

国家职业资格培训视听读系列教程



# 数控铣床 操作指南



附10 VCD



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



时代传播音像出版社  
Time Media Audio-Video Press

国家职业资格培训视听读系列教程

# 数控铣床操作指南

第 2 版

谢富春 罗学科 编著



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



时代传播音像出版社  
Time Media Audio-Video Press

由北方工业大学机电工程学院院长工学博士罗学科教授主讲的“数控铣床操作指南”可以帮您迅速学会数控铣床的编程技术,熟练掌握数控铣床的操作技巧,帮助您完成知识的更新。

本教程以数控铣床的加工工艺、编程和操作为核心内容,介绍了数控技术的基础知识,数控机床的数控系统,数控铣床的机械结构和主要部件,数控铣床的加工工艺、编程技术及操作方法。教程中数控铣床的操作部分以FANUC Oi系统为例,通过具体的加工实例,讲述了数控铣床的各种操作模式以及操作指令的使用,最后还简要讲述了数控机床常见故障的诊断与维修。

本教程分为两部分:影视部分采用现场教学的拍摄模式,通过主讲老师在机床旁深入浅出的现场教学和指导老师一步步的实际操作演示,使学员如同身临其境,将似乎难以掌握的学习重点和难点变得浅显易懂,更易让人理解,从而达到事半功倍的效果;文字教材是为方便读者进一步理解、阅读与思考,对光碟中所讲内容加以整理汇编而形成的。

本教程可作为数控机床操作人员的培训教材,也可作为高职数控专业学生、从事数控技术职业技能培训和数控加工的工程技术人员的参考教材。

#### 图书在版编目(CIP)数据

数控铣床操作指南/谢富春,罗学科编著. —2版. —北京:

机械工业出版社, 2005.12

(国家职业资格培训视听读系列教程)

ISBN 7-111-14722-7

I. 数... II. ①谢...②罗... III. 数控机床: 铣床

—操作—技术培训—教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 156253 号

机械工业出版社 时代传播音像出版社

(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

制 片 人: 黄文广

责任编辑: 张元生 张亚秋

编 导: 杜 辉

摄 像: 郑 浩 路庆福

责任印制: 李成昆 版式设计: 刘艳青 发行主管: 林丰才

北京铭成印刷有限公司·新华书店北京发行所发行

2006 年 1 月第 2 版·第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16 开·5.5 印张·130 千字

定价: 388.00 元(附 10VCD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68326689、88379805

# 前言

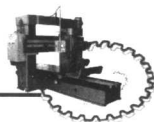
数控制造技术是集机械制造技术、计算机技术、微电子技术、现代控制技术、网络信息技术、机电一体化技术于一身的多学科高新制造技术，数控技术水平的高低、数控机床的拥有量已经成为衡量一个国家工业现代化的重要标志。

在这更新换代的历史时刻，企业急需大批能熟练掌握数控机床操作的技术工人。为此，国家制定了数控技能型紧缺人才的培养培训方案。培养技能型紧缺人才就是要把提高学生的职业能力放在突出的位置，加强生产实习、实训等实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者。

本系列教程之一《数控铣床操作指南》是根据教育部数控技能型紧缺人才所确定的培养培训方案的指导思想、数控操作工国家职业技能鉴定标准编写的，教程共分为两部分：影视部分和文字教材。影视部分在拍摄上打破了一般教学片的拍摄模式，把演播室搬到了现场，全实景拍摄，突出了现场感和实景操作。通过主讲老师在机床旁深入浅出的现场教学和指导老师一步步的实际操作演示，使学员如同身临其境，将似乎难以掌握的学习重点和难点变得浅显易懂，更易理解，从而达到事半功倍的效果。本教程在内容的编排上，选用了技术先进、占市场份额较大的 FANUC 系统作为典型数控系统进行了全面的讲解。针对一线工人的需求，教程教学重点选在了加工工艺以及各种加工指令和编程方法上，并以工件的加工实例教您掌握数控机床的操作方法与技巧，在最后对常见故障的诊断和排除也作了说明。文字教材是根据影视内容所编撰的，并配以图例说明，以帮助您对所学内容更好地理解和掌握。

