



工业和信息化高职高专  
“十二五”规划教材立项项目

高等职业院校

机电类“十二五”规划教材

# 数控机床原理 与结构

(第2版)

CNC Machine Principle  
and Structure (2nd Edition)

以应用为目的，构建知识体系

深浅适度，易教易学

体现新知识，新技术



◎ 熊军 孙艳敏 主编  
◎ 陈红江 万鑫 副主编

人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

  
精品系列



工业和信息化高职高专  
“十二五”规划教材立项项目

高等职业院校

机电类“十二五”规划教材

# 数控机床原理 与结构

(第2版)

CNC Machine Principle  
and Structure (2nd Edition)



◎ 熊军 孙艳敏 主编  
◎ 陈红江 万鑫 副主编

人民邮电出版社

北京



精品系列



图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床原理与结构 / 熊军, 孙艳敏主编. — 2版  
 — 北京: 人民邮电出版社, 2013. 7  
 工业和信息化高职高专“十二五”规划教材立项项目  
 高等职业院校机电类“十二五”规划教材  
 ISBN 978-7-115-31408-6

I. ①数… II. ①熊… ②孙… III. ①数控机床—理论—高等职业教育—教材②数控机床—结构—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第081692号

内 容 提 要

本书以 FANUC 数控系统、SIEMENS 数控系统和华中数控系统为例, 详细介绍了数控技术的原理、结构组成以及未来发展趋势等内容。

本书的特点是, 从实用观点出发, 以全面学习掌握数控原理与应用为目的, 采用了大量的实物和平面图片, 让初次涉及数控机床的人员有一个直观的认识。本书按内容分为上下两篇, 上篇阐述了数控技术的基本概念、轨迹控制(插补)原理; 数控装置的硬件、软件结构、组成和工作原理; 数控机床电气控制系统及 PLC 逻辑控制功能与原理; 数控机床进给伺服控制技术和检测技术等。下篇则介绍了数控机床的机械传动和主体结构。

本书可作为高职高专机电一体化、数控技术、机械设计制造及自动化、模具设计与制造等专业的教材, 也可供企业数控设备、操作、设计与维修等技术人员自学参考书。

- ◆ 主 编 熊 军 孙艳敏  
副 主 编 陈红江 万 鑫  
责任编辑 刘盛平  
责任印制 沈 蓉 杨林杰
- ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号  
邮编 100061 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
- ◆ 开本: 787×1092 1/16  
印张: 21.5 2013 年 7 月第 2 版  
字数: 504 千字 2013 年 7 月河北第 1 次印刷

定价: 45.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223  
反盗版热线: (010)67171154



# Forward

## 第2版

## 前言



制造自动化是先进制造技术的重要组成部分，其核心技术是数控技术。随着数控技术的发展，我国的机械制造行业发生了日新月异的变化，国内数控机床的用量迅速增加。因此，亟须培养一大批熟悉并掌握数控加工工艺、数控机床原理、操作和维护的应用型高级技术人才。为深化教育改革，推动高等职业教育的发展，培养与我国现代化建设相适应的，在制造领域中从事技术应用的应用型人才，作者在总结机械类专业技术人才培养模式的基础上编写了本教材。

本书的特点是，从实用观点出发，以全面学习掌握数控原理与应用为目的，采用了大量的实物和平面图片，让初次涉及数控机床的人员有一个直观的认识。再版时按内容分为上下两篇，上篇阐述了数控技术的基本概念、轨迹控制（插补）原理；数控装置的硬件、软件结构、组成和工作原理；数控机床电气控制系统及PLC逻辑控制功能与原理；数控机床进给伺服控制技术和检测技术等。下篇则介绍了数控机床的机械传动和主体结构。

本书内容涉及机电的有机结合，因而注重培养读者应用多学科知识分析问题的能力及机电系统综合设计应用能力，结合生产实践中数控设备的实际情况，在本书的第7章增加了部分变频控制的内容，以便于读者在读完全书之后，对于数控设备的控制有一个更为深化而又全面的理解。

本书由熊军和孙艳敏任主编，陈红江和万鑫任副主编。其中上篇第1章、第5章由江西工业职业技术学院祝红芳编写，第2章、第4章由同济大学汽车学院万鑫编写，第3章、第6章由唐山工业职业技术学院孙艳敏编写，第7章、第8章由南昌理工学院熊军编写并统稿；下篇第9章，第10章，第11章由南昌公交公司苏国洪编写；第12章，第13章由江西科技师范学院陈红江编写并统稿。在编写过程中参考并引用了有关文献的资料和插图等，在此对其作者表示由衷的感谢。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，敬请读者提出宝贵意见并批评指正。

