

高等学校机械类学科“十二五”规划教材

# 机床数控技术及应用

主 编 黄美发 李雪梅  
副主编 蒋占四 龙芋宏

高等学校机械类学科“十二五”规划教材

# 机床数控技术及应用

主 编 黄美发 李雪梅

副主编 蒋占四 龙芋宏

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书详细系统地介绍了数控技术的基本内容, 数控编程技术, 典型计算机数控系统的硬件、软件结构, 插补控制原理, 重点介绍了典型伺服系统的组成及应用、常用位置检测装置的工作原理及用途、数控机床的典型机械结构、典型数控设备的工作原理及传动结构, 同时还介绍了数控机床的安装与验收、使用与维护以及精度检验等内容。

本书内容简明扼要、图文并茂, 机床结构分析典型全面, 机床调试与维护紧贴生产实际, 具有示范性, 便于读者理解和掌握。

本书可作为高等工科院校机电一体化、机械设计制造及其自动化等相关专业本科生的教材, 也可作为相关工程技术人员的参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

机床数控技术及应用/黄美发, 李雪梅主编.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2014.5

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3264 - 3

I. ①机… II. ①黄… ②李… III. ①数控机床 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 061554 号

策 划 秦志峰

责任编辑 南 景 秦志峰

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2014年5月第1版 2014年5月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 16

字 数 377千字

印 数 1~3000册

定 价 30.00元

ISBN 978 - 7 - 5606 - 3264 - 3/TG

**XDUP 3556001 - 1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

本社图书封面为激光防伪覆膜, 谨防盗版。

# 前 言

数控技术领域综合了计算机技术、自动控制技术、检测技术和机械加工技术。从 20 世纪 70 年代以来,数控技术获得了突飞猛进的发展,数控机床和其他数控设备在实际生产当中获得了越来越广泛的应用。同时,数控技术的发展极大地推动了计算机辅助设计和辅助制造(CAD/CAM)、柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造技术(CIMS)的发展。数控技术已成为先进制造技术的技术基础和重要组成部分。

经过多年的改革和发展,我国的机械制造业正面临着前所未有的机遇与挑战——从制造业大国成为制造业强国。使用以数控技术为基础的先进制造技术武装机械制造业,是在这场竞争中获胜的重要条件之一。因此,在我国推广应用数控技术有着特别重要的意义。为适应我国高等教育发展及机床数控技术与应用人才培养的需要,我们编写了本书。

本书详细系统地介绍了数控技术的基本内容,数控编程技术,典型计算机数控系统的硬件、软件结构,插补控制原理,重点介绍了典型伺服系统的组成及应用、常用位置检测装置的工作原理及用途、数控机床的典型机械结构、典型数控设备的工作原理及传动结构,同时还介绍了数控机床的安装与验收、使用与维护以及精度检验等内容。

本书由桂林电子科技大学黄美发教授和李雪梅教授担任主编,黄美发教授编写了第 1 章,李雪梅教授编写了前言,第 2、6、7 章和附录,蒋占四副教授编写了第 3、4 章,龙芋宏教授编写了第 5 章,最后由李雪梅负责统稿工作。

在本书编写过程中,编者参阅了有关院校、工厂、科研院所的一些教材、资料和文献,反映了桂林机床股份公司等合作单位的科技成果,并在编写过程中得到了西安电子科技大学出版社秦志峰编辑的大力协助,在此一并向他们表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,编写时间仓促,书中错误和不当之处在所难免,敬请读者予以批评指正。

编 者

2013 年 11 月

# 目 录

<b>第 1 章 概论</b> .....	1
1.1 数控技术的基本概念 .....	1
1.2 数控机床的组成 .....	2
1.2.1 机床本体 .....	2
1.2.2 数控系统 .....	3
1.2.3 外围系统 .....	4
1.3 数控机床的特点及分类 .....	4
1.3.1 数控机床的特点 .....	4
1.3.2 数控机床的分类 .....	5
1.4 数控机床的应用范围 .....	10
1.5 数控技术的发展趋势 .....	11
习题与思考题 .....	12
<b>第 2 章 数控机床加工程序的编制</b> .....	13
2.1 数控编程基础 .....	13
2.1.1 数控编程的概念 .....	13
2.1.2 数控编程的内容和步骤 .....	14
2.1.3 数控编程的方法 .....	15
2.1.4 数控机床坐标轴和运动方向 .....	15
2.2 数控编程的常用指令与格式 .....	19
2.2.1 程序编制的标准与代码 .....	19
2.2.2 数控程序的结构与格式 .....	20
2.3 数控加工手工编程 .....	24
2.3.1 数控加工手工编程的工艺处理 .....	24
2.3.2 常用数控加工基本指令介绍 .....	31
2.3.3 程序编制实例 .....	38
2.4 数控加工自动编程概述 .....	45
2.4.1 自动编程方法 .....	45
2.4.2 自动编程系统的信息处理过程 .....	46
2.4.3 典型 CAD/CAM 软件介绍 .....	49
习题与思考题 .....	51
<b>第 3 章 计算机数控系统(CNC 系统)</b> .....	53
3.1 概述 .....	53
3.1.1 CNC 系统的组成 .....	53
3.1.2 CNC 系统的功能和一般工作过程 .....	53
3.2 CNC 系统的硬件结构 .....	58
3.2.1 单 CPU 结构 CNC 系统 .....	58

