机床分为两种:一般数控机床和加工中心。

##### 1. 一般数控机床

最常见的有数控车床、数控钻床、数控铣床、数控镗床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。这类数控机床的特点与传统机床相似,但具有很高的精度,较高的生产率和自动化程度,适合于加工单件、小批量和复杂形状的工件。由于它不带刀库,只能实现一道工序中的自动化。

当工序不同时, 仍需人工完成刀具的更换等工作, 阻碍了生产率的进一步提高。

## 2. 加工中心(带刀库的数控机床)

在普通数控机床上加装一个刀库和自动换刀装置就成了加工中心。加工中心打破了一台机床只能进行单工种加工的传统, 实现了一次装夹, 完成多个工种的加工。如铣、钻、镗加工中心, 在工件一次装夹后, 可以对大部分加工面进行铣、钻、镗、铰、扩、攻螺纹等多个工序加工, 特别适合箱体类零件的加工。

加工中心一次安装定位后可完成多工序加工, 避免了因多次安装造成的误差, 减少了机床的台数和占地面积, 缩短了辅助时间, 大大地提高了生产效率和加工质量, 降低了生产成本。

### 1.3.3 按伺服控制方式分类

数控机床按照伺服控制方式可分为开环控制和闭环控制两种。在闭环系统中, 根据检测反馈装置安放的位置可分为全闭环控制和半闭环控制两种。

#### 1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床的特点是不带检测反馈装置。这类数控机床主要使用步进电动机。如图 1.6 所示的是典型的开环数控系统, 数控装置将工件加工程序处理后, 输出数字指令脉冲信号, 通过驱动电路控制功率步进电动机转动, 再经减速器带动丝杠转动, 从而使工作台移动。改变进给脉冲的数目和频率, 就可以控制工作台的位移量和速度。由图 1.6 可见, 指令信息单方向传送, 并且指令发出后, 不再反馈, 故称开环控制。

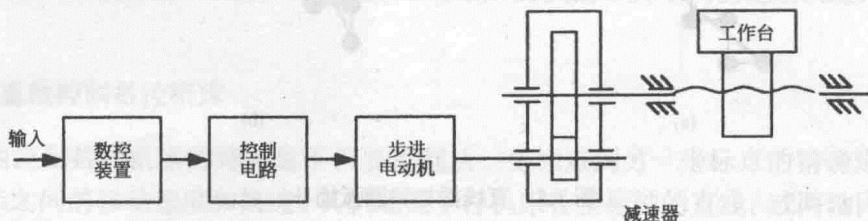


图 1.6 开环控制系统框图

开环控制系统由于没有检测装置, 也就没有纠正偏差的能力, 因此它的控制精度较低。但由于其结构简单, 调试方便, 维修容易, 造价低廉等优点, 现仍被广泛应用于经济型数控机床及旧机床的数控化改造上。

#### 2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床的特点是装有位置测量反馈装置。在加工过程中, 安装在工作台上的检测元件将工作台的实际位移量反馈到计算机中, 与所要求的位置指令进行比较, 用比较的差值进行控制, 直到差值消除。可见, 闭环控制系统可以消除机械传动的各种误差及工件加工过程中产生干扰的影响, 使加工精度大大提高。如图 1.7 所示为闭环控制系统框图。

闭环控制系统的加工精度高, 速度快。这类数控机床常采用直流伺服电动机或交流伺服



电动机作为驱动元件,电动机的控制电路比较复杂,检测元件价格昂贵,调试维修复杂,成本高。闭环控制数控机床主要用于一些精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精铣床和大型的精密加工中心等。

