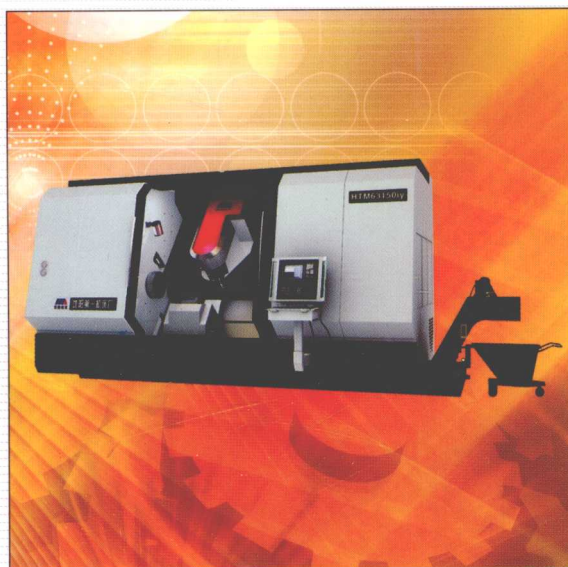


普通高等教育“十一五”规划教材

面向应用型人才培养

# 数控原理与数控机床

刘坚 夏罗生 主编



普通高等教育“十一五”规划教材  
面向应用型人才培养

# 数控原理与数控机床

刘坚 夏罗生 主编

国防工业出版社

·北京·

## 内 容 简 介

本书反映了近几年来高等职业教育课程改革的经验;符合经济发展、科技进步和生产实际对教学内容提出的新要求;注意反映生产实际中的新知识、新技术、新工艺和新方法;突出了职业教育特色,紧密联系生产实际,具有广泛的实用性。全书共7章,主要介绍了数控机床概述、数控机床的插补原理、计算机数控(CNC)系统、位置检测装置、数控机床的伺服系统、数控机床的典型机械结构、常用数控机床等内容,各章后均附有思考题与习题。书中采用了新国标规定的名词术语,较系统地介绍了数控机床的工作原理,以及数控系统的基本知识。

本书可作为高等职业院校相关专业和应用型本科相关专业教材,也可供从事数控加工工作的工程技术人员参考,或作为工厂数控机床操作工人的自学教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控原理与数控机床/刘坚,夏罗生主编. —北京:国防工业出版社,2009.8

普通高等教育“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-06391-2

I. 数... II. ①刘...②夏... III. 数控机床—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 090349 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

鑫马印刷厂印刷

新华书店经售

\*

开本 787×1092 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$  字数 358 千字

2009 年 8 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 27.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

# 《数控原理与数控机床》 编委会

主 编 刘 坚 夏罗生

副主编 刘 清

参 编 程 璋 潘 冬 王 萍

欧阳海菲

主 审 刘让贤

# 前 言

本书是高等职业技术教育“数控技术”专业的适用教材,是根据国防工业出版社召开的高等职业技术教育“数控技术”专业教学研讨会和教材编写研讨会的精神编写的。除供高等职业技术学院、业余职工大学等相关专业选用外,也可供从事数控加工工作的工程技术人员参考,或作为工厂数控机床操作工人的自学教材。

本书根据数控技术的迅速发展对人才素质的需要而确立课程的教学内容,体现了以创新意识和实践能力为重点的教育教学指导思想。在书中渗透当代科学思维,反映了数控技术发展对数控技术应用型人才素质的要求。

本书在调查研究的基础上,总结近几年来高等职业技术教育课程改革的经验,适应经济发展、科技进步和生产实际对教学内容提出的新要求,注意反映生产实际中的新知识、新技术、新工艺和新方法;突出了高等职业教育特色,紧密联系生产实际,注重基本理论、基本知识和基本技能的叙述;编写了形式多样的例题、思考题与习题,方便教学,具有广泛的实用性。