3.2.2 多CPU结构CNC系统 .....	60
3.3 CNC系统的软件结构 .....	61
3.3.1 CNC系统控制软件的结构特点 .....	62
3.3.2 CNC系统的软件结构模式 .....	65
3.4 CNC系统的输入/输出与通信 .....	71
3.4.1 CNC装置的输入/输出和通信要求 .....	71
3.4.2 CNC系统常用外部设备及接口 .....	72
3.5 开放式CNC系统 .....	80
3.5.1 CNC系统的发展 .....	80
3.5.2 开放式数控系统的结构 .....	81
3.5.3 开放式CNC系统的主要特点 .....	82
3.6 CNC装置的插补原理 .....	83
3.6.1 概述 .....	83
3.6.2 典型插补方法的工作原理及运算 .....	85
3.7 CNC系统的刀具补偿原理 .....	96
3.7.1 刀具半径补偿 .....	97
3.7.2 刀具长度补偿 .....	99
习题与思考题 .....	99
<b>第4章 数控机床的伺服系统 .....</b>	<b>101</b>
4.1 概述 .....	101
4.2 步进电动机及驱动电路 .....	104
4.2.1 步进电动机的分类和工作原理 .....	105
4.2.2 步进电动机的主要特性及参数 .....	108
4.2.3 步进电动机的驱动控制 .....	110
4.2.4 步进电动机伺服系统的功率驱动 .....	111
4.3 直流伺服电动机 .....	113
4.3.1 直流伺服电动机的结构特点 .....	113
4.3.2 直流伺服电动机的调速方式 .....	114
4.4 交流伺服电动机 .....	116
4.4.1 交流伺服电动机的结构 .....	116
4.4.2 交流伺服电动机的工作原理 .....	116
4.5 直线伺服电动机传动 .....	118
4.5.1 直线伺服电动机的发展 .....	118
4.5.2 直线伺服电动机的工作原理 .....	119
4.5.3 直线伺服电动机的应用及特性 .....	120
习题与思考题 .....	123
<b>第5章 数控机床的位置检测装置 .....</b>	<b>124</b>
5.1 位置检测装置的作用与要求 .....	124
5.2 位置检测装置的测量方式 .....	124
5.3 脉冲编码器 .....	125
5.3.1 增量式光电编码器 .....	125
5.3.2 绝对式脉冲编码器 .....	127
5.3.3 脉冲编码器在数控机床中的应用 .....	128

5.4	光栅 .....	129
5.4.1	光栅的工作原理 .....	129
5.4.2	光栅的分类 .....	131
5.4.3	光栅的主要特点 .....	132
5.5	磁栅 .....	134
5.6	旋转变压器 .....	135
5.6.1	旋转变压器的结构 .....	135
5.6.2	旋转变压器的工作原理 .....	136
5.6.3	旋转变压器的应用 .....	137
5.7	感应同步器 .....	138
5.7.1	感应同步器的结构和特点 .....	138
5.7.2	感应同步器的工作原理 .....	139
	习题与思考题 .....	140
<b>第 6 章</b>	<b>数控机床的机械结构 .....</b>	<b>142</b>
6.1	概述 .....	142
6.2	数控机床的主传动系统 .....	143
6.2.1	对主传动系统的要求 .....	143
6.2.2	主传动系统的变速方式 .....	143
6.2.3	齿轮传动系统的总传动比及其分配 .....	148
6.2.4	主轴部件 .....	150
6.3	进给传动机构 .....	154
6.3.1	对进给传动系统的要求 .....	154
6.3.2	联轴器 .....	155
6.3.3	消除间隙的齿轮传动结构 .....	156
6.3.4	滚珠丝杠螺母副 .....	158
6.4	数控机床的自动换刀系统 .....	170
6.4.1	自动换刀装置的形式 .....	170
6.4.2	带刀库的自动换刀系统 .....	174
6.5	刀具交换装置 .....	180
6.6	数控机床的其它装置 .....	183
6.6.1	数控回转工作台 .....	183
6.6.2	分度工作台 .....	184
6.6.3	排屑装置 .....	187
6.6.4	机床导轨 .....	189
6.6.5	支承件 .....	199
	习题与思考题 .....	206
<b>第 7 章</b>	<b>数控机床的选用与维护 .....</b>	<b>207</b>
7.1	数控机床的选型 .....	207
7.1.1	被加工工件的确定 .....	207
7.1.2	机床规格的选择 .....	207
7.1.3	机床精度的选择 .....	207
7.1.4	自动换刀装置和刀库容量的选择 .....	208
7.1.5	数控系统的选择 .....	209