编者

2013年1月



## 上篇 数控机床控制技术

<b>第 1 章 数控机床组成及数字控制原理</b> .....2	2.2.6 刀具半径补偿的实例.....34
1.1 数控机床的组成及分类.....3	复习与思考题.....34
1.1.1 数控机床的控制技术.....3	<b>第 3 章 数控系统的组成</b> .....36
1.1.2 数控机床组成.....4	3.1 数控系统的硬件结构.....36
1.1.3 数控机床的分类.....6	3.1.1 典型的数控系统的硬件结构.....37
1.2 国内外数控机床的现状与发展趋势.....14	3.1.2 辅助控制接口模块.....41
1.2.1 国外数控机床的发展与现状.....15	3.1.3 数字逻辑控制模块.....42
1.2.2 我国数控机床的现状.....16	3.1.4 位置控制模块.....43
1.2.3 数控机床的发展趋势.....17	3.1.5 功能接口模块.....45
复习与思考题.....22	3.2 数控系统的软件结构.....46
<b>第 2 章 插补与刀具补偿</b> .....23	3.2.1 数控系统的结构特点.....46
2.1 数控加工技术基础.....23	3.2.2 微机系统.....48
2.1.1 加工控制示例.....23	3.2.3 数控系统的软件结构类型.....49
2.1.2 插补控制原理.....24	3.3 数控装置的技术特征.....57
2.1.3 插补方法的分类.....28	3.3.1 数控装置的特点.....57
2.1.4 评价插补算法的指标.....29	3.3.2 数控装置的功能.....58
2.2 刀具半径补偿.....30	3.3.3 NC、CNC、SV 与 PMC 的概念.....60
2.2.1 刀具半径补偿的概念.....30	3.3.4 现代数控技术的特征.....61
2.2.2 刀具半径补偿功能的主要用途.....31	复习与思考题.....62
2.2.3 刀具半径补偿的常用方法.....31	<b>第 4 章 数控机床的电气控制系统</b> .....63
2.2.4 刀具半径补偿的工作原理.....32	4.1 数控系统的电气控制.....63
2.2.5 C 机能刀具半径补偿的转换形式和 过渡方式.....32	4.1.1 数控系统的电源控制.....64
	4.1.2 数控系统的连接.....64

4.2 数控机床的电气控制..... 66	5.3.2 PLC 控制系统设计的基本内容.....96
4.2.1 数控车床的电气控制系统..... 66	5.3.3 PLC 系统设计步骤.....96
4.2.2 数控铣床的电气控制..... 70	5.4 PLC 程序设计.....97
4.2.3 典型数控机床电气控制系统原理图... 74	5.4.1 PLC 程序设计的常用方法.....98
4.3 数控机床电气控制设计示例..... 77	5.4.2 PLC 程序设计的一般步骤.....98
4.3.1 CK6142 数控车床的电气控制要求... 77	5.4.3 PLC 程序设计的一般原则.....100
4.3.2 CK6142 数控车床的电气控制方案 设计..... 77	5.4.4 PLC 调试的步骤.....100
4.3.3 强电控制回路的设计..... 78	5.5 其他数控系统的可编程控制器.....100
4.3.4 HANUC 输入输出控制回路的连接与 参数设置..... 79	5.5.1 FANUC 数控系统的可编程机床 控制器.....101
4.3.5 机床信号的连接..... 81	5.5.2 FANUC 系统典型 PLC 的指令和程序 编制.....103
4.3.6 HANUC 系统伺服轴接口与伺服驱动器 以及伺服电动机的连接与参数 设置..... 82	5.5.3 国产数控系统的 PLC.....104
4.3.7 HANUC 系统与变频器、主轴编码器 的连接与参数设置..... 84	复习与思考题.....110
复习与思考题..... 85	<b>第6章 进给伺服控制与驱动</b> .....111
<b>第5章 数控机床 PLC 控制</b> ..... 86	6.1 进给伺服系统的类型.....111
5.1 数控机床 PLC 及其功能介绍..... 86	6.1.1 数控加工对进给伺服系统的技术 要求.....112
5.1.1 数控机床中的可编程控制器..... 87	6.1.2 进给伺服系统的分类.....113
5.1.2 内装型 PLC..... 87	6.2 步进电动机及其驱动系统.....117
5.1.3 独立型 PLC..... 88	6.2.1 步进电动机的结构类型.....117
5.1.4 数控机床中 PLC 的功能..... 89	6.2.2 步进电动机的工作原理.....119
5.2 CNC、PLC、机床之间的信号处理..... 90	6.2.3 反应式步进电动机的主要性能 指标.....122
5.2.1 CNC 侧与 MT 侧的概念..... 90	6.2.4 驱动控制系统组成.....125
5.2.2 CNC、PLC、机床之间的信号处理 过程..... 91	6.2.5 步进电动机驱动控制技术.....126
5.2.3 PLC、CNC、机床间的信息交换... 91	6.2.6 步进电动机的应用.....130
5.2.4 数控机床 PLC 信号的种类与接口 地址..... 91	6.3 直流伺服驱动系统.....131
5.2.5 M、S、T 功能的实现..... 92	6.3.1 SCR 速度控制系统.....131
5.2.6 安全互锁..... 94	6.3.2 PWM 速度控制系统.....132
5.3 数控机床 PLC 系统的设计及调试..... 95	6.4 交流伺服驱动系统.....135
5.3.1 可编程序控制器系统设计的要求... 95	6.4.1 交流伺服系统的特点.....136
	6.4.2 模拟式交流伺服控制系统.....137
	6.4.3 数字式交流伺服系统.....138
	复习与思考题.....141