全书共7章,分别介绍了数控机床概述、数控机床的插补原理、计算机数控(CNC)系统、位置检测装置、数控机床的伺服系统、数控机床的典型机械结构、常用数控机床等内容。

本书第1章由陕西国防工业职业技术学院潘冬编写,第2章由张家界航空工业职业技术学院刘坚和欧阳海菲编写,第3章由张家界航空工业职业技术学院夏罗生编写,第4章由陕西工业职业技术学院王萍编写,第5章由陕西工业职业技术学院刘清编写,第6章由张家界航空工业职业技术学院刘坚编写,第7章由中国航空工业集团公司株洲南方航空工业公司研究员级高级工程师程璋和张家界航空工业职业技术学院刘坚编写。本书由刘坚、夏罗生任主编,刘清任副主编,刘坚统稿。

本书由张家界航空工业职业技术学院刘让贤副教授主审。此外,湖南工业大学熊显文教授、张家界航空工业职业技术学院胡细东副教授、湖南工业职业技术学院王雪红副教授等对书稿提出了许多宝贵的意见,在此谨向他们表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,经验不足,书中的缺点和错误在所难免,恳请读者批评指正。

编者

# 目 录

<b>第 1 章 数控机床概述</b> .....	1
1.1 机床数控技术的发展 .....	1
1.1.1 数控技术的发展历史 .....	1
1.1.2 数控机床加工的特点 .....	1
1.1.3 数控机床的工作原理 .....	2
1.1.4 国内外数控技术发展现状和趋势 .....	3
1.2 数控机床的组成、分类及主要性能指标.....	5
1.2.1 数控机床的组成 .....	5
1.2.2 数控机床的分类 .....	6
1.2.3 数控机床的主要性能指标 .....	9
1.3 数控机床坐标系和运动方向的规定.....	11
1.3.1 标准的坐标系和运动方向.....	11
1.3.2 绝对坐标系与增量(相对)坐标系.....	13
1.3.3 坐标系的原点.....	14
思考题与习题 .....	15
<b>第 2 章 数控机床的插补原理</b> .....	16
2.1 概述.....	16
2.1.1 插补的基本概念.....	16
2.1.2 对插补器的基本要求和插补方法的分类.....	16
2.2 基准脉冲插补.....	17
2.2.1 逐点比较法.....	17
2.2.2 数字积分法.....	24
2.3 数据采样插补.....	31
2.3.1 概述.....	31
2.3.2 数据采样插补法的基本原理.....	31
2.3.3 数据采样法直线插补.....	32
2.3.4 数据采样法圆弧插补.....	33
2.4 3 坐标联动直线和螺旋线插补原理 .....	37
2.4.1 3 坐标联动直线插补原理 .....	37
2.4.2 螺旋线插补原理.....	38

思考题与习题 .....	39
<b>第3章 计算机数控系统 .....</b>	<b>41</b>
3.1 计算机数控系统概述.....	41
3.1.1 计算机数控系统的组成和作用.....	41
3.1.2 CNC装置的工作过程 .....	42
3.1.3 CNC装置的功能 .....	42
3.2 计算机数控系统的硬件.....	44
3.2.1 计算机数控系统硬件概述.....	44
3.2.2 数控装置硬件结构类型.....	45
3.3 计算机数控系统的软件.....	51
3.3.1 计算机数控系统的软件界面.....	51
3.3.2 CNC系统软件的结构与特点 .....	52
3.4 数控加工信息的输入及数据处理.....	55
3.4.1 数控加工信息的输入.....	55
3.4.2 数控加工信息的译码与诊断.....	57
3.4.3 其他预处理.....	62
3.5 刀具补偿.....	65
3.5.1 刀具位置补偿.....	66
3.5.2 刀具长度补偿.....	66
3.5.3 刀具半径补偿.....	67
3.6 误差补偿.....	72
3.6.1 误差补偿概述.....	72
3.6.2 齿隙补偿.....	74
3.6.3 螺距补偿.....	74
3.7 计算机数控系统的输入/输出与通信功能 .....	77
3.7.1 计算机数控系统的输入/输出接口电路 .....	77
3.7.2 数控系统常用串行通信接口标准.....	78
3.7.3 DNC通信接口技术 .....	80
3.7.4 数控系统网络通信接口.....	80
3.8 数控系统中的可编程序控制器.....	81
3.8.1 PLC的组成与特点 .....	81
3.8.2 PLC的工作过程 .....	83
3.8.3 PLC在数控系统中的应用 .....	85
3.8.4 典型PLC的指令系统简介 .....	87
3.8.5 数控机床中PLC应用实例 .....	93
3.9 典型数控系统简介.....	95
3.9.1 日本FANUC系列数控系统.....	95
3.9.2 SIEMENS公司的SINUMERIK系列数控系统.....	97

