



高等学校  
现代工程技术训练  
系列教材

# 数控加工技术

李 斌 主编

XIN  
DONG  
GONG  
CHENG  
JI  
SHU  
JI  
SHU



高等教育出版社

高等学校现代工程技术训练系列教材

# 数控加工技术

李 斌 主编  
傅水根 系列教材策划

高等教育出版社

## 内容简介

本书介绍数控技术和数控机床的基本知识、整机系统的结构以及最新技术成就。主要章节有：概论、数控加工系统、数控加工工艺基础、数控加工程序的编制基础、数控车床加工技术、加工中心的加工技术、柔性制造自动化技术、数控机床的故障诊断与维修基础。

本书在取材和叙述上力求层次分明合理，便于教学和实训。

本书为高等学校现代工程技术训练系列教材之一，也可作为高职高专师生以及面向社会有关数控加工技术的培训用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术/李斌主编. —北京：高等教育出版社，  
2001.8

ISBN 7-04-009761-3

I. 数... II. 李... III. 数控机床-加工-高等学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 032300 号

责任编辑 杨宪玲 封面设计 刘晓翔 责任绘图 朱 静  
版式设计 马静如 责任校对 杨雪莲 责任印制 张小强

数控加工技术  
李 斌 主编

---

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

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

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 北京市鑫鑫印刷厂

开 本 787×1092 1/16

版 次 2001 年 7 月第 1 版

印 张 9.25

印 次 2001 年 7 月第 1 次印刷

字 数 220 000

定 价 8.50 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**



# 前 言

自从 20 世纪中叶数控技术创立以来，它给机械制造业带来了革命性的变化。现在，数控技术已成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的技术基础，现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS、敏捷制造和智能制造等先进制造技术，都是建立在数控技术之上的。它不仅是提高产品质量和劳动生产率必不可少的物质手段，而且是现代各种新兴技术或尖端技术得以存在或发展的“使能技术”。以它为基础的相关产业是关系到国家战略地位和体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其技术水平高低已成为衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。

随着数控技术在我国普及和发展，以及高等工科院校教学改革不断深入，迫切需要培养大量高素质、能力强的数控技术人才，为此教育部借助世界银行贷款在全国组建了 11 个工程训练中心，以加强对学生能力素质的培养。为了配合工程训练中心的实践教学，清华大学傅水根教授与高等教育出版社共同策划出版一套“现代工程技术训练系列教材”。根据基础理论够用、教学内容实用、训练实例好用的宗旨，以及目前工科院校工程训练中心的现状及发展方向，我们编写了《数控加工技术》一书，它是“现代工程技术训练系列教材”之一。在编写中，力求反映数控技术和数控机床系统的基本知识，并兼顾到理论与实际的联系；取材和叙述上要求层次分明和合理，叙述简练，便于实训教学。

本书介绍数控技术和数控机床的基本知识、整机系统的结构以及最新技术成就。全书共 8 章，分别是：概论、数控加工系统、数控加工工艺基础、数控加工程序的编制基础、数控车床加工技术、加工中心的加工技术、柔性制造自动化技术、数控机床故障诊断与维护基础。

本书主要作为本科和高职高专相关专业工程训练教材，也可作为企业工程师或相关工种操作者的参考书。

本书由华中科技大学李斌主编。参加编写的有：李斌(第 1、2 章)，上海交通大学孙祖和(第 3 章)，上海交通大学孙祖和、天津大学邓广敏(第 4 章)，天津大学邓广敏(第 5 章)，哈尔滨工业大学于华、焦建彬、王延斌(第 6 章)，华中科技大学袁楚明(第 7、8 章)。全书由武汉理工大学周祖德教授、清华大学傅水根教授主审，参加审稿还有北京航空航天大学张兴华。

编写过程中参阅了有关院校、工厂、科研院所的一些教材、资料和文献，并得到许多同行专家、教授的支持和帮助，在此衷心致谢。

限于编者的水平，书中难免有错误和不妥之处，敬请读者批评指正。

编者

2001.5.

# 基础篇

## 第 1 章 概 论

世界各工业发达国家通过发展数控技术、建立数控机床产业，促使机械加工工业跨入一个新的“现代化”的历史发展阶段，从而给国民经济的产业结构带来了巨大的变化。数控机床不但是机械工业的重要基础装备，而且是汽车、石化、电子等支柱产业生产现代化的主要手段，也是世界第三次产业革命的一个重要内容。数控机床产业本身的产值远不如汽车、化工等产业，但高效能的数控机床给制造业带来了高倍率的效益增长和现代化的生产方式，是促进国家国民经济发展的巨大源动力。特别是数控技术在制造业的扩展与延伸所产生的辐射作用和波及效果，足以对机械制造业的产业结构、产品结构、专业化分工方式、机械加工方式及管理模式、社会的生产分工、企业运行机制等带来深刻的变化。

### 1.1 数控机床的基本概念

#### 1.1.1 数控技术与数控机床

在加工机床中得到广泛应用的数控技术，是一种采用计算机对机械加工过程中各种控制信息进行数字化运算、处理，并通过高性能的驱动单元对机械执行构件进行自动化控制的高新技术。当前已有大量机械加工装备采用了数控技术，其中最典型而应用面最广的是数控机床。为了便于后面的讨论，下面给出数控技术、数控系统、计算机数控(CNC)系统和数控机床几个概念的定义：数控技术是指用数字、字母和符号对某一工作过程进行可编程自动控制的技术；数控系统是指实现数控技术相关功能的软硬件模块的有机集成系统，它是数控技术的载体；计算机数控系统是指以计算机为核心的数控系统；数控机床是指应用数控技术对加工过程进行控制的机床。