<b>第7章 主轴伺服驱动系统</b> .....	142	复习与思考题.....	159
7.1 直流主轴驱动系统.....	142	<b>第8章 位置检测装置</b> .....	160
7.1.1 直流主轴驱动系统的特点与构成.....	142	8.1 位置检测装置的要求和分类.....	160
7.1.2 交流主轴驱动系统.....	143	8.1.1 对检测装置的要求.....	160
7.1.3 主轴定向准停的控制.....	145	8.1.2 检测装置的类型.....	161
7.2 主轴变频驱动系统.....	146	8.2 位置检测装置简介.....	163
7.2.1 变频器定义及工作原理.....	146	8.2.1 旋转变压器.....	163
7.2.2 主轴变频器选用.....	151	8.2.2 感应同步器.....	166
7.2.3 西门子6SC650系列交流主轴驱动装置.....	152	8.2.3 脉冲编码器.....	176
7.2.4 三菱FR-A500系列变频器简介.....	155	8.2.4 光栅.....	181
7.2.5 变频器调试与参数的设定.....	158	8.2.5 磁栅.....	185
		复习与思考题.....	189
<b>下篇 数控机床的机械结构</b>			
<b>第9章 数控机床的主体结构</b> .....	192	9.5.4 自动换刀数控卧式镗铣床(加工中心)的总布局.....	218
9.1 数控机床的特点.....	192	9.5.5 机床的使用要求与总布局.....	219
9.1.1 数控机床的加工特点.....	192	9.5.6 数控机床总布局的其他趋向.....	220
9.1.2 数控机床的结构特点.....	193	复习与思考题.....	221
9.2 数控机床的结构要求.....	194	<b>第10章 数控机床的主传动系统</b> .....	222
9.2.1 较高的结构刚度.....	194	10.1 主传动系统的要求与特点.....	222
9.2.2 良好的抗振性能.....	199	10.1.1 对主传动系统的要求.....	222
9.2.3 低速进给运动的平稳性和运动精度.....	201	10.1.2 主传动变速的配置.....	223
9.2.4 减小机床的热变形.....	202	10.2 主轴部件结构.....	226
9.3 床身.....	203	10.2.1 主轴本体.....	227
9.3.1 床身结构.....	203	10.2.2 主轴部件的支承.....	228
9.3.2 床身截面形状.....	204	10.2.3 刀具自动夹紧和吹屑装置.....	230
9.3.3 床身的刚度.....	205	10.2.4 主轴的润滑与密封.....	231
9.4 导轨副.....	206	10.2.5 主轴的定向准停装置.....	234
9.4.1 数控机床对导轨的要求.....	206	10.3 典型机床主轴的结构.....	239
9.4.2 数控机床上导轨的种类.....	207	10.3.1 数控车床的主轴部件.....	239
9.5 数控机床的总体布局.....	212	10.3.2 自动换刀数控铣床的主轴部件.....	240
9.5.1 总布局与工件形状、尺寸和质量的关系.....	213	复习与思考题.....	243
9.5.2 运动分配与部件的布局.....	214	<b>第11章 数控机床的进给系统</b> .....	244
9.5.3 总体布局与机床结构性能.....	216	11.1 对进给系统的要求.....	244

11.2 电动机与丝杠的传动	246	12.1.3 多齿盘分度工作台	282
11.2.1 齿轮传动	246	12.1.4 带有交换托盘的分度工作台	284
11.2.2 齿轮传动结构间隙的消除	247	12.2 数控回转工作台	286
11.2.3 联轴器传动	250	12.2.1 开环数控工作台	286
11.3 滚珠丝杠螺母副	254	12.2.2 闭环数控工作台	288
11.3.1 滚动螺旋副的工作原理与特点	254	12.2.3 双导程蜗杆传动分度工作台	288
11.3.2 滚珠的循环方式	255	12.3 刀架换刀装置	290
11.3.3 滚珠丝杠的选定	256	12.3.1 自动换刀装置的形式	291
11.3.4 滚珠丝杠的支承结构	259	12.3.2 回转刀架换刀装置	291
11.3.5 滚珠丝杠的制动	264	12.3.3 多主轴转塔头换刀装置	295
11.3.6 滚珠丝杠副的防护及润滑	265	12.3.4 排刀式刀架	296
11.4 静压丝杠螺母副	265	12.4 刀库自动换刀系统	297
11.4.1 工作特点和原理	265	12.4.1 刀库的形式	298
11.4.2 静压丝杠副的结构	267	12.4.2 刀具选择形式	303
11.4.3 控制方式	267	12.4.3 刀具交换装置	305
11.5 双导程蜗杆蜗轮副	268	12.4.4 机械手结构原理	307
11.5.1 双导程蜗杆蜗轮副的特点	268	12.4.5 动力刀具的结构	311
11.5.2 双导程蜗杆的工作原理	269	复习与思考题	312
11.5.3 双导程蜗轮副的间隙调整结构	270	<b>第13章 其他辅助装置</b>	313
11.5.4 双导程渐开线蜗杆齿轮传动	270	13.1 一般辅助机构	313
11.6 静压蜗杆蜗条副	270	13.1.1 润滑系统	313
11.6.1 工作原理	271	13.1.2 冷却系统	313
11.6.2 特点	271	13.1.3 排屑装置	314
11.6.3 材料	272	13.1.4 过载保护、超程限位和回机床 参考点装置	315
11.6.4 传动方案	272	13.2 数控机床液压系统	316
11.7 直线电动机驱动	273	13.2.1 液压系统的组成	316
11.7.1 直线电动机的工作原理	274	13.2.2 数控机床上典型的液压回路 分析	318
11.7.2 直线电动机的分类	275	13.3 数控机床上典型气压回路 的分析	327
11.7.3 结构与工作方式	276	13.3.1 H400型卧式加工中心 气动系统	327
复习与思考题	278	13.3.2 数控车床用真空卡盘	331
<b>第12章 工作台与自动换刀装置</b>	279	13.3.3 数控加工中心气动换刀 系统	332
12.1 分度工作台	279	复习与思考题	333
12.1.1 插销定位的分度工作台	279		
12.1.2 齿盘定位的分度工作台	280		