7.1.6 加工节拍与机床台数估算 .....	209
7.2 数控机床的安装与调试 .....	209
7.2.1 加工中心的安装 .....	210
7.2.2 加工中心的调试 .....	215
7.2.3 机床的试运行 .....	218
7.2.4 机床性能检测 .....	219
7.2.5 数控功能检测 .....	220
7.3 数控机床的验收 .....	221
7.3.1 机床几何精度检测 .....	221
7.3.2 机床定位精度检测 .....	221
7.4 数控机床的维护 .....	225
7.4.1 数控机床使用中应注意的问题 .....	225
7.4.2 数控系统的维护 .....	226
7.4.3 机械部件的维护 .....	227
7.4.4 数控机床的日常维护保养 .....	228
7.5 数控机床的故障诊断与维修 .....	235
7.5.1 数控机床维修的基本概念与管理 .....	235
7.5.2 故障诊断的基本概念及分类 .....	235
7.5.3 数控机床的故障诊断与维修 .....	236
习题与思考题 .....	238
<b>附录</b> .....	239
附录 1 数控系统常用术语中英文对照 .....	239
附录 2 数控机床常用术语中英文对照 .....	242
<b>参考文献</b> .....	248



# 第 1 章 概 论

本章介绍数控技术的基本概念、数控机床的组成、数控系统的分类以及数控技术的发展趋势。通过本章的学习,要求理解数控技术的基本概念,对数控系统的组成及各部分的作用有一个较完整的认识,并掌握点位、直线和轮廓控制系统以及开环、半闭环和闭环控制系统的组成与特点。

## 1.1 数控技术的基本概念

数控技术是指利用数字或数字化信号构成的程序对控制对象的工作过程实现自动控制的一门技术,简称数控(Numerical Control, NC)。数控系统(Numerical Control System, NCS)是指利用数控技术实现自动控制的系统。数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术。在现代机械制造领域中,数控技术已成为核心技术之一,是实现柔性制造(Flexible Manufacturing, FM)、计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing, CIM)、工厂自动化(Factory Automation, FA)的重要基础技术之一。数控技术被较早地应用于机床装备中,本书主要介绍机床数控技术。

国家标准(GB8129—87)把机床数控技术定义为“用数字化信息对机床运动及其加工过程进行控制的一种方法”,简称数控。一般来说,数控机床就是采用了数控技术的机床。国际信息处理联盟(International Federation of Information Processing)第五技术委员会对数控机床作了如下定义:“数控机床是一个装有程序控制系统的机床,该系统能够逻辑地处理具有使用代码或其他符号编码指令规定的程序。”换言之,数控机床是一种采用计算机技术,利用数字信息进行控制的高效、能自动化加工的机床。它能够按照机床规定的数字化代码,把各种机械位移量、工艺参数、辅助功能(如刀具交换、冷却液开与关等)表示出来,经过数控系统的逻辑处理与运算,发出各种控制指令,实现要求的机械动作,自动完成零件加工任务。在被加工零件或加工工序变换时,只需改变控制指令程序就可以实现新的加工要求。所以,数控机床是一种灵活性很强、技术密集度及自动化程度很高的典型的机电一体化加工设备。