3.9.3 华中数控系统	99
思考题与习题	100
<b>第4章 位置检测装置</b>	<b>102</b>
4.1 概述	102
4.1.1 对检测装置的要求	102
4.1.2 检测装置的分类	102
4.2 旋转变压器	103
4.2.1 旋转变压器的结构	103
4.2.2 旋转变压器的工作原理	103
4.2.3 旋转变压器的应用	104
4.3 感应同步器	105
4.3.1 感应同步器的结构和工作原理	105
4.3.2 感应同步器的工作方式	106
4.3.3 感应同步器的应用	108
4.4 脉冲编码器	110
4.4.1 光电脉冲编码器的结构与工作原理	110
4.4.2 光电式脉冲编码器的分类	112
4.5 光栅	115
4.5.1 光栅的结构	116
4.5.2 光栅的工作原理	116
4.5.3 光栅位移—数字变换电路	118
4.6 磁栅	119
4.6.1 磁栅的组成	120
4.6.2 磁尺的工作原理	123
4.7 激光在数控机床位置检测上的应用	124
4.7.1 多普勒效应	124
4.7.2 激光干涉法测距	124
4.7.3 双频激光干涉仪基本原理	124
思考题与习题	125
<b>第5章 数控机床的伺服系统</b>	<b>126</b>
5.1 概述	126
5.1.1 伺服系统的概念	126
5.1.2 伺服系统的组成和工作原理	126
5.1.3 对伺服系统的基本要求	127
5.1.4 伺服系统的分类	127
5.2 速度控制	129
5.2.1 进给运动的速度控制	129



5.2.2	主轴驱动的速度控制 .....	144
5.3	位置控制 .....	147
5.3.1	开环控制系统 .....	148
5.3.2	相位比较伺服系统 .....	158
5.3.3	幅值比较伺服系统 .....	162
5.3.4	数字、脉冲比较伺服系统 .....	165
5.3.5	全数字控制伺服系统的概述 .....	167
	思考题与习题 .....	169
<b>第 6 章</b>	<b>数控机床的典型机械结构 .....</b>	<b>171</b>
6.1	数控机床机械结构的组成和特点 .....	171
6.1.1	数控机床机械结构的组成 .....	171
6.1.2	数控机床机械结构的特点 .....	171
6.2	数控机床的主传动系统及主轴组件 .....	173
6.2.1	主轴传动方式 .....	173
6.2.2	主轴轴承的类型 .....	174
6.2.3	主轴轴承的配置形式 .....	175
6.2.4	主轴组件 .....	176
6.2.5	主轴准停装置 .....	176
6.2.6	电主轴单元 .....	180
6.3	进给传动系统及主要部件结构 .....	182
6.3.1	数控机床对进给传动系统的要求 .....	182
6.3.2	滚珠丝杠螺母结构 .....	183
6.3.3	齿轮传动间隙消除装置结构 .....	186
6.4	机床导轨 .....	190
6.4.1	对导轨的基本要求 .....	190
6.4.2	滑动导轨 .....	190
6.4.3	滚动导轨 .....	191
6.4.4	静压导轨 .....	193
6.5	常用辅助装置 .....	194
6.5.1	排屑装置 .....	194
6.5.2	回转工作台 .....	196
6.5.3	对刀仪 .....	199
	思考题与习题 .....	202
<b>第 7 章</b>	<b>常用数控机床 .....</b>	<b>203</b>
7.1	数控车床 .....	203
7.1.1	数控车床的主要加工对象和分类 .....	203
7.1.2	数控车床的组成 .....	205