#### 1.1.2 数控机床的组成

数控机床主要由以下几个部分组成，如图 1.1 所示。

##### 1. 控制面板

控制面板(又称操作面板)是操作人员与数控机床(系统)进行交互的工具。一方面，操作人员可以通过它对数控机床(系统)进行操作、编程、调试或对机床参数进行设定和修改；另一方面，操作人员也可以通过它了解或查询数控机床(系统)的运行状态。它是数控机床的一个输入

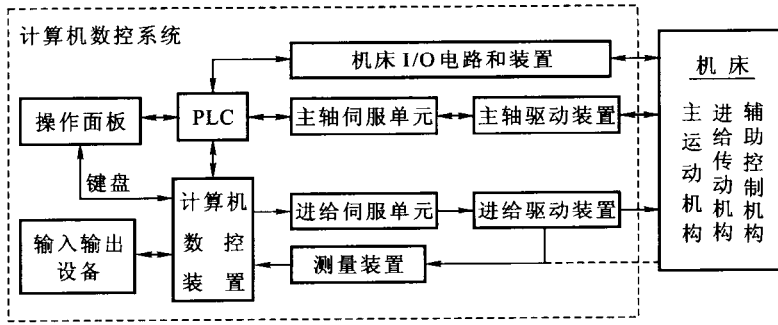


图 1.1 数控机床的组成

输出部件，是数控机床的特有部件。它主要由按钮站、状态灯、按键阵列(功能与计算机键盘一样)和显示器等部分组成，如图 1.2 所示。

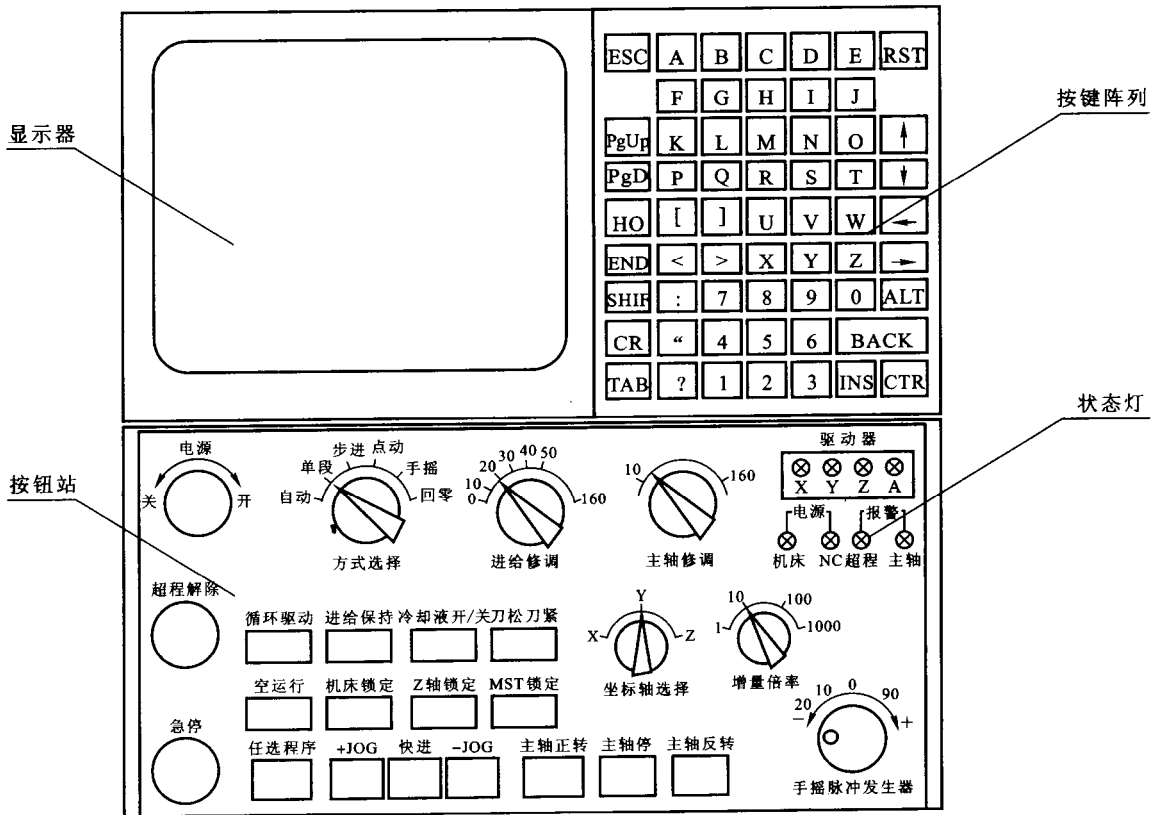


图 1.2 操作面板

## 2. 控制介质与输入输出设备

控制介质是记录零件加工程序的媒介。输入输出设备是 CNC 系统与外部设备进行信息交互的装置。零件加工程序是交互的主要信息。它们的作用是将记录在控制介质上的零件加工程

序输入 CNC 系统, 或将已调试好的零件加工程序通过输出设备存放或记录在相应的介质上。数控机床常用的控制介质和输入输出设备见表 1.1。其中, 表中前两种是早期数控系统所使用的控制介质, 现代数控系统已基本不使用, 主要使用最后一种。

表 1.1 控制介质与输入输出设备

控制介质	输入输出设备
穿孔纸带	纸带阅读机(输入)和纸带穿孔机(输出)
磁 带	录音机
磁 盘	磁盘驱动器

除此之外, 还可采用通讯方式进行信息交换, 现代数控系统一般都具有利用通讯方式进行信息交换的能力。这种方式是实现 CAD/CAM 的集成、FMS (柔性制造系统) 和 CIMS (计算机集成制造系统) 的基本技术。目前在数控机床上常用的通讯方式有:

- (1) 串行通讯(RS232 等串口);
- (2) 自动控制专用接口和规范(直接数字控制 DNC 方式、制造自动化协议 MAP 等);
- (3) 网络技术(Internet、局域网 LAN 等)。

### 3. 计算机数控装置(或 CNC 单元)

计算机数控装置是计算机数控系统的核心。其主要作用是根据输入的零件加工程序或操作者命令进行相应的处理(如运动轨迹处理、机床输入输出处理等), 然后输出控制命令到相应的执行部件[伺服单元、驱动装置和可编程逻辑控制器(PLC)等], 完成零件加工程序或操作者所要求的工作。所有这些都是 CNC 装置协调控制、合理组织下, 使整个系统有条不紊地工作。它主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通讯接口板、扩展功能模块以及相应的控制软件等模块组成。由于它在整个系统中的重要性, 在后面的第 2 章第 2.1 节中将进行详细讨论。

### 4. 伺服单元、驱动装置和测量装置

伺服单元和驱动装置是指主轴伺服驱动装置和主轴电机、进给伺服驱动装置和进给电机。测量装置是指位置和速度测量装置, 它是实现速度闭环控制(主轴、进给)和位置闭环控制(进给)的必要装置。主轴伺服系统的主要作用是实现零件加工的切削运动, 其控制量为速度。进给伺服系统的主要作用是实现零件加工的成形运动, 其控制量为速度和位置。能灵敏、准确地跟踪 CNC 装置的位置和速度指令是它们的共同特点。由于它在数控系统中的重要性, 在后面的第 2 章第 2.2、2.3 节中将进行详细讨论。

### 5. PLC、机床 I/O 电路和装置

PLC 用于完成与逻辑运算、顺序动作有关的 I/O 控制, 它由硬件和软件组成; 机床 I/O 电路和装置是用于实现 I/O 控制的执行部件, 是由继电器、电磁阀、行程开关、接触器等组成的逻辑电路。它们共同完成以下任务:

- (1) 接受 CNC 的 M、S、T 指令, 对其进行译码并转换成对应的控制信号, 控制辅助装置完成机床相应的开关动作;
- (2) 接受操作面板和机床侧的 I/O 信号, 送给 CNC 装置, 经其处理后, 输出指令控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

## 6. 机床

机床是数控机床的主体，是数控系统的控制对象，是实现加工零件的执行部件。它主要由主运动部件、进给运动部件(工作台、拖板以及相应的传动机构)、支承件(立柱、床身等)以及特殊装置、自动工件交换(APC)系统[刀具自动交换(ATC)系统]和辅助装置(如冷却、润滑、排屑、转位和夹紧装置等)组成。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构和变速系统较为简单，在精度、刚度、抗振性等方面则要求较高。

### 1.1.3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，从不同角度对其进行考查，就有不同的分类方法，通常有以下几种不同的分类方法。

#### 1. 按工艺用途分类(机床类型)

(1) 切削加工类 具有切削加工功能的数控机床。如数控铣床、数控车床、数控磨床、加工中心、数控齿轮加工机床、柔性制造单元(FMC)等。

(2) 成型加工类 具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床。如数控折弯机、数控弯管机等。

(3) 特种加工类 具有特种加工功能的数控机床。如数控线切割机、电火花加工机、激光加工机等。

(4) 其它类型 一些广义上的数控装备。如数控装配机、数控测量机、机器人等。

#### 2. 按控制功能分类

##### (1) 点位控制数控机床

这类数控机床仅能控制两个坐标轴带动刀具相对于工件运动，从一个坐标位置快速移动到下一个坐标位置，然后控制第三个坐标轴进行钻、镗切削加工。它具有较高的位置定位精度；为了提高生产效率，定位运动采用数控系统设定的最高进给速度；在移动过程中不进行切削加工，因此对运动轨迹没有要求。点位控制的数控机床用于加工平面内的孔系，这类机床主要有数控钻床、印刷电路板钻孔机、数控镗床、数控冲床、三坐标测量机等。现在仅仅具有点位控制功能的数控机床已不多见。

##### (2) 直线控制数控机床

这类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节。早期，简易的两坐标轴数控车床，可用于加工台阶轴。简易的三坐标轴数控铣床，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轴向进给进行钻、镗削加工，它也可以算作一种直线控制的数控机床。现在仅仅具有直线控制功能的数控机床也已不多见。

##### (3) 轮廓控制数控机床

这类数控机床具有控制几个坐标轴同时协调运动，即多坐标轴联动的能力，使刀具相对于工件按程序规定的轨迹和速度运动。能在运动过程中进行连续切削加工，可实现联动加工是这类数控机床的本质特征。这类数控机床有用于加工曲线和曲面形状零件的数控车床、数控铣床、加工中心等。现代的数控机床基本上都是这种类型。若根据其联动轴数还可细分为2轴、3轴、4轴、5轴联动数控机床，联动坐标轴数越多加工程序的编制就越难，通常三轴联动以