随着自动控制理论、电子技术、计算机技术、精密测量技术和机械制造技术的进一步发展,数控技术正向高速度、高精度、智能化、开放型以及高可靠性等方向迅速发展。

## 1.2 数控机床的组成

数控机床由机床本体、数控系统和外围系统组成，如图 1.1 所示。

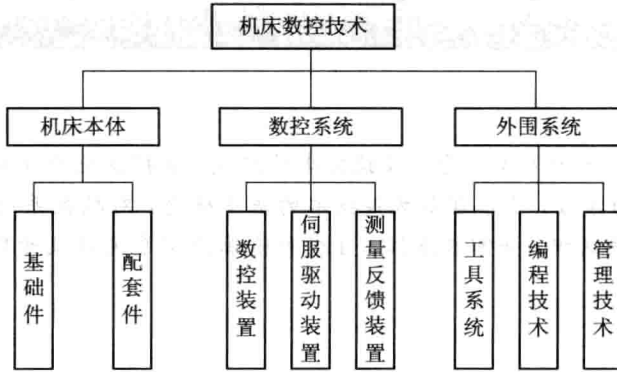


图 1.1 数控机床的组成

### 1.2.1 机床本体

机床本体主要由床身、立柱、工作台、导轨等基础件和刀库、刀架等配套件组成，如图 1.2 所示。数控机床由于切削用量大、连续加工发热量大等因素，对加工精度有一定影响。数控加工是自动控制的，不能像普通机床那样由人工进行调整、补偿。数控机床的主运动、进给运动都由单独的伺服电机驱动，所以传动链短，结构较简单。为保证其快速响应特性，数控机床普遍采用精密滚珠丝杠和直线滚动导轨副。为保证数控机床的高精度、高效率和高自动化加工，机械结构应具有较高的动态特性、动态刚度、抗变形性能、耐磨性。除此之外，数控机床还配备有冷却、自动排屑、对刀、测量等配套装置，以利于更大地发挥其功能。

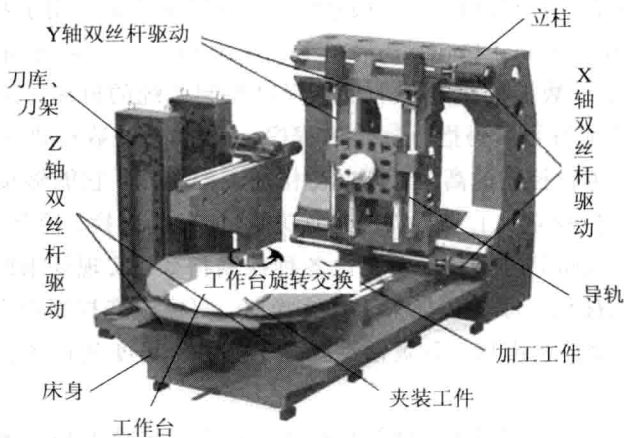


图 1.2 机床本体

## 1.2.2 数控系统

数控系统是一种程序控制系统，它能处理输入到系统中的数控加工程序，控制数控机床运动并加工出零件。

图 1.3 所示为数控系统的基本组成。它由输入/输出设备、计算机数控 (Computer Numerical Control, CNC) 装置、可编程控制器 (Programmable Logic Control, PLC)、主轴伺服驱动装置 (主轴控制单元和主轴电机)、进给伺服驱动装置 (速度控制单元和进给电机) 以及位置检测器等组成。

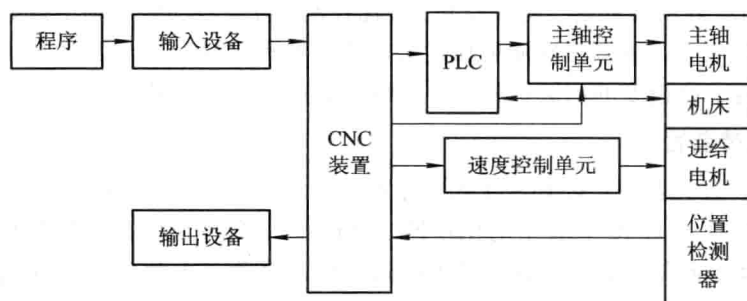


图 1.3 数控系统组成

### 1. CNC 装置

CNC 装置是数控系统的核心。在一般的数控加工过程中，首先启动 CNC 装置，在 CNC 内部控制软件的作用下，通过输入装置或输入接口读入零件的数控加工程序，并存放于 CNC 装置的程序存储器内。开始加工时，在控制软件作用下，将数控加工程序从存储器中读出，按程序段先进行译码处理，将零件的数控加工程序转换成计算机能处理的内部形式，再将程序段的内容分成位置数据和控制指令，并存放于相应的存储区域，最后根据数据和指令的性质进行各种流程处理，完成数控加工的各项功能。

CNC 装置通过编译和执行内存中的数控加工程序来实现多种功能。CNC 装置一般具有以下基本功能：坐标控制 (XYZAB 代码) 功能、主轴转速 (S 代码) 功能、准备 (G 代码) 功能、辅助 (M 代码) 功能、刀具 (T 代码) 功能、进给 (F 代码) 功能、插补功能、自诊断功能等。有些功能可以根据机床的特点和用途进行选择，如固定循环功能、刀具半径补偿功能、通信功能、特殊的准备功能、人机对话编程功能、图形显示功能等。不同类型、不同档次的数控机床，其 CNC 装置的功能有很大的不同。CNC 系统制造厂商或供应商会向用户提供详细的 CNC 各功能的说明书。详细内容将在后续各章介绍。