7.1.3 数控车床的布局 .....	205
7.1.4 数控车床的机械结构 .....	208
7.2 数控铣床 .....	218
7.2.1 数控铣床的主要加工对象和分类 .....	218
7.2.2 数控铣床的组成与布局 .....	221
7.2.3 数控铣床的机械结构 .....	223
7.3 加工中心 .....	227
7.3.1 加工中心的主要加工对象和分类 .....	227
7.3.2 加工中心的布局 .....	231
7.3.3 加工中心的机械结构 .....	232
思考题与习题 .....	239
<b>参考文献</b> .....	<b>241</b>

# 第 1 章 数控机床概述

## 1.1 机床数控技术的发展

### 1.1.1 数控技术的发展历史

#### 1. 数控机床的产生

随着生产和科学技术的发展,机械产品日趋精密、复杂,而且改型频繁,因此对加工机械产品的机床提出了新的要求,即高性能、高精度和高自动化。在机械产品中单件和小批量产品占到 70%~80%。

1948 年,美国帕森斯公司接受美国空军委托,研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样,精度要求高,一般加工设备难以适应,于是提出计算机控制机床的设想。1949 年,该公司和麻省理工学院开始研制数控机床,于 1952 年试制成了世界上第一台三坐标数控铣床。

#### 2. 数控机床的发展史

1952 年,第一台数控机床问世后,随着微电子技术、控制技术、通信技术的不断发展,数控系统也在不断地更新换代,先后经历了电子管(1952 年)、晶体管(1959 年)、集成电路(1965 年)、小型计算机(1970 年)、微处理器(1974 年)和基于工控 PC 机的通用型 CNC 系统(1990 年)六代。其中前三代为第一阶段,称为硬件直接数控,简称为 NC 系统阶段,后三代为第二阶段,称为计算机软件数控系统,简称为 CNC 系统阶段。我国从 1958 年由清华大学和北京机床研究所研制了第一台数控机床以来,也同样经历了这六代数控系统。我国与世界上其他国家机床的发展情况对比如表 1-1 所列。

表 1-1 我国与世界其他国家机床的发展情况对比

数控系统发展的历史		世界上发达国家数控机床的发展史	我国数控机床的发展史
NC 阶段	第一代电子管数控系统	1952 年	1958 年
	第二代晶体管数控系统	1959 年	1964 年
	第三代集成电路数控系统	1965 年	1972 年
CNC 阶段	第四代小型计算机数控系统	1970 年	1978 年
	第五代微处理器数控系统	1974 年	1981 年
	第六代基于工控 PC 机的通用型 CNC 系统	1990 年	1992 年

### 1.1.2 数控机床加工的特点

数控机床的加工特点主要有以下几个方面。

### 1. 加工精度高、质量稳定

数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,脉冲当量普遍达到 0.001mm,且传动链之间的间隙得到了有效补偿。同时,数控机床的传动装置与床身结构具有很高的刚度和热稳定性,容易保证零件尺寸的一致性。因此,数控机床不仅具有较高的加工精度,而且质量稳定。

### 2. 生产效率高、经济效益好

数控机床加工零件粗加工时可以进行大切削用量的强力切削,移动部件的空行程时间短,工件装夹时间短,更换零件时几乎不需要调整机床,有效地缩短了加工时间。

### 3. 对加工对象的适应性强

数控机床改变加工零件时,只需改变加工程序,特别适合于单件、小批量、加工难度大和精度要求较高的零件的加工。

### 4. 自动化程度高、劳动强度低

数控机床加工是自动进行的,工件加工过程不需要人工干预,且自动化程度较高,大大降低了操作者的劳动强度。

### 5. 有利于现代化管理

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息,使用了计算机控制方法,为计算机辅助设计、制造及管理一体化奠定了基础。