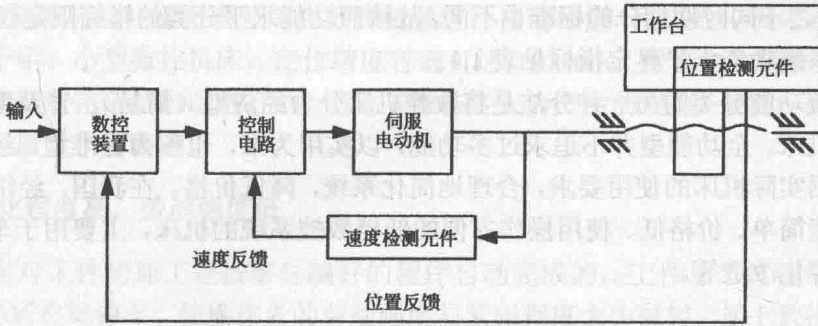


图 1.7 闭环控制系统框图

### 3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制系统与闭环控制系统的控制方式相类似。它们之间的主要区别在于半闭环控制系统不是直接检测工作台的位移量,而是检测角位移,如圆光栅、旋转变压器、圆感应同步器、编码器等,并将检测装置从工作台改装在伺服电动机轴或丝杠端头上。因反馈环内没有包含工作台,故称为半闭环控制。如图 1.8 所示,由转角检测元件检测出伺服电动机或丝杠的转角,推算出工作台的实际位移量,反馈到数控装置中与指令值进行比较,用比较的差值进行控制。

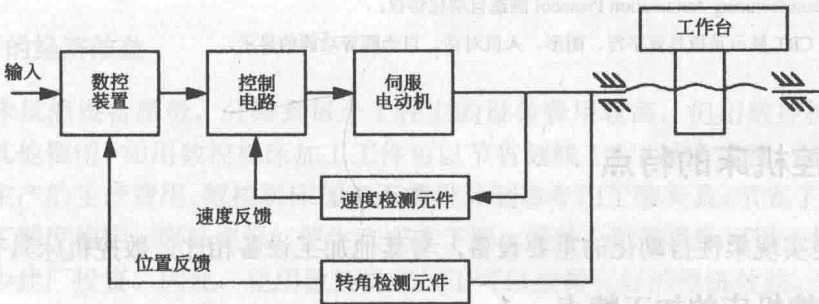


图 1.8 半闭环控制系统框图

目前,已将角位移检测装置与伺服电动机设计成一个部件,使系统的结构简单,安装调试都比较方便。

半闭环控制精度较闭环控制差,但稳定性好,成本较低,调试维修也比较容易,兼顾了开环控制和闭环控制两者的特点,因此应用比较普遍。



### 1.3.4 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平来分,有两种分法,一种是把数控机床分为高、中、低档(经济型)数控机床。这种分类方法,在我国应用较普遍。目前高、中、低档的界限还没有一个统一的界定标准,加之不同时期划分的标准也不同,故按照功能水平分类的指标限定仅供参考。高、中、低档数控系统功能水平界定指标见表 1.1。

按数控系统功能分类的另一种分法是将数控机床分为经济型(简易)、普及型(全功能)、和高档型数控机床。全功能型并不追求过多功能,以实用为准,也称为标准型。经济型数控机床的目的是根据实际机床的使用要求,合理地简化系统,降低价格。在我国,经济型数控机床是指装备了功能简单、价格低、使用操作方便的低档数控系统的机床,主要用于车床、线切割机床及原有的数控化改造等。

表 1.1 低、中、高档数控系统功能水平指标

功 能	低 档	中 档	高 档
分辨率 ( $\mu\text{m}$ )	10	1	0.1
进给速度 (m/min)	8~15	15~24	15~100
驱动进给类型	开环	半闭环或闭环的直流或交流伺服系统	
联动轴数(轴)	2~3	2~4	3~5 以上
通信功能	一般无	RS-232 或 DNC 接口	可有 MAP 通信接口 <sup>①</sup> , 有联网能力
显示功能	LED 或简单的 CRT	较齐全的 CRT 显示 <sup>②</sup>	还有三维图形显示
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC
主 CPU	8 位、16 位	32 位或 32 位以上的多 CPU	

注: ① MAP—Manufacturing Automation Protocol 制造自动化协议;

② 较齐全的 CRT 显示是指具有字符、图形、人机对话、自诊断等功能的显示。

## 1.4 数控机床的特点

数控机床是实现柔性自动化的重要设备,与其他加工设备相比,数控机床具有如下特点。

### 1.4.1 数控机床的加工特点

#### 1. 适应性强, 适合加工单件或小批量复杂工件

在数控机床上改变加工工件时,只需要重新编制(更换)程序,就能实现新工件的加工。数控机床加工工件时,只需要简单的夹具,因此当加工工件改变后,不需要制作特别的工装夹具,更不需要重新调整机床。这就为复杂结构的单件、小批量生产及试制新产品提供了极大的便利。对于那些通过手工操作的一般机床很难加工或无法加工的精密复杂零件,数控机床也能实现自动加工。