### 2. 伺服驱动装置

伺服驱动装置又称伺服系统，是 CNC 装置和机床本体的联系环节。伺服驱动装置把来自 CNC 装置的微弱指令信号通过调解、转换、放大后驱动伺服电机，并通过执行部件，使工作台精确定位或使刀具与工件按规定的轨迹作相对运动，最后加工出符合图纸要求的零件。数控机床的伺服驱动装置分为主轴驱动单元 (主要是转速控制)、进给驱动单元 (包括位移和速度控制)、回转工作台和刀库伺服控制装置以及它们相应的伺服电机等。伺服系统分为步进电机伺服系统、直流伺服系统、交流伺服系统和直线伺服系统。步进电机伺

服系统比较简单,价格又低廉,所以在经济型数控车床、数控铣床、数控线切割中仍有使用。直流伺服系统从20世纪70年代到80年代中期,在数控机床上获得了广泛应用。但由于直流伺服系统使用机械(电刷、换向器)换向,维护工作量大。20世纪80年代后,因为交流伺服电机的材料、结构、控制理论和方法均有突破性的进展,电力电子器件的发展又为控制方法的实现创造了条件,使得交流伺服电机驱动装置发展很快,目前正在取代直流伺服系统。交流伺服系统的最大优点是电机结构简单,不需要维护,适合在恶劣环境下工作。此外,交流伺服电机还具有动态响应好、转速高和容量大等优点。目前,在交流伺服系统中,除了驱动级外,电流环、速度环和位置环可以全部采用数字化控制。伺服系统的控制模型、数控功能、静动态补偿、前馈控制、最优控制、自学习功能等均由微处理器及其控制软件高速实时地实现,使得其性能更加优越,已达到和超过直流伺服系统。直线伺服系统是一种新型高速、高精度的伺服机构,已开始数控机床中使用。

### 3. 测量反馈装置

测量反馈装置主要用于闭环和半闭环系统。先由测量反馈装置中的检测装置检测出实际的位移量并反馈给CNC装置中的比较器,与CNC装置发出的指令信号比较,如果有差值,就发出运动控制信号,控制数控机床移动部件向消除该差值的方向移动,直到差值为0,运动停止。

常用的检测装置有旋转变压器、编码器、感应同步器、光栅、磁栅、霍尔检测元件等。

### 4. 可编程控制器

在数控系统中,除了要进行轮廓轨迹控制和点位控制外,还应控制一些开关量,如主轴的启动与停止、冷却液的开与关、刀具的更换、工作台的夹紧与松开等,这些开关量主要由可编程控制器进行控制。

## 1.2.3 外围系统

除了机床本体和数控系统外,数控机床的组成部分还有相关的外围系统,主要包括工具系统(主要指刀具系统)。

数控系统各组成部分的关系如图1.4所示。

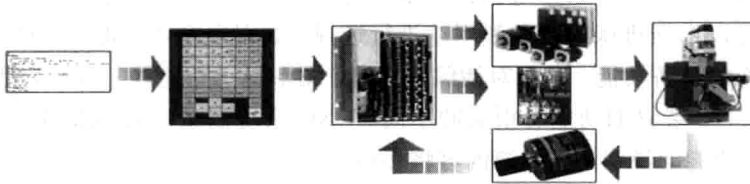


图 1.4 数控系统各组成部分的关系

## 1.3 数控机床的特点及分类

### 1.3.1 数控机床的特点

与通用机床和专用机床相比,数控机床具有以下主要特点:

(1) 加工精度高,质量稳定。数控系统每输出一个脉冲,机床移动部件的位移量称为脉冲当量,数控机床的脉冲当量一般为 $0.001\text{ mm}$ ,高精度的数控机床可达 $0.0001\text{ mm}$ ,其运动分辨率远高于普通机床。另外,数控机床具有位置检测装置,可将移动部件的实际位移量或丝杠、伺服电动机的转角反馈到数控系统,并进行补偿,因此,可获得比机床本身精度还高的加工精度。数控机床加工零件的质量由机床保证,无人为操作误差的影响,所以同一批零件的尺寸一致性好,质量稳定。

(2) 能完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂零件的加工。例如,采用二轴联动或二轴以上联动的数控机床,可加工母线为曲线的旋转体曲面零件、凸轮零件和各种复杂空间曲面类零件。

(3) 生产效率高。数控机床的主轴转速和进给量范围比普通机床的大,且良好的结构刚性允许数控机床采用大的切削用量,从而有效地节省了机动时间。对于某些复杂零件的加工,如果采用带有自动换刀装置的数控加工中心,可实现在一次装夹下进行多工序的连续加工,减少了半成品的周转时间,明显提高了生产率。

(4) 对产品改型设计的适应性强。当被加工零件改型设计后,在数控机床上只需变换零件的加工程序并调整刀具参数等,就能实现对零件的加工,使生产准备周期大大缩短。因此,数控机床可以很快地从加工一种零件转换为加工另一种改型设计后的零件,这就为单件、小批量新试制产品的加工以及产品结构的频繁更新提供了极大的方便。