### 6. 具有很强的通信功能

数控机床通常具有 RS-232 接口,有的还备有 DNC 接口,可与 CAD/CAM 软件的设计与制造相结合。高档机床还可与 MAP(制造自动化协议)相连,接入工厂的通信网络,适应于 FMS(柔性制造系统)、CIMS(计算机集成制造系统)的应用要求。

当然,数控机床在应用中也有以下不足之处。

- (1) 初期投资大。
- (2) 维护费用高。
- (3) 对操作者的技能水平及管理人員的素质要求较高。

因此,应合理地选择与使用数控机床,提高经济效益。

## 1.1.3 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理是:根据被加工零件图样进行工艺分析,编写加工程序,将加工程序输入数控装置中完成轨迹插补运算,控制机床执行机构的运动轨迹,加工出符合零件图要求的工件。

图 1-1 所示为数控机床的主要工作过程:加工程序编制,程序输入,轨迹插补运算,伺服系统控制和机床加工。

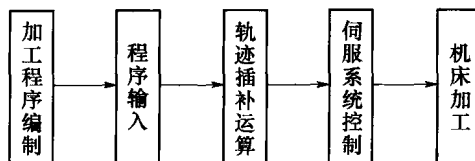


图 1-1 数控机床的主要工作过程

## 1. 加工程序编制

加工程序编制前,首先根据被加工零件图纸所规定的零件的形状、尺寸、材料及技术要求等,确定加工零件的工艺流程、工艺参数,然后用数控系统规定的代码和程序格式编写零件加工程序清单。

加工程序的编写方法通常有手工编程和自动编程两种方法,分别针对简单零件加工和复杂零件加工。

## 2. 程序输入

加工程序输入的方法根据数控机床输入装置的不同而有所不同。数控装置读入过程有两种方式:一种是一边读一边加工,为间歇式操作方法;另一种是将加工程序全部读入数控装置内部的存储器,加工时再从存储器中往外调用。

加工程序较短时,可用手动数据输入方式,即用键盘直接将程序输入到数控装置中。

## 3. 轨迹插补运算

加工程序输入到数控装置后,在控制软件的支持下,数控装置进行一系列处理和计算。运算结果以脉冲信号的形式输出到伺服系统中。

零件的形状由直线、圆弧或其他曲线组成,这就要求数控机床的刀具必须按零件的形状和尺寸的要求进行运动,即按图形轨迹运动。所谓轨迹插补,就是在线段的起点和终点的坐标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。

## 4. 伺服系统控制和机床加工

数控装置输出插补脉冲信号经过信号转换、功率放大,通过伺服电机和机械传动机构,使机床的执行部件带动刀具进行加工,加工出满足图纸要求的零件。

### 1.1.4 国内外数控技术发展现状和趋势

随着科学技术的发展,特别是微电子技术、计算机控制技术、通信技术的不断发展,世界先进制造技术的兴起和不断成熟,数控设备性能日趋完善,应用领域不断扩大,成为新一代设备发展的主流。而作为数控设备中的最典型代表——数控机床,已成为衡量一个国家工业化水平和综合实力的重要标志。

随着科学技术的发展,数控技术的发展有着广阔的空间,未来数控技术的发展趋势和研究方向主要有以下几个方面。

#### 1. 高精度化

高精度化一直都是数控机床加工所追求的指标。普通中等规格加工中心的定位精度已从 20 世纪 80 年代初期的  $\pm 12\mu\text{m}/300\text{mm}$ ,提高到 20 世纪 90 年代初期的  $\pm 2\mu\text{m}/\text{全程} \sim 5\mu\text{m}/\text{全程}$ 。如日本 KITAMURA 公司的 SONICMILL-2 型立式加工中心,主轴转速为  $20000\text{r}/\text{min}$ ,快进速度为  $24\text{m}/\text{min}$ ,其定位精度为  $\pm 3\mu\text{m}/\text{全程}$ 。美国 BOSTON DIGITAL 公司的 VECTOR 系列立式加工中心,主轴转速为  $10000\text{r}/\text{min}$ ,双向定位精度为  $2\mu\text{m}$ 。