# 上篇

## | 数控机床控制技术 |

数控机床(Numerically Controlled Machine Tool)简称数控机, 它是采用了数控技术的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。国际信息业的发展, International Federation of Production Engineering (IFPE) 国际生产工程协会的定义如下: 数控机床是一个装备了计算机数控系统的机床。数控机床的发展历史最早可以追溯到 20 世纪 40 年代, 当时, 美国海军为了加工高精度的零件, 采用了数控技术。

数控机床(Numerical Control, NC), 是利用数字化的方法对机床的运动进行控制的一种方法。由于数控机床采用了计算机技术, 因此, 也可以称为计算机数控(Computer Numerical Control, CNC)。

数控机床的组成如下: 数控机床的组成包括: 数控系统、机床、刀具、工件、冷却液、润滑油等。数控系统的核心是数控装置(Numerical Control Unit, NCU), 它是系统的核心, 负责接收来自计算机的指令, 并将其转换为机床的运动指令。

数控机床的组成包括: 数控系统、机床、刀具、工件、冷却液、润滑油等。数控系统的核心是数控装置(Numerical Control Unit, NCU), 它是系统的核心, 负责接收来自计算机的指令, 并将其转换为机床的运动指令。

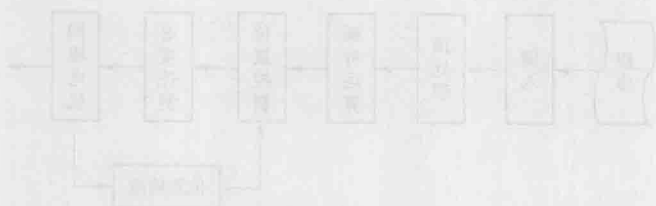


图 1-1 数控机床组成示意图

数控机床的组成包括: 数控系统、机床、刀具、工件、冷却液、润滑油等。数控系统的核心是数控装置(Numerical Control Unit, NCU), 它是系统的核心, 负责接收来自计算机的指令, 并将其转换为机床的运动指令。

# 第1章

## 数控机床组成及 数字控制原理

数字控制机床 (Numerically Controlled Machine Tool) 简称数控机床, 就是采用了数控技术的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。国际信息处理联盟 (International Federation of Information Processing, IFIP) 第五技术委员会对数控机床定义如下: 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号码或其他符号编码指令规定的程序。

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。

数控技术, 简称数控 (Numerical Control, NC), 是利用数字化信息对机械运动及加工过程进行控制的一种方法。由于现代数控都采用了计算机进行控制, 因此, 也可以称为计算数控 (Computerized Numerical Control, CNC)。

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), 数控系统的核心是数控装置 (Numerical Controller)。

数控装置是一种控制系统, 它自动阅读输入载体上预先给定的数字值, 并对其译码、运算, 并依据此而控制刀具与工件相对运动, 加工出所需要的零件。数控装置工作原理如图 1-1 所示。

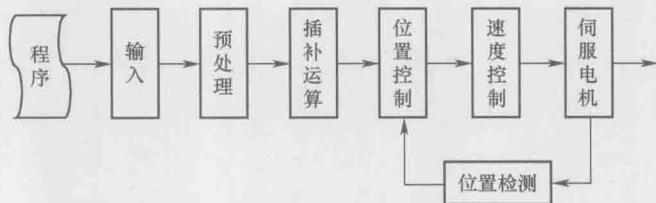


图1-1 数控装置工作原理

金属切削机床加工零件, 是操作者依据工程图样的要求, 不断改变刀具与工件之间相对运动的参数 (位置、速度等), 使刀具对工件进行切削加工, 最终得到所需要的合格零件。机床数字控制的

核心问题,是如何控制刀具或工作台正确运动从而加工出合格的产品。

## 1.1

# 数控机床的组成及分类

数控机床是以数控系统为代表的新技术对传统机械制造产业的渗透形成的机电一体化产品,其技术范围覆盖机械制造、信息处理、自动控制及软件技术等。计算机对传统机械制造产业的渗透,完全改变了制造业。制造业不但成为工业化的象征,而且由于信息技术的渗透,使制造业犹如朝阳产业具有广阔的发展天地。