(5) 有利于制造技术向综合自动化方向发展。数控机床是机械加工自动化的基本设备,以数控机床为基础建立起来的 FMC、FMS、CIMS 等综合自动化系统使机械制造的集成化、智能化和自动化得以实现。这是由于数控机床控制系统采用数字信息与标准化代码输入,并具有通信接口,容易实现数控机床之间的数据通信,最适宜多台计算机连接组成工业控制网络,实现自动化生产过程的计算、管理和控制。

(6) 监控功能强,具有故障诊断的能力。CNC 系统不仅可控制机床的运动,而且可对机床进行全面监控。例如,可对一些引起故障的因素提前报警,进行故障诊断等,极大地提高了检修的效率。

(7) 减轻工人劳动强度,改善劳动条件。

### 1.3.2 数控机床的分类

数控机床的种类繁多,根据数控机床的功能和组成的不同,可以从多种角度对数控机床进行分类。

#### 1. 按运动轨迹分类

数控机床按运动轨迹不同可分为以下三类:

(1) 点位控制系统。点位控制系统的特点是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,只要求从一坐标点到另一坐标点的精确定位,如图 1.5(a)所示。数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机和数控测量机等都采用此类系统。

(2) 直线控制系统。直线控制系统的特点是除了控制起点与终点之间的准确位置外,还要求刀具由一点到另一点之间的运动轨迹为一条直线,并能控制位移的速度,因为这类数控机床的刀具在移动过程中要进行切削加工,如图 1.5(b)所示。直线控制系统的刀具切

削路径只沿着平行于某一坐标轴方向运动,或者沿着与坐标轴成一定角度的斜线方向进行直线切削加工。采用这类控制系统的机床有数控车床、数控铣床等。

同时具有点位控制功能和直线控制功能的点位/直线控制系统,主要应用在数控镗铣床、数控加工中心上。

(3) 轮廓控制系统(也称连续控制系统)。轮廓控制系统的特点是能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点的位置,而且要控制两点之间每一点的位置和速度,使机床加工出符合图纸要求的复杂形状(任意形状的曲线或曲面)的零件,如图 1.5(c)所示。它要求数控机床的辅助功能比较齐全。数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控电加工机床、数控绘图机等都采用此类控制系统。

这类数控机床绝大多数具有两坐标或两坐标以上的联动功能,不仅具有刀具半径补偿、刀具长度补偿功能,而且还具有机床轴向运动误差补偿,丝杠、齿轮的间隙补偿等一系列功能。

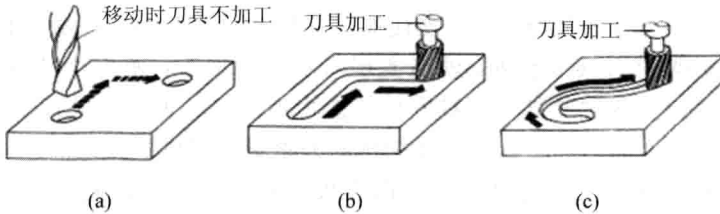


图 1.5 数控系统控制方式

## 2. 按伺服系统的控制方式分类

数控机床按伺服系统的控制方式不同可分为以下三类:

(1) 开环伺服系统。这种控制方式不带位置测量元件。数控装置根据信息载体上的指令信号,经控制运算发出指令脉冲,使伺服驱动元件转过一定的角度,并通过传动齿轮和滚珠丝杠螺母副使执行机构(如工作台)移动或转动。图 1.6 为开环控制系统的原理框图。这种控制方式没有来自位置测量元件的反馈信号,对执行机构的动作情况进行检查,指令流向为单向,因此被称为开环控制系统。

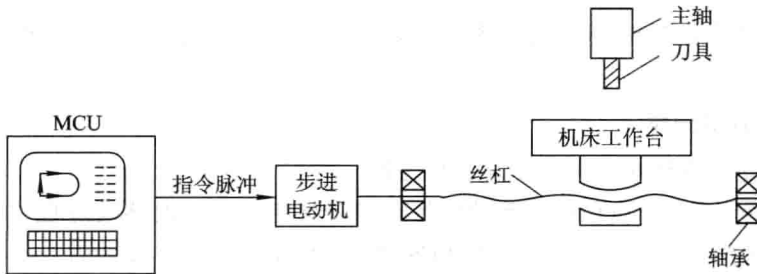


图 1.6 开环控制系统原理框图

步进电动机伺服系统是最典型的开环控制系统。这种控制系统的特点是结构简单、调试维修方便、工作稳定、成本较低。由于开环伺服系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性,因此控制精度较低,目前在国内多用于经济型数控机