上的零件加工程序只能采用自动编程系统编制。

### 3. 按进给伺服系统类型分类

按数控系统的进给伺服子系统有无位置测量装置可分为开环数控机床和闭环数控机床，在闭环数控系统中根据位置测量装置安装的位置又可分为全闭环和半闭环两种。

#### (1) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统。图 1.3 所示为开环进给伺服系统简图。由图可知，开环进给伺服系统没有位置测量装置，信号流是单向的(数控装置→进给系统)，故系统稳定性好。但由于无位置反馈，精度相对闭环系统来讲不高，其精度主要取决于伺服驱动系统和机械传动机构的性能和精度。该系统一般以步进电机作为伺服驱动元件。它具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、价格低廉等优点，在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合得到广泛应用。一般用于经济型数控机床和旧机床的数控化改造。

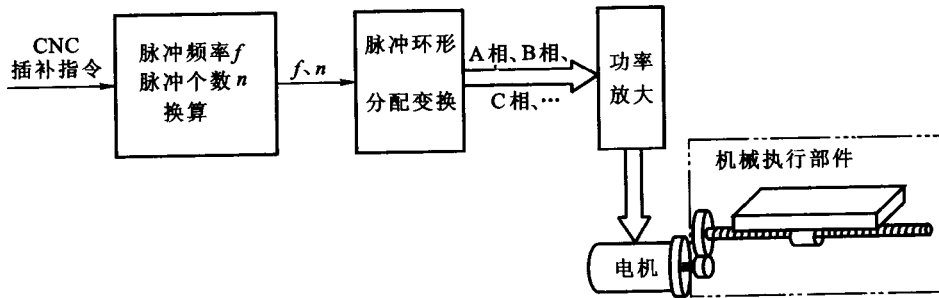


图 1.3 开环进给伺服系统

#### (2) 半闭环数控机床

半闭环数控机床的进给伺服系统如图 1.4 所示。半闭环数控系统的位置检测点是从驱动电机(常用交、直流伺服电机)或丝杠端引出，通过检测电机和丝杠旋转角度来间接检测工作台的位移量，而不是直接检测工作台的实际位置。由于在半闭环环路内不包括或只包括少量机械传动环节，因此可获得较稳定的控制性能，其系统稳定性虽不如开环系统，但比闭环要好。另外，在位置环内各组成环节的误差可得到某种程度的纠正，但不能消除位置环外的各环节如丝杠的螺距误差、齿轮间隙引起的运动误差。可通过软件补偿这类误差来提高运动精度。总之，

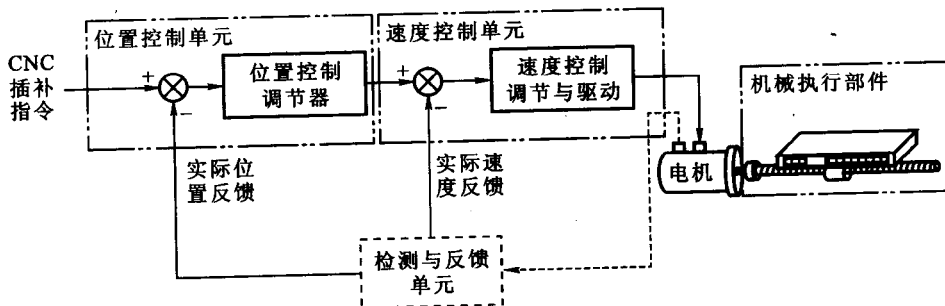


图 1.4 半闭环进给伺服系统

它的精度比开环好，比闭环差，还具有结构简单、调试方便等特点，因而在现代 CNC 机床中得到了广泛应用。

### (3) 闭环数控机床

闭环进给伺服系统的位置检测点如图 1.5 的点画线所示，它直接对工作台的实际位置进行检测。从理论上讲，可以消除整个驱动和传动环节的误差、间隙和失动量，具有很高的位置控制精度。但由于位置环内的许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙都是非线性的，很容易造成系统不稳定。因此闭环系统的设计、安装和调试都有相当的难度。因而，该系统对其组成环节的精度、刚性和动态特性等都有较高的要求，故价格昂贵。这类系统主要用于精度要求很高的镗铣床、超精车床、超精磨床以及较大型的数控机床等。

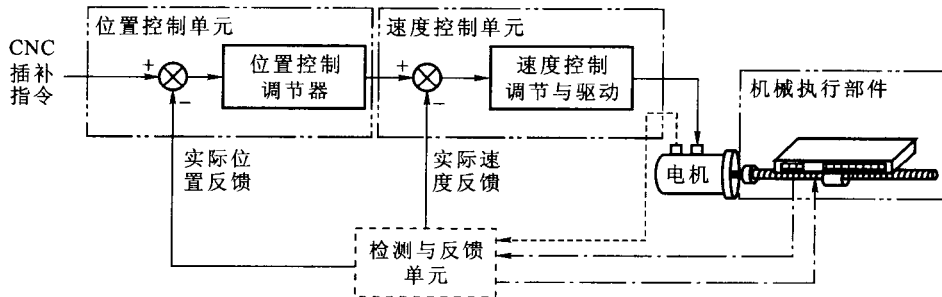


图 1.5 闭环进给伺服系统

## 1.2 典型数控机床介绍

### 1.2.1 数控车床与车削中心

数控车床是目前使用较广泛的数控机床。

#### 1. 分类

- (1) 按主轴布置形式分：卧式(图 1.6、图 1.7)和立式(图 1.8)；
- (2) 按导轨布置形式分：水平导轨(图 1.6)、斜置导轨(图 1.7)；

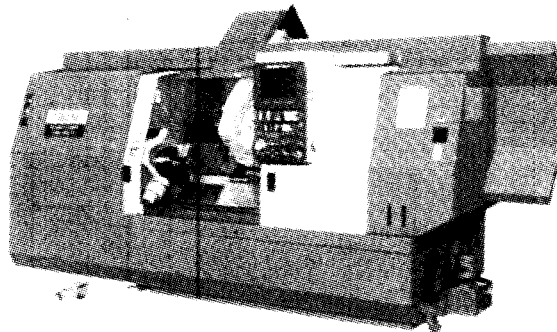


图 1.6 数控车床(水平导轨)