### 1.1.1 数控机床的控制技术

数控机床是一种综合应用了微电子技术、计算机技术、自动控制、精密测量和机床结构等方面的最新成就而发展起来的高效自动化精密机床,是一种典型机电一体化产品。它集高效率、高精度和高柔性于一身,代表了机床的主要发展方向。它是机械加工自动化的核心设备。

数控机床种类繁多,有钻铣镗床类、车削类、磨削类、电加工类、锻压类、激光加工类和其他特殊用途的专用数控机床等,凡是采用了数控技术进行控制的机床统称 NC 机床。

带有自动刀具交换装置(Automatic Tool Change, ATC)的数控机床(带有回转刀架的数控车床除外)称为加工中心(Machine Center, MC)。它通过刀具的自动交换,可以一次装夹完成多工序的加工,实现了工序的集中和工艺的复合,从而缩短了辅助加工时间,提高了机床的效率;减少了零件安装、定位次数,提高了加工精度。加工中心是目前数控机床中产量最大、应用最广的数控机床。

在加工中心的基础上,通过增加多工作台(托盘)自动交换装置(Auto Pallet Changer, APC)以及其他相关装置,组成的加工单元称为柔性加工单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC)。FMC 不仅实现了工序的集中和工艺的复合,而且通过工作台(托盘)的自动交换和较完善的自动检测、监控功能,可以进行一定时间的无人化加工,从而进一步提高了设备的加工效率。FMC 既是柔性制造系统的基础,又可以作为独立的自动化加工设备使用,因此其发展速度较快。

在 FMC 和加工中心的基础上,通过增加物流系统、工业机器人以及相关设备,并由中央控制系统进行集中、统一控制和管理,这样的制造系统称为柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)。FMS 不仅可以进行长时间的无人化加工,而且可以实现多品种零件的全部加工或部件装配,实现了车间制造过程的自动化,它是一种高度自动化的先进制造系统。

随着科学技术的发展,为了适应市场需求多变的形势,对现代制造业来说,不仅需要发展车间制造过程的自动化,而且要实现从市场预测、生产决策、产品设计、产品制造直到产品销售的全面自动化。将这些要求综合,构成的完整的生产制造系统,称为计算机集成制造系统(Computer

Integrated Manufacturing System, CIMS)。CIMS 将一个工厂的生产、经营活动进行了有机的集成, 实现了更高效益、更高柔性的智能化生产, 是当今自动化制造技术发展的最高阶段。

## 1.1.2 数控机床组成

数控机床是最典型的数控设备。为了了解数控机床的基本组成, 首先需要分析数控机床加工零件的工作过程。

### 1. 数控机床加工零件的过程

在数控机床上, 为了进行零件的加工, 可以通过图 1-2 所示步骤进行。

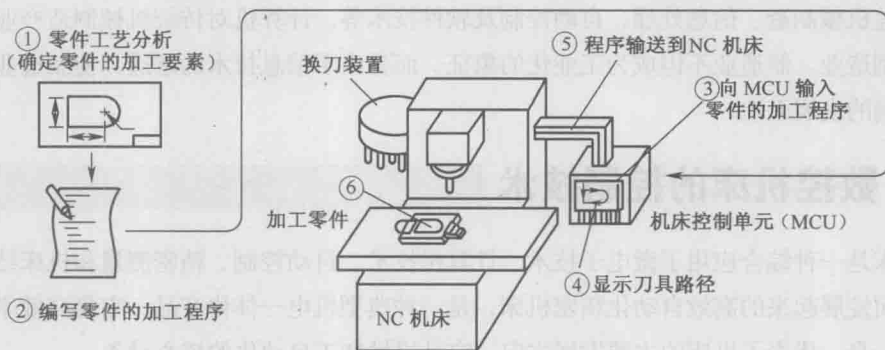


图1-2 数控加工过程示意图

(1) 根据零件加工图样进行工艺分析, 确定加工方案、工艺参数和位移数据。

(2) 用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单, 或用自动编程软件, 进行 CAD/CAM 工作, 直接生成零件的加工程序文件。

(3) 程序的输入或传输。由手工编写的程序, 可以通过数控机床的操作, 面板输入; 由编程软件生成的程序, 通过计算机的串行通信接口直接传输到数控机床的数控单元 (MCU)。

(4) 将输入/传输到数控单元的加工程序, 进行试运行、刀具路径模拟等。

(5) 通过对机床的正确操作, 运行程序, 完成零件的加工。

### 2. 数控机床的组成

由上述零件的工作过程可知, 作为数控机床的基本组成, 它应包括: 控制介质 (输入/输出设备)、数控装置、伺服驱动系统和测量反馈装置、辅助控制装置以及工作本体等部分 (见图 1-3)。

(1) 控制介质。数控设备工作时, 不需要操作者直接进行手工加工, 但设备必须按人的意图进行工作, 这就必须在人与设备间建立某种联系, 这种联系的中间媒介物称为控制介质。它也称为信息载体, 它可以是穿孔带、穿孔卡、磁带、软磁盘及存储卡等。加工时首先对产品零件图进行工艺分析, 确定加工方案, 工装选择与设计, 确立合理的程序原点 (对刀点)、走刀路线及切削用量。并根据编程计算获得零件轮廓相邻几何元素交点或切点的坐标值, 得出几何元素的起点、终点、圆弧的圆心坐标值等数控加工数据。之后用规定的程序代码和格式编写零件加工程序单并制成输入纸带、磁带或磁卡。