床，以及对旧机床的改造。

(2) 闭环伺服系统。这是一种自动控制系统，其中包含功率放大和反馈环节，使输出变量的值响应输入变量的值。数控装置发出指令脉冲后，当指令值送到位置比较电路时，若工作台没有移动，即没有位置反馈信号，则指令值使伺服驱动电动机转动，经过齿轮、滚珠丝杠螺母副等传动元件带动机床工作台移动。装在机床工作台上的位置测量元件测出工作台的实际位置，将所测位置反馈到数控装置的比较器中与指令信号进行比较，若两者存在差值则用该差值控制伺服驱动电动机转动，直至差值为零，工作台才停止移动。图 1.7 为闭环控制系统框图。闭环伺服系统的优点是精度高、速度快，主要用在精度要求较高的数控镗铣床、数控超精车床、数控超精镗床等机床上。

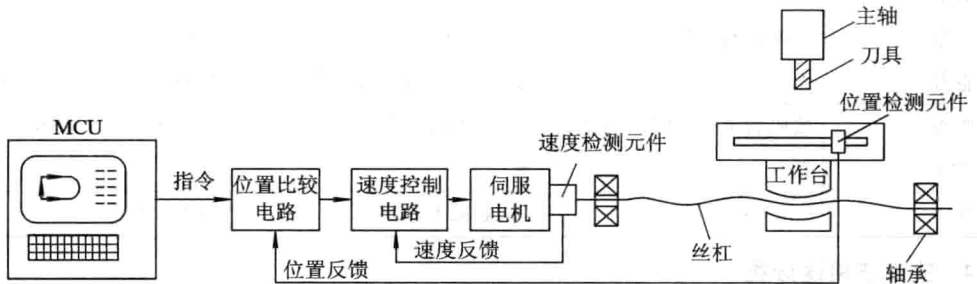


图 1.7 闭环控制系统框图

(3) 半闭环伺服系统。这种控制系统不是直接测量工作台的位置，而是通过旋转变压器、光电编码盘或分解器等角位移测量元件，测量伺服机构中电动机或丝杠的转角，来间接测量工作台的位移。这种系统中滚珠丝杠螺母副和工作台均在反馈环路之外，其传动误差等仍会影响工作台的位置精度，故称为半闭环控制系统。图 1.8 为半闭环控制系统框图。

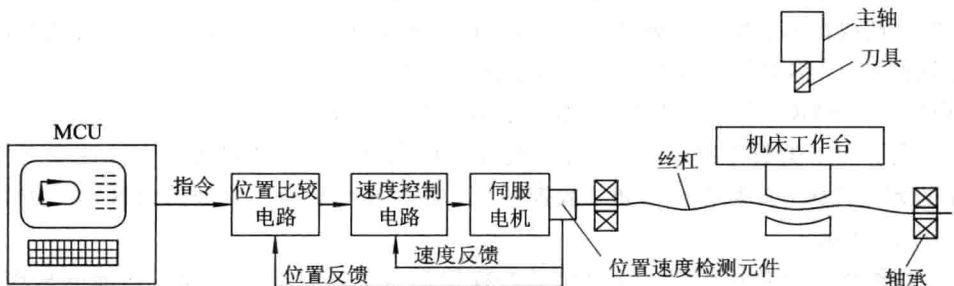


图 1.8 半闭环控制系统框图

半闭环伺服系统介于开环伺服系统和闭环伺服系统之间，由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单，因此装有精密滚珠丝杠螺母副和精密齿轮的半闭环系统被广泛应用。目前已经把角位移测量元件与伺服电动机设计成一个部件，使用起来十分方便。半闭环伺服系统的加工精度虽然没有闭环系统高，但是由于采用了高分辨率的测量元件，这种控制方式仍可获得比较满意的精度和速度。它的系统调试比闭环系统方便，稳定性好，成本也比闭环系统低，目前，大多数数控机床采用了半闭环伺服系统。

### 3. 按功能水平分类

数控机床按数控系统的功能水平可分为低、中、高三类。这种分类方式在我国用的很多。低、中、高三类的划分界限是相对的，不同时期的划分标准有所不同，就目前的发展水平来看，大体可以从表 1.1 所示几个方面来区分。

表 1.1 数控机床按功能水平分类

项 目	低	中	高
分辨率和进给速度	10 $\mu\text{m}$ 、8~15 m/min	1 $\mu\text{m}$ 、15~24 m/min	0.1 $\mu\text{m}$ 、15~100 m/min
伺服进给类型	开环、步进电动机系统	半闭环直流或交流伺服系统	闭环直流或交流伺服系统
联动轴数	2 轴	3~5 轴	3~5 轴
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速、C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP 通信接口、连网功能
显示功能	数码管显示、CRT 字符	CRT 显示字符、图形	三维图形显示、图形编程
内装 PLC	无	有	有
主 CPU	8 位 CPU	16 或 32 位 CPU	64 位 CPU