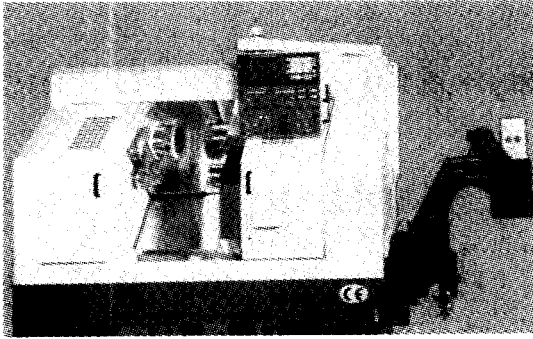


图 1.7 数控车床(斜置导轨)

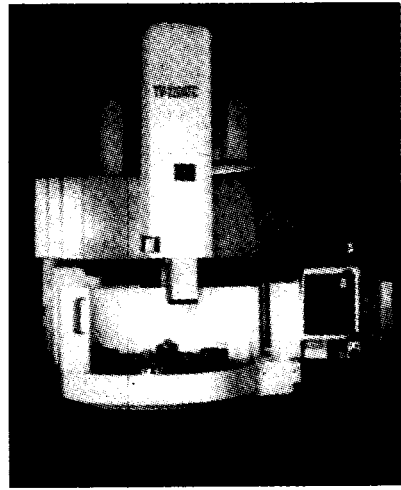


图 1.8 立式数控车床

(3) 按刀架的数量分：单刀架(2 坐标)和双刀架(4 坐标)。

## 2. 结构特点

- (1) 各进给轴可自动变速，变速范围大；
- (2) 主轴可自动变速，变速范围大；
- (3) 配有可转位自动架，可自动换刀；
- (4) 配有液压动力卡盘、自动排屑装置、自动对刀装置、气动防护门等。

## 3. 档次

- (1) 简易 NC 车床，通过技术改造实现 NC。
- (2) 经济型 NC 车床，主轴不能自动变速。
- (3) 多功能 NC 车床。

(4) 车削中心。它是在 NC 车床的基础上，配置有刀库和机械手，使之选择和使用刀具的数量大大增加。对卧式车削中心而言，它还具有以下两种先进功能：其一，动力刀具功能。即刀架上某些刀位或所有刀位可以使用回转刀具(如铣刀、钻头)，通过刀架内的动力使这些刀具回转。其二，C 轴位置控制功能。即可实现主轴周向的任意位置控制，如实现 X - C、Z - C 联动。

## 4. NC 车床的加工对象

NC 车床主要用于盘类和轴类零件的加工，与传统车床相比，它主要适用具有以下要求和特点的回转体零件的加工：

- (1) 精度要求高的零件。
- (2) 表面粗糙度值要求小的零件，可实现恒线速切削，刚性好。
- (3) 形状复杂的零件，如锥面、复杂曲线为母线的回转体。在车削中心上还能钻径向孔、铣键槽、铣凸轮槽和螺旋槽等。

(4) 特殊类型的螺纹，如变螺距螺纹等。

### 1.2.2 数控铣床与加工中心

数控铣床也是一种应用较广泛的加工机床。加工中心是带有自动换刀装置的数控铣床。它是一种功能较全的数控加工机床，可以将铣、镗、钻、攻螺纹和切削螺纹等工艺手段集中到一台机床上。

#### 1. 分类

(1) 按主轴空间位置分：立式加工中心(图 1.9、图 1.11)、卧式加工中心(图 1.10)、五面加工中心；

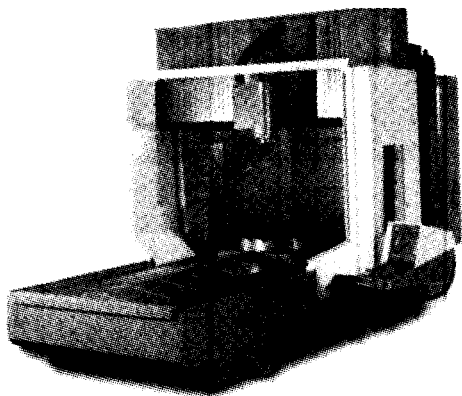


图 1.9 立式加工中心(龙门式)