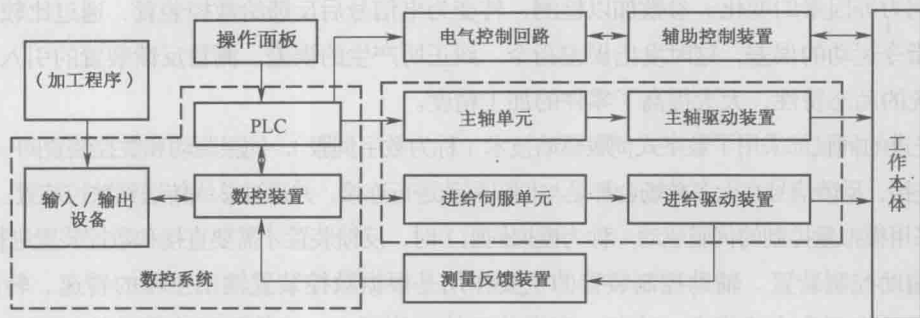


图1-3 数控机床的组成

(2) 数控装置。上述加工数据可通过光电阅读机、键盘或计算机接口等3种方式输入给数控机床。加工时可将程序一段一段地输入(即一边加工一边输入)。也可以先把程序全部输入,由数控系统中的存储器存储,等加工时再将程序一段一段调出。

无论哪种方式输入,都必须以一个程序段为单位,由系统程序及编译程序进行处理,不仅将刀位数据,而且将加工速度 $F$ 代码及其他辅助代码( $S$ 代码表示主轴转速, $T$ 代码表示刀具号及 $M$ 代码表示切削液等)均按语法规则进行解释成计算机所能认可的数据形式,并以一定的格式存放在内存专用区间。此外,对刀补(长度与半径补偿)作处理,对进给速度(合成速度分解成沿各坐标的分速度以及自动增减速等)作处理。再完成加工中的插补运算(由主CPU担任),数据由存储区间调入时依靠控制总线通过地址总线取址并将数据沿数据总线输入CPU运算,结果仍沿总线返回,分别送至相关输出接口。

输出信号也要通过一系列电路处理(分配、中断和缓冲),才能使伺服电动机进给,主轴按转速回转或停止,CRT显示执行程序执行过程及位置环与速度环的反馈信号往返经总线由CPU进一步随机处理并获得输出。全部过程均在时钟频率的统一速率下,有条不紊地进行工作。

数控装置是数控设备的核心,它接受输入装置送来的脉冲信号,经过数控装置的控制软件和逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理,然后将各种信息指令输出给伺服系统,使设备各部分进行规定的、有序的动作。

(3) 伺服驱动系统。伺服驱动系统包括伺服驱动电路和伺服驱动元件,它们与工作本体上的机械部件组成数控设备的进给系统。其作用是把数控装置发来的速度和位移指令(脉冲信号)转换成执行部件的进给速度、方向和位移。每个作进给运动的执行部件,都配有一套伺服驱动系统。而相对于每一个脉冲信号,执行部件都有一个相应的位移量,称为最小设定单位,又称为脉冲当量,其值越小,加工精度越高。数控装置可以以足够高的速度和精度进行计算并发出足够小的脉冲信号,关键在于伺服系统能从多高的速度与精度去响应执行,所以整个系统的精度与速度主要取决于伺服系统。

在伺服系统中,伺服驱动电路要把数控装置发出的微弱电信号(5V左右,mA级)放大成强电的驱动电信号(几十、上百伏,A级)去驱动执行元件——伺服电动机。伺服系统的执行元件主要有功率步进电动机、电液脉冲马达、直流伺服电动机和交流伺服电动机等,其作用是将电控制信号的变化,转换成电动机输出轴的角速度和角位移的变化,从而带动机械本体的机械部件作进给运动。

(4) 测量反馈装置。测量反馈装置是将运动部件的实际位移、速度及当前的环境(温度、振动、

摩擦和切削力等因素的变化)参数加以检测,转变为电信号后反馈给数控装置,通过比较,得出实际运动与指令运动的误差,这时发出误差指令,纠正所产生的误差。测量反馈装置的引入,有效地改善了系统的动态特性,大大提高了零件的加工精度。

由于先进的伺服都采用了数字式伺服驱动技术(称为数字伺服),伺服驱动和数控装置间一般都采用总线进行连接,反馈信号在大多数场合都是与伺服驱动进行连接,并通过总线传送到数控装置。只有在少数场合或采用模拟量控制的伺服驱动(称为模拟伺服)时,反馈装置才需要直接和数控装置进行连接。

(5) 辅助控制装置。辅助控制装置的主要作用是根据数控装置输出主轴的转速、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,工件和机床部件的松开、夹紧,工作台转位等辅助指令所提供的信号,以及机床上检测开关的状态等信号,经过必要的编译和逻辑运算,放大后驱动相应的执行元件,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,它通常由 PLC 和电气控制回路构成,PLC 在结构上可以与 CNC 一体化(内置式的 PLC),也可以是相对独立(外置式的 PLC)。