### 4. 按工艺用途分类

数控机床按工艺用途不同可分为以下四类：

(1) 切削加工类数控机床。切削加工类数控机床即具有切削加工功能的数控机床，如数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控齿轮加工机床、数控螺纹加工机床、数控电加工及超声波加工机床、数控磨床、数控割断机床及其他数控机床等。目前，国内外开发的新品种特别多，种类分得越来越细。如在数控磨床中不仅有数控外圆磨床，数控内圆磨床，集可磨外圆、内圆于一机的数控万能磨床，数控平面磨床，数控坐标磨床，数控工具磨床，数控无心磨床，数控齿轮磨床，还有专用或专门化的数控轴承磨床、数控外螺纹磨床、数控内螺纹磨床、数控双端面磨床、数控凸轮轴磨床、数控曲轴磨床、能自动换砂轮的数控导轨磨床(又称为导轨磨削中心)等；此外，还有工艺范围更宽的车削中心、加工中心、柔性制造单元(FMC)等。典型的切削加工类数控机床如图 1.9 所示。

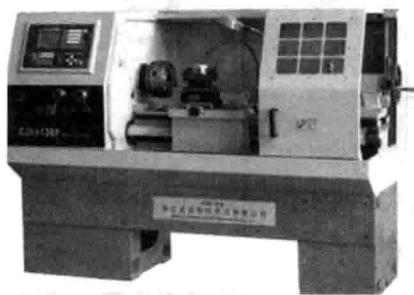
(2) 成形加工类数控机床。成形加工类数控机床是指具有通过物理方法改变工件形状及功能的数控机床，如数控折弯机、数控冲床、数控压力机等。典型的成形加工类数控机床如图 1.10 所示。

(3) 特种加工类数控机床。特种加工类数控机床是指具有特种加工功能的数控机床，如数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、带有自动换电极功能的“电加工中心”、数控激光切割机床、数控激光热处理机床、数控激光板料成形机床、数控等离子切割机等。典型的特种加工类数控机床如图 1.11 所示。

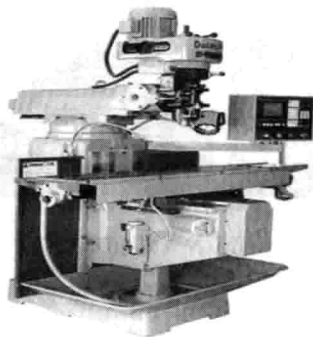
(4) 其他类型数控机床。其他类型数控机床是指一些数控设备，如数控装配机、数控测量机、机器人等。典型的其他类型数控机床如图 1.12 所示。

近年来，一些复合加工的数控机床也开始出现，其基本特点是集多工序、多刀具、复合工艺加工在一台设备中完成。

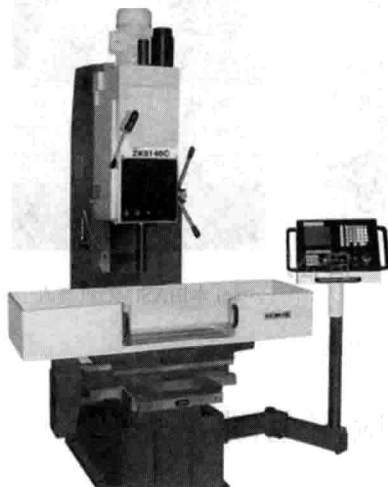




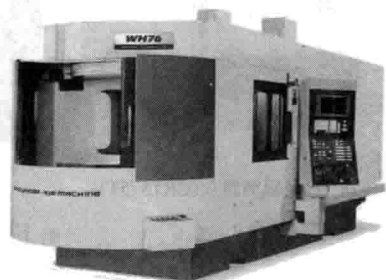
(a) 数控车床(CJK6136F)



(b) 数控铣床

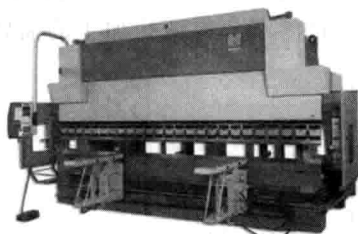


(c) 数控钻床(ZK5140C)

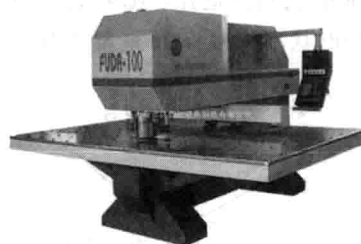


(d) WH76滑枕卧式加工中心

图 1.9 典型切削加工类数控机床



(a) 数控折弯机



(b) 数控冲床FUDA-63

图 1.10 成形加工类数控机床