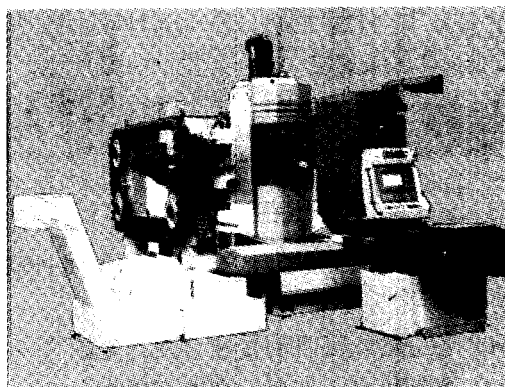


图 1.10 卧式加工中心

(2) 按立柱数量分：单立柱加工中心(图 1.10、图 1.11)、双立柱式加工中心(图1.9)；  
(3) 按工作台数量分：单工作台、双工作台、多工作台；

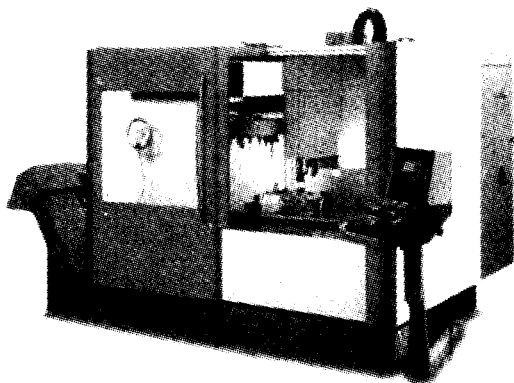


图 1.11 立式加工中心

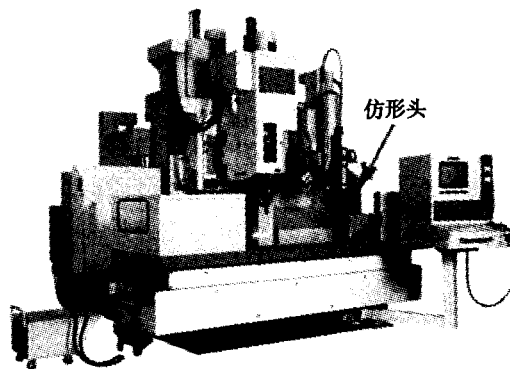


图 1.12 具有仿形功能的加工中心

(4) 按加工功能分：通用数控铣床或加工中心、NC 仿形铣床(图 1.12)。

#### 2. 结构特征

(1) 进给运动的坐标特征：各进给轴的进给速度能实现无级变速，能实现多轴联动控制；

(2) 切削运动的控制特征：能实现主轴转速的无级变速，能实现刀具的自动夹紧和松开（装刀卸刀）；

(3) 仿形铣床则具有自动仿形跟踪能力；

(4) 自动排屑；

(5) 带有自动换刀装置和刀库。

### 3. 加工对象

数控铣床、加工中心的加工功能大部分相同，它们可以对工件进行钻、扩、铰、镗、镗、攻螺纹等加工。其加工对象主要是：平面类零件，即加工面与水平面的夹角为定角(常数)的零件，如盘、套、板类零件；变斜角类零件，即加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件；箱体类零件；复杂曲面，如凸轮、整体叶轮、模具类、球面等；异形件，即外形不规则，大都需要点、线、面多工位混合加工。

## 1.2.3 数控钻床与钻削中心

NC 钻床是以钻削为主的孔加工机床。

### 1. 分类

(1) NC 立式钻床，如图 1.13 所示；

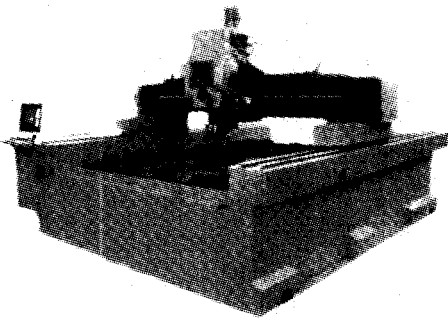


图 1.13 数控立式钻床

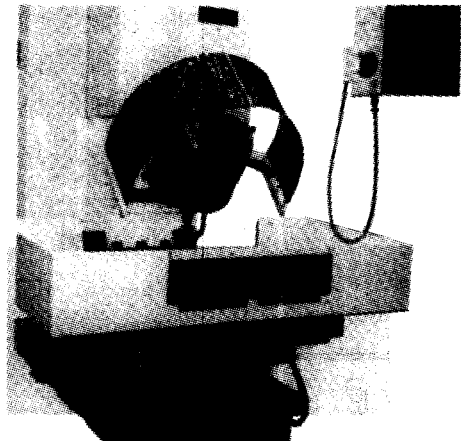


图 1.14 数控钻削中心

(2) 钻削中心(三坐标 NC 钻床 + 转塔式刀库 + 自动换刀装置)，如图 1.14 所示；

(3) 印刷电路板 NC 钻床，带有两个、三个或更多个高速钻头，主轴转速大于或等于 20 000 r/min；

(4) 其它大型 NC 钻床，如摇钻式数控钻床、龙门数控钻床、立柱移动式数控钻床等。

### 2. 结构特征

(1) 主运动采用变频调速电机，电机与主轴用同步带连接；

(2) 三轴进给运动无级变速，能联动控制；

(3) 钻削中心是带有转塔式刀库、自动换刀装置的数控钻床。



### 3. 加工对象

- (1) 多孔类零件；
- (2) 钻、铣联合加工类零件，如滚珠丝杠螺母；
- (3) 凸轮类零件，这类凸轮上需钻孔时，选用钻削中心；
- (4) 阀体类零件。

除上述介绍的数控机床外，还有数控磨床、数控齿轮加工机床、激光加工机床等。

## 1.3 数控加工原理、特点及应用范围

### 1.3.1 数控加工原理

#### 1. 数控加工与传统加工的比较

在普通机床上加工零件时，操作者总是根据工序卡的要求，在加工过程中根据零件要求，不断改变刀具与工件的相对运动轨迹和加工参数(位置,速度等)，使刀具对工件进行切削加工，从而得到所需要的合格零件。

而在 CNC 机床上，传统加工过程中的人工操作均被数控系统的自动控制所取代。其工作过程如下：首先要将被加工零件图上的几何信息和工艺信息数字化，即将刀具与工件的相对运动轨迹、加工过程中主轴速度和进给速度的变换、冷却液的开关、工件和刀具的交换等控制和操作，都按规定的代码和格式编成加工程序，然后将该程序送入数控系统。数控系统则按照程序的要求，先进行相应的运算、处理，然后发出控制命令，使各坐标轴、主轴以及辅助动作相互协调，实现刀具与工件的相对运动，自动完成零件的加工。传统加工与数控加工的比较如图 1.15 所示。