(6) 工作本体。数控系统的工作本体是加工运动的实际执行部件。它与传统的机床基本相同,也是由主运动部件、进给运动执行部件、工作台、拖板及其部件和床身立柱等支撑部件,此外还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置,存放刀具的刀架、刀库及交换刀具的自动换刀机构等。但为了满足数控的要求,充分发挥机床性能,它在总体布局、外观造型、传动系统结构、刀具系统以及操作性能方面都已经发生很大的变化。机床本体在结构有下面几个特点。

- ① 由于采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置,简化了数控机床的机械传动结构,传动链较短。
- ② 数控机床的机械结构具有较高的动态特性,动态刚度、阻尼精度、耐磨性以及抗热变形性能,适应连续自动化加工。
- ③ 较多的采用高效传动件,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨、静压导轨等。此外,为保证数控机床功能的充分发挥,还有一些配套部件(如冷却、排屑、防护、润滑、照明、储运等一系列装置)和附属设备(程编机和对刀仪等)。

### 1.1.3 数控机床的分类

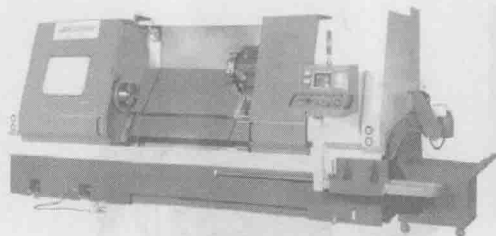
目前,数控机床品种齐全,规格繁多,为了便于了解和研究,可从不同角度和按照多种原则进行分类。

#### 1. 按工艺用途分类

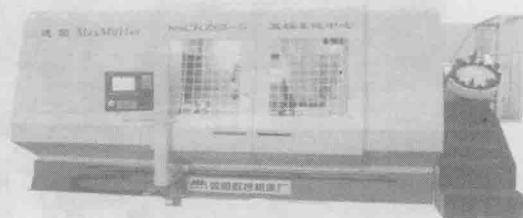
(1) 金属切削类数控机床。如改控车床、数控铣床、加工中心等,如图 1-4 所示。

这类机床和传统的通用机床品种一样,有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床以及加工中心等。数控加工中心目前主要有两类:一类是在镗、铣床基础上发展起来的,称为铣削加工中心;另一类是在车床基础上发展起来的,称为车削加工中心,图 1-4(a)~图 1-4(f)所示为数控车床、数控铣床、车铣复合中心、铣削加工中心。