提高数控机床的加工精度,一般是通过减少数控系统误差,提高数控机床基础部件结构特性和热稳定性,采用补偿技术和辅助措施来达到的。在减小 CNC 系统误差方面,通常采取提高数控系统分辨力,使 CNC 控制单元精细化,提高位置检测精度以及在位置伺

服系统中为改善伺服系统的响应特性,采用前馈与非线性控制等方法。在采用补偿技术方面,采用齿轮间隙补偿、丝杠螺母误差补偿及热变形误差补偿等技术。通过上述措施,近年来,机床的加工精度也有很大提高。普通级数控机床的加工精度已由原来的 $\pm 10\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\mu\text{m}$ ,精密级从 $\pm 5\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 1.5\mu\text{m}$ 。预计将来普通加工和精密加工精度还将提高数倍,而超精密加工已进入纳米时代。

## 2. 高可靠性

数控机床的可靠性是数控机床产品质量的一项关键性指标。数控机床能否发挥其高性能、高精度、高效率,并获得良好的效益,关键取决于它的可靠性。近些年来,已在数控机床产品中应用了可靠性技术,并获得了明显的进展。

衡量可靠性的重要量化指标是平均无故障时间(MTBF),作为数控机床的大脑——数控系统的 MTBF 值已经由 20 世纪 70 年代时的大于 3000h 提高到 20 世纪 90 年代初的大于 30000h。日本 FANUC 公司 CNC 系统 MTBF 值已达到 125 个月。

数控机床整机的可靠性水平也有显著提高,整机的 MTBF 值由 20 世纪 80 年代初的 100h~200h 提高到现在的 1000h 以上。

目前,很多企业正在对可靠性设计技术、可靠性试验技术、可靠性评价技术、可靠性增长技术以及可靠性管理与可靠性保证体系等进行深入研究和广泛应用,期望使数控机床整机可靠性提高到一个新的水平,增强市场的竞争能力。

## 3. 高柔性化

柔性是数控机床最主要的特点,也是在数控机床的各种发展趋势中,隐含在所有新技术中的主导思想。

柔性化是指机床适应加工对象变化的能力,传统的自动化生产线,由于是由机械或刚性连接和控制的,当被加工对象变化时,调整很困难,甚至是不可能的,有时只得全部更新、更换。数控机床的出现,开创了柔性自动化加工的新纪元,对于满足加工对象的变化,已具有很强的适应能力。目前,在进一步提高单机柔性化的同时,正努力向单元柔性化和系统柔性化的方向发展。体现系统柔性化的 FMC 和 FMS 发展迅速,美国 FMC 的安装平均增长率达到 72.85%,日本 FMC 的安装平均增长率达到 24.26%。1994 年初,世界各国已投入运行的 FMS 约有 3000 多个,其中日本拥有 2100 多个,占世界首位。在现已运行的 FMS 中,50%的 FMS 由美国制造商提供,另外 50%由日本和德国厂商提供。

近些年来,不仅中小批量的生产在努力提高柔性化能力,就是在大批量生产中,也积极向柔性化方面转向。如出现了 PLC 控制的可调组合机床、数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心、数控三坐标动力单元等具有柔性的高效加工中心和介于传统自动线与 FMS 之间的柔性自动线(FTL)。在 1988 年至 1992 年,日本组合机床和自动线(包括部分其他形式的专用机床)产量的数控化率已达 32%~39%;德国组合机床和自动线产量的数控化率为 18%~62%。这些数字表明,近十年来,组合机床的数控化发展是十分迅速的。

## 4. 复合化

复合化包括工序复合化和功能复合化。数控机床的发展也模糊了粗、精加工工序的概念。加工中心的出现,又把车、铣、镗、钻等工序集中到一台机床来完成,打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程。一台具有自动换刀装置、自动交换工作台和自动转换

立卧主轴头的镗铣加工中心,不仅一次装夹便可完成镗、铣、钻、铰、攻螺纹和检验等工序,而且还可以完成箱体件五个面粗、精加工的全部工序。

近年来,又相继出现了许多跨度更大、功能更集中的复合化数控机床。如美国 CIN-NATIMILACRON 公司的冲孔、成形与激光切割复合机床,WHITNEY 公司的等离子加工与冲压复合机床等。