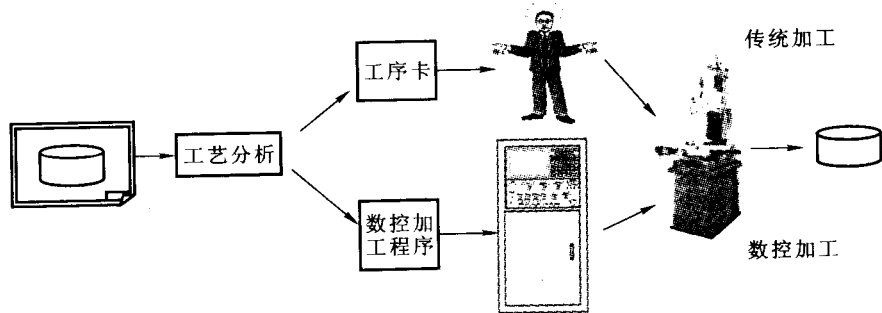


图 1.15 传统加工与数控加工的比较图

#### 2. 数控加工中的数据转换过程

众所周知，CNC 系统的主要任务就是将由零件加工程序表达的加工信息(几何信息和工艺信息)，转换成各进给轴的位移指令、主轴转速指令和辅助动作指令，控制加工轨迹和逻辑动作，加工出符合要求的零件。其数据转换的过程如图 1.16 所示。

- (1) 译码(解释)

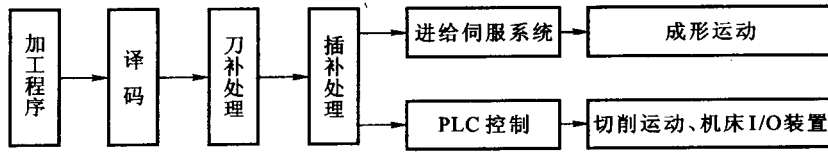


图 1.16 数控加工中的数据转换过程

译码程序的主要功能是将用文本格式(通常用 ASCII 码)表达的零件加工程序,以程序段为单位转换成刀补处理程序所要求的数据结构(格式)。该数据结构用来描述一个程序段解释后的数据信息。它主要包括:  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  等坐标值;进给速度;主轴转速;G 代码;M 代码;刀具号;子程序处理和循环调用处理等数据或标志的存放顺序和格式。

### (2) 刀补处理(计算刀具中心轨迹)

零件加工程序通常是按零件轮廓编制的,而数控机床在加工过程中控制的是刀具中心轨迹,因此在加工前必须将零件轮廓变换成刀具中心的轨迹。刀补处理就是完成这种转换的处理程序。

### (3) 插补计算

该程序以系统规定的插补周期  $\Delta t$  定时运行,它将由各种线形(直线、圆弧等)组成的零件轮廓,按程序给定的进给速度  $F$ ,实时计算出各个进给轴在  $\Delta t$  内的位移指令( $\Delta X_1$ 、 $\Delta Y_1$ 、 $\dots$ ),并送给进给伺服系统,实现成形运动。插补计算的详细过程将在下面进一步讨论。

### (4) PLC 控制

CNC 系统对机床的控制分为两类:一类是对各坐标轴的速度和位置的“轨迹控制”;另一类是对机床动作的“顺序控制”或称“逻辑控制”。后者是指在数控机床运行过程中,以 CNC 内部和机床各行程开关、传感器、按钮、继电器等开关信号状态为条件,并按预先规定的逻辑关系对诸如主轴的起停、换向,刀具的更换,工件的夹紧、松开,液压、冷却、润滑系统的运行等进行的控制。PLC 控制就是实现上述功能的功能模块。

## 3. 数控加工轨迹控制原理

轨迹控制就是插补功能,它是数控加工的重要特征。正是因为有了插补功能,数控机床才能加工出各种形状复杂的零件。它的实现主要有三个步骤,下面以圆弧加工的插补过程为例进行说明。

图 1.17 为待加工的圆弧轨迹  $L$ ,起点为  $P_0$ ,终点为  $P_e$ 。CNC 装置在对这段加工程序进行译码和刀补处理后,将采用下面三个步骤对该圆弧进行插补:

### (1) 逼近处理

CNC 装置按系统的插补时间  $\Delta t$  和加工所要求的进给速度  $F$ ,将  $L$  分割成由若干短直线  $\Delta L_1, \Delta L_2, \dots, \Delta L_i, \dots$ , 这里,  $\Delta L_i = F\Delta t$  ( $i=1,2,\dots$ )。

则当  $\Delta t \rightarrow 0$  时,折线段之和接近圆弧  $L$ ,即

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} \Delta L_i = L$$

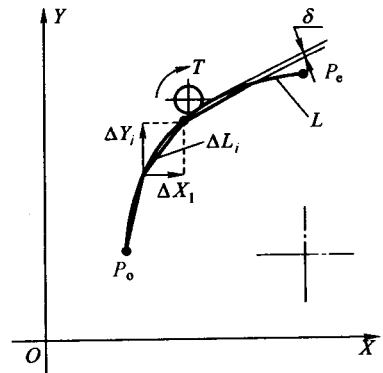


图 1.17 数控加工原理图

当然，用直线  $\Delta L_i$  逼近圆弧存在着逼近误差  $\delta$ ，（参见图 1.17）但是只要  $\delta$  足够小（ $\Delta L_i$  足够短），总是能满足零件加工要求的。

当  $F$  为常数时，由于  $\Delta t$  对于某一个数控系统而言恒为常数，故  $\Delta L_i$  的长度也为常数  $\Delta L$ ，只不过其斜率与在  $L$  上的位置有关。