不论您是学员还是普通的技术工人，数控机床操作指南系列教程都是您更新知识、提高职业技能的理想视听读教程。

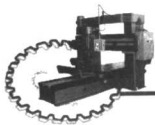




|                      |    |
|----------------------|----|
| 第一章 数控技术基础           | 1  |
| 第一节 数控机床的系统组成及其各部分功能 | 1  |
| 一、数控加工的过程            | 1  |
| 二、数控机床的组成及其各部分的功能    | 2  |
| 第二节 数控机床的分类          | 3  |
| 一、按机床的控制轨迹分类         | 3  |
| 二、按伺服控制的方式分类         | 4  |
| 三、按数控系统的功能水平分类       | 5  |
| 四、按加工工艺及机床用途的类型分类    | 5  |
| 第三节 数控机床的加工对象        | 5  |
| 一、采用数控机床加工的优势及特点     | 5  |
| 二、数控机床的使用范围          | 6  |
| 第四节 数控技术的发展方向        | 6  |
| 一、高速度与高精度化           | 6  |
| 二、多功能化               | 7  |
| 三、智能化                | 7  |
| 四、高的可靠性              | 7  |
| 第二章 数控机床的数控系统        | 8  |
| 第一节 计算机数控(CNC)装置     | 8  |
| 一、CNC装置的工作原理         | 8  |
| 二、CNC装置的特点           | 9  |
| 三、CNC装置的硬件结构         | 10 |
| 四、CNC系统的软件结构         | 11 |
| 第二节 数控机床的检测装置        | 11 |
| 一、检测装置的分类            | 11 |
| 二、数控检测装置的性能指标及要求     | 12 |
| 三、常用的位置检测装置          | 12 |
| 第三节 伺服驱动装置           | 13 |
| 一、伺服驱动装置的概念          | 13 |
| 二、常用的伺服电动机           | 14 |
| 三、PLC与接口技术           | 15 |
| 第四节 典型数控系统           | 16 |

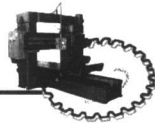
目

录



# 目 录

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第三章 数控铣床的机械结构.....         | 18 |
| 第一节 数控铣床的机械结构组成.....       | 18 |
| 一、数控铣床的结构组成.....           | 18 |
| 二、数控铣床机械结构的主要特点.....       | 19 |
| 第二节 数控铣床的主传动系统及主轴部件.....   | 20 |
| 一、主传动系统.....               | 20 |
| 二、换刀机构.....                | 20 |
| 三、主轴平衡机构.....              | 20 |
| 四、主轴轴承常用配置形式.....          | 21 |
| 第三节 数控铣床进给系统机械传动部分的元件..... | 21 |
| 一、对进给系统的性能要求.....          | 21 |
| 二、滚珠丝杠螺母副.....             | 21 |
| 三、进给系统传动齿轮间隙的消除.....       | 23 |
| 第四节 导轨副.....               | 25 |
| 第五节 润滑系统.....              | 26 |
| 第六节 回转进给系统.....            | 26 |
| 第四章 数控铣床加工工艺.....          | 27 |
| 第一节 数控铣床加工工艺概述.....        | 27 |
| 一、数控铣床加工的主要对象.....         | 27 |
| 二、数控铣床加工工艺的主要内容.....       | 28 |
| 第二节 数控铣床加工工艺分析.....        | 28 |
| 一、数控铣床加工零件的工艺性分析.....      | 28 |
| 二、数控铣床加工工艺路线的拟订.....       | 28 |
| 第三节 工件在数控铣床上的定位与装夹.....    | 31 |
| 一、工件定位的基本原理.....           | 31 |
| 二、定位基准的选择原则.....           | 32 |
| 三、常见定位方式及定位元件.....         | 34 |
| 四、定位误差.....                | 35 |
| 五、数控铣床夹具介绍.....            | 35 |
| 第四节 数控铣床加工工序的设计.....       | 37 |
| 一、确定走刀路线和工步顺序.....         | 37 |
| 二、定位与夹紧方案的确定.....          | 38 |