### 5. 高速度化

提高生产率是数控机床技术发展追求的基本目标之一,而实现这个目标的最主要、最直接的方法就是提高切削速度和减少辅助时间。

提高主轴转速是提高切削速度的最有效方法。近十年来,主轴转速已翻了几番。20 世纪 80 年代中期,中等规格的加工中心主轴最高转速为 4000r/min~6000r/min,20 世纪 90 年代初期,提高到 8000r/min~12000r/min,目前,有的主轴最高转速已达到 100000r/min 以上。

减少辅助时间,主要体现在提高快速移动速度和缩短换刀时间与工作台交换时间上,目前,快速移动速度已由 10 年前的 8m/min~12m/min,提高到现在的 18m/min~24m/min,因而大大减少了辅助时间。

在缩短换刀时间和工作台交换时间方面也取得了较大进展。数控车床刀架的转位时间从过去的 1s~3s 减少到 0.4s~0.6s;加工中心由于刀库和换刀结构的改进,使换刀时间从 5s~10s 减少到 0.5s~3s;而工作台交换时间也由 12s~20s 减少到 6s~10s,有的达到 2.5s 以内。

### 6. 制造系统自动化

自 20 世纪 80 年代中期以来,以数控机床为主体的加工自动化已从“点”的自动化发展到“线”的自动化和“面”的自动化。在国外已出现 FA 和 CIM 工厂的雏形实体。尽管由于这种高自动化的技术还不够完备,投资过大,回收期较长,但数控机床的高自动化以及向 FMC、FMS 的系统集成方向发展的总趋势仍是机械制造业发展的主流。

制造系统的自动化除进一步提高其自动编程、自动换刀、自动上下料、自动加工等自动化程度外,在自动检测、自动监控、自动诊断、自动对刀、自动传输、自动调度、自动管理等方面也进一步得到发展,同时,也提高了其标准化的适应能力,达到“无人化”管理正常生产的目标。

## 1.2 数控机床的组成、分类及主要性能指标

### 1.2.1 数控机床的组成

如图 1-2 所示,数控机床的主要由输入/输出设备、数控装置、伺服系统、辅助控制装置、测量反馈装置和机床本体几部分组成。

#### 1. 输入/输出设备

输入/输出设备的主要作用是编制程序、输入数据和程序、输出显示及打印。这一部分的硬件有键盘、显示器、磁盘输入机、打印机等。高性能数控机床还包含自动编程机或 CAD/CAM 系统。

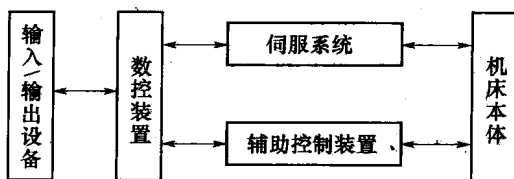


图 1-2 数控机床的主要结构

## 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它根据输入的数据和程序,完成包括数值计算、逻辑判断、轨迹插补等功能。数控装置一般由专用工业计算机及可编程控制器(可编程控制器主要完成机床辅助功能)组成。

## 3. 伺服系统

伺服系统包括伺服电机、伺服驱动控制系统、位置检测与反馈装置等。其主要功能是将数控装置产生的指令信号转化为机床执行机构的速度和位移。伺服电机可以是步进电机、直流伺服电机、交流伺服电机。位置检测与反馈装置的主要功能是将机床本体执行机构的速度和位置信号测量出来反馈到数控装置中。

## 4. 机床本体

机床本体是被控制的对象,是数控机床的主体,一般都需要对它进行位移、速度和各种开关量的控制。它与普通机床相比较,同样由主动机构、进给传动机构、工作台、床身以及立柱等部分组成,但数控机床的整体布局、外观造型传动机构、刀具系统及操作机构等方面都做了很大改进,具有良好的伺服性能。