### (2) 分解运算

在计算出  $\Delta L$  后，必须将其分解为  $X$  轴及  $Y$  轴的移动分量  $\Delta X_i$  和  $\Delta Y_i$ （在  $\Delta t$  时间内），它们将随着  $\Delta L$  在  $L$  上位置的不断变化而变化，但它们满足

$$\Delta L = \sqrt{\Delta X_i^2 + \Delta Y_i^2}, \quad F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

且有

$$F_x = \Delta X_i / \Delta t, \quad F_y = \Delta Y_i / \Delta t$$

由于  $\Delta L$  的斜率是不断变化的，因此进给速度  $F$  在  $X$  方向及  $Y$  方向的分量  $F_x$  与  $F_y$ ，以及它们之间的比值  $F_x / F_y$  都在不断变化。

### (3) 指令输出

将计算出在  $\Delta t$  时间内的  $\Delta X_i$  和  $\Delta Y_i$  作为位置指令输出给  $X$  轴和  $Y$  轴，以控制它们联动。由此可知，只要能连续地自动控制  $X$ 、 $Y$  两个进给轴在  $\Delta t$  时间内的移动量，就可以实现曲线轮廓零件的加工。

## 1.3.2 数控加工的特点及应用范围

### 1. 数控加工的特点

数控机床在机械制造业中得到日益广泛的应用，是因为它具有如下特点。

(1) 能适应不同零件的自动加工。数控机床是按照被加工零件的数控程序来进行自动加工的，当改变加工零件时，只要改变数控程序，不必更换凸轮、靠模、样板或钻镗模等专用工艺装备。因此，生产准备周期短，有利于机械产品的更新换代。

(2) 生产效率和加工精度高、加工质量稳定。数控机床可以采用较大的切削用量，有效地节省机动工时。还有自动变速、自动换刀和其它辅助操作自动化等功能，使辅助时间大为缩短。所以，它比普通机床的生产效率高 3~4 倍甚至更高，对复杂型面零件的加工，其生产效率则可提高十几倍甚至几十倍。同时由于数控机床本身的精度较高，还可以利用软件进行精度补偿，又因为它是根据数控程序自动进行加工，可以避免人为的误差，使加工质量稳定。

(3) 功能复合程度高，一机多用。数控机床，特别是具有自动换刀功能的数控机床，在一次装夹的情况下，几乎可以完成零件的全部加工，一台数控机床可以代替数台普通机床。这样可以减少装夹误差，节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间，还可以节省机床的占地面积，带来较高的经济效益。

任何事物都有两重性。数控加工虽有上述各种优点，但也存在不足之处，如由于机床价格较高，维修难度大，加工中的调整又相对复杂，使其单位加工成本较高。

### 2. 数控加工的应用范围

数控加工具有普通机床加工所不具备的许多优点。而且它的应用范围还在不断扩大，但是在目前还不能完全取代普通机床，也就是说，它不能以最经济的方式来解决加工制造中的所有问题。根据数控加工的优缺点及国内外大量的应用实践，一般可按适应程度将零件分为下列三

类:

### (1) 最适应类

有些零件在普通机床上无法加工或虽然能加工但很难保证产品质量的零件, 此类零件为数控加工的最适应类零件, 如:

- 1) 形状复杂, 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件, 且加工精度要求高;
- 2) 具有难测量、难控制进给、难控制尺寸的不开敞内腔的壳体或盒型零件;
- 3) 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铰、绞或攻螺纹等多工序的零件。

### (2) 较适应类

这类零件在分析其可加工性以后, 还要在提高生产率及经济效益方面作全面衡量, 一般可把它们作为数控加工的主要选择对象, 主要有:

- 1) 在普通机床上加工时极易受人为因素(如情绪波动、体力强弱、技术水平高低等)干扰, 零件价值又高, 一旦质量失控便造成重大经济损失的零件;
- 2) 在普通机床上加工时必须制造复杂专用工艺装备的零件;
- 3) 需要多次更改设计后才能定型的零件;
- 4) 在普通机床上加工需要作长时间调整的零件;
- 5) 用普通机床加工时, 生产率很低或体力劳动强度很大的零件。

### (3) 不适应类

下述一类零件采用数控加工后, 在生产效率与经济性方面一般无明显改善, 还可能弄巧成拙或得不偿失, 故此类零件一般不应作为数控加工的选择对象。

- 1) 生产批量大的零件(当然不排除其中个别工序用数控机床加工);
- 2) 装夹困难或完全靠找正定位来保证加工精度的零件;
- 3) 加工余量很不稳定, 且数控机床上无在线检测系统可自动调整零件坐标位置的;
- 4) 必须用特定的工艺装备协调加工的零件。

在零件的数控加工适应性分析的基础上, 就可以根据所拥有的数控机床来选择加工对象, 或根据零件类型来考虑哪些应该安排数控加工, 或从技术改造角度考虑是否要投资添置数控机床。

## 1.4 数控机床的指标、功能与标准

### 1.4.1 数控机床的指标

#### 1. 规格指标

规格指标是指数控机床的基本能力指标, 主要有以下几方面:

(1) 行程范围 坐标轴可控的运动区间, 它反映该机床允许的加工空间。一般情况下工件轮廓尺寸应在加工空间的范围之内, 个别情况下工件轮廓可大于机床的加工范围, 但工件的加工区域必须小于加工空间。

(2) 工作台面尺寸 它反映该机床安装工件的最大范围, 通常应选择比最大加工工件稍大一点的面积, 这是因为要预留夹具所需的空。