(2) 金属成型类数控机床。如数控折弯机、数控弯管机、数控回转头压力机等,如图 1-5 所示。



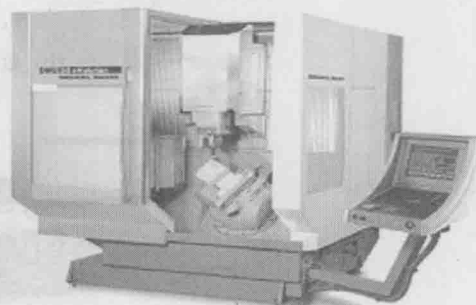
(a) 数控车床



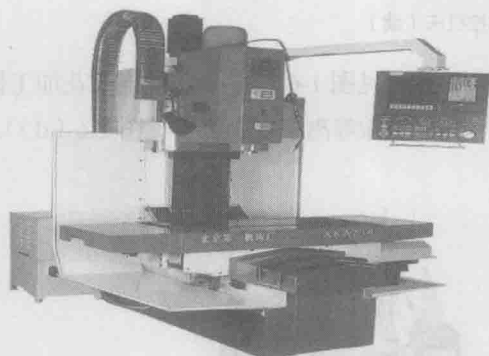
(b) 车铣复合中心



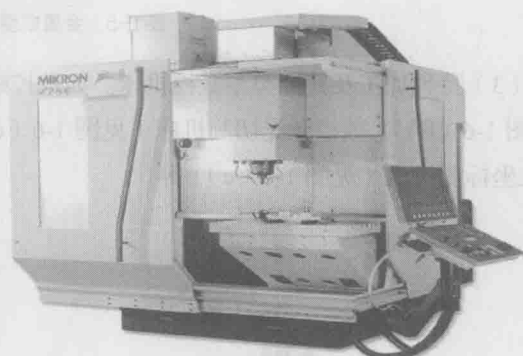
(c) 全功能数控铣床



(d) 高速数控铣床

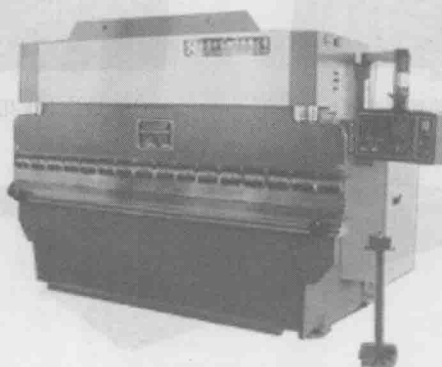


(e) 立式数控铣床



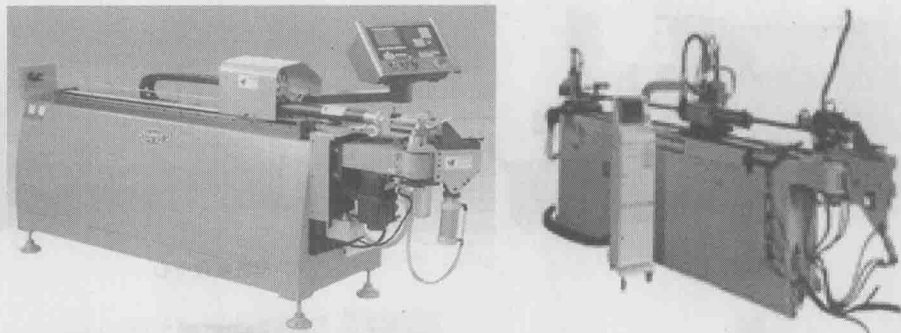
(f) 立式加工中心

图1-4 金属切削类的数控机床

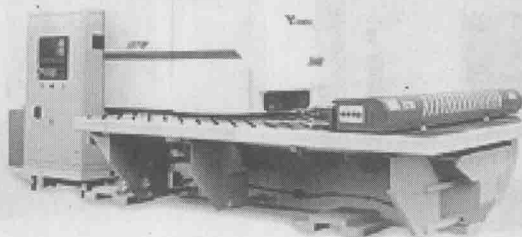


(a) 数控液压板料折弯机

图1-5 金属成型类数控机床



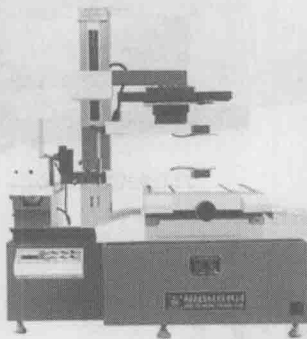
(b) 数控弯管机



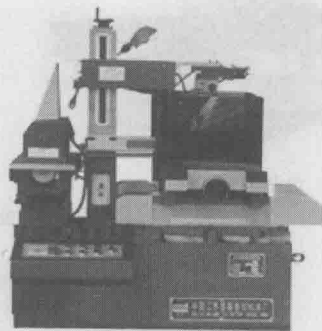
(c) 数控冲模回转头压力机

图1-5 金属成型类数控机床(续)

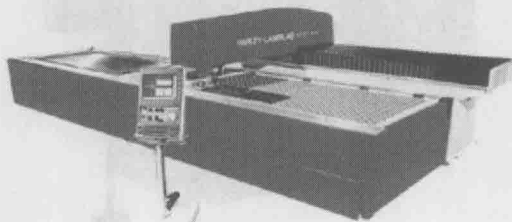
(3) 特种加工及其他类型数控机床。如数控线切割机床(见图1-6(a))、数控电火花加工机床(见图1-6(b))、数控激光切割机床(见图1-6(c))、数控火焰/等离子切割机(见图1-6(d))、数控三坐标测量机(见图1-6(e))等。



(a) 数控线切割机床



(b) 数控电火花线切割机床



(c) 数控激光切割机

图1-6 特种加工及其他类型数控机床





(d) 数控火焰/等离子切割机



(e) 数控三坐标测量机



(f) 柔性三坐标测量臂

图1-6 特种加工及其他类型数控机床(续)

## 2. 按数控系统的特征进行分类

(1) 点位控制的数控机床。数控机床点位控制 (Positioning Control) 又称点对点控制 (Point to Point Control)。这类数控机床的数控装置只要求精确地控制一个坐标点到另一坐标点的定位精度, 如图 1-7 所示, 而不管从一点到另一点是按照什么轨迹运动。在移动过程中不进行任何加工。对孔加工的数控机床, 由于仅要求获得精确的孔系坐标定位精度, 而无需考虑由一个孔至另一孔是按照什么轨迹运动的, 那么这类机床的数控系统就可采用点位检测系统。这种系统结构比较简单、价格低廉。为了精确定位和提高生产率, 首先系统高速运行, 然后进行 1~3 级减速, 使之慢速趋近定位点, 减小定位误差。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲剪床和数控测量机等。使用数控钻镗加工零件可以省去钻模、镗模等工装, 又能保证加工精度。

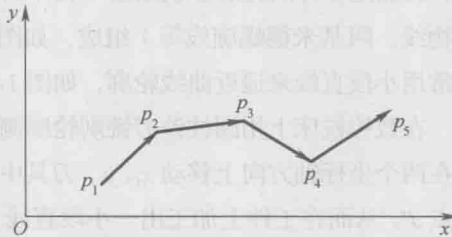


图1-7 数控机床的点位加工

(2) 直线控制数控机床。这类机床不仅要求具有准确的定位功能, 而且要求从某一坐标点至另一坐标点的直线运动, 同时进给启动后要求能够控制位移速度。直线控制数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度, 沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工, 进给速度根据切削条件可在一定范围内调变。

直线控制的简易数控车床, 只有两个坐标轴, 可用于加工台阶轴。直线控制的数控铣床, 有三个坐标轴, 可用于平面的铣削加工。现代组合机床采用数控进给伺服系统, 驱动动力头带着多轴箱