## 5. 辅助控制装置

辅助控制装置主要包括自动换刀装置(ATC)、工件自动交换装置(APC)、自动排屑装置、冷却装置、工件装夹控制等部分。机床加工功能与类型不同,所包含的辅助控制装置部分也不同。

### 1.2.2 数控机床的分类

数控机床的品种规格繁多,一般可以用以下四种方法来分类。

#### 1. 按伺服控制方式分类

##### 1) 开环控制系统

开环控制系统框图如图 1-3 所示,系统由驱动电路、步进电机和机床工作台组成,这类伺服控制,没有检测反馈装置。其工作原理是:数控装置每发出一个进给脉冲,经驱动电路放大后,驱动步进电机转一个角度,再经过机械机构带动工作台移动。

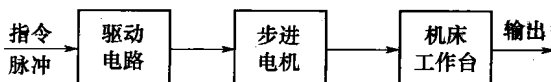


图 1-3 开环控制系统框图

开环控制系统的特点是结构简单、成本低,但由于步进电机的步距和机械结构都存在一定精度误差,不能实现高精度的位置控制。这类系统适用于中小型经济型数控机床。



## 2) 闭环控制系统

闭环控制系统框图如图 1-4 所示,系统由驱动电路、伺服电机、机床工作台、速度检测装置、位置检测装置和比较电路等组成。这类系统带有位置检测装置和速度检测装置,直接对工作台的实际位移量进行检测。伺服电机通常采用直流伺服电机或交流伺服电机,其工作原理是:速度检测元件将伺服电机的转速反馈回去,位置检测装置将工作台的位移反馈回去,在比较电路中指令值进行比较,用比较后得出的差值进行位置控制,直至差值为零。这类系统可以消除包括工作台传动链内的传动误差,因而精度高。

闭环控制系统的特点是定位精度高,但系统复杂成本高,调试和维修都比较困难。一般用于精度要求高的数控机床。

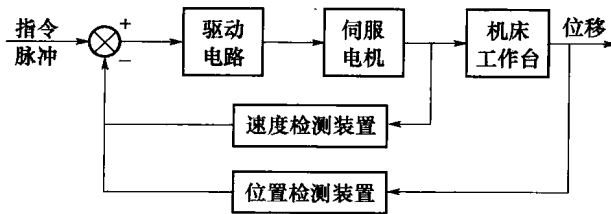


图 1-4 闭环控制系统框图

## 3) 半闭环控制系统

半闭环控制系统框图如图 1-5 所示,系统由驱动电路、伺服电机、机床工作台、位置检测装置和速度检测装置及比较电路等组成。由于机床工作台不包括在反馈电路中,因此被称为半闭环控制。

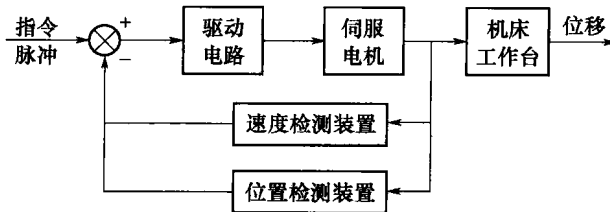


图 1-5 半闭环控制系统框图

## 2. 按工艺用途分类

### 1) 普通数控机床

与传统的通用机床一样,不同的是工艺需要有数控车、铣、钻、镗及磨床等,这种机床的工艺与通用机床相似,所不同的是,它的自动化程度高、精度高。

### 2) 数控加工中心

数控加工中心是带刀库和自动换刀装置的数控机床。典型的加工中心有镗铣加工中心和车削加工中心。

在加工中心上,可使零件在一次装夹后,进行多种工艺、多工序集中、连续加工,这样大大地减少了机床的台数。由于减少装配工件、更换和调整刀具的辅助时间,从而提高机床的工作效率;同时,又可以减少每次装夹产生的定位误差。

### 3) 多坐标数控机床

有些复杂形状的零件,用 3 坐标的数控机床无法加工,如飞机机翼曲面等复杂零件的加工,需要三个以上坐标的联动才能加工出所需要的曲面形状。于是,多坐标联动的数控