|                       |           |
|-----------------------|-----------|
| 三、夹具的选择               | 39        |
| 四、切削用量的确定             | 39        |
| 五、对刀(找正)              | 40        |
| <b>第五章 数控铣床编程基础</b>   | <b>41</b> |
| 第一节 数控编程概述            | 41        |
| 第二节 编程方法              | 43        |
| <b>第六章 数控铣床编程技术</b>   | <b>50</b> |
| 第一节 常用编程指令            | 50        |
| 一、主轴转速指令 S            | 50        |
| 二、进给功能 F 指令           | 50        |
| 三、跳段功能                | 51        |
| 四、固定循环指令              | 51        |
| 第二节 刀具补偿功能            | 58        |
| 一、刀具长度补偿              | 58        |
| 二、刀具半径补偿功能            | 59        |
| <b>第七章 零件加工示例</b>     | <b>63</b> |
| 第一节 工艺分析并制定工艺方案       | 63        |
| 一、分析零件工艺, 确定加工内容      | 63        |
| 二、选定加工设备              | 64        |
| 三、确定零件的装夹方案           | 64        |
| 四、制定零件的加工工艺路线         | 64        |
| 第二节 制作坐标简图            | 66        |
| 第三节 编写零件加工程序          | 67        |
| 一、粗铣外轮廓加工程序           | 67        |
| 二、粗铣 $\phi 30$ 沉孔加工程序 | 68        |
| 三、精铣 $\phi 30$ 沉孔加工程序 | 68        |
| 四、钻定位孔加工程序            | 69        |
| 五、螺纹底孔加工程序            | 69        |
| 六、螺纹加工程序              | 70        |
| 七、钻 $\phi 13.9$ 孔加工程序 | 70        |

目

录



# 目 录

|                  |    |
|------------------|----|
| 第四节 试切并调整程序..... | 70 |
|------------------|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第八章 数控机床常见故障诊断与维修..... | 71 |
|------------------------|----|

|                        |    |
|------------------------|----|
| 第一节 数控机床故障诊断与维修概述..... | 71 |
|------------------------|----|

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 一、数控机床故障诊断与维修的概念..... | 71 |
|-----------------------|----|

|                  |    |
|------------------|----|
| 二、数控机床故障的类型..... | 71 |
|------------------|----|

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 三、数控机床故障诊断与维修的一般方法..... | 72 |
|-------------------------|----|

|                     |    |
|---------------------|----|
| 第二节 数控机床机械故障诊断..... | 73 |
|---------------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| 一、机械故障诊断方法..... | 73 |
|-----------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| 二、主要机械部件故障诊断..... | 74 |
|-------------------|----|

|                   |    |
|-------------------|----|
| 第三节 数控系统故障诊断..... | 75 |
|-------------------|----|

|                 |    |
|-----------------|----|
| 一、控制系统故障诊断..... | 75 |
|-----------------|----|

|                    |    |
|--------------------|----|
| 二、常见伺服系统故障及诊断..... | 75 |
|--------------------|----|



# 1

## 第一章

# 数控技术基础

### 第一节 数控机床的系统组成及其各部分功能

#### 一、数控加工的过程（图 1-1）

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. 程序的输入和输出。手工编写的程序通过数控机床的操作面板输入，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。
4. 将输入到数控单元的加工程序，进行试运行和刀具路径模拟等。
5. 通过对机床的正确操作，运行程序，完成零件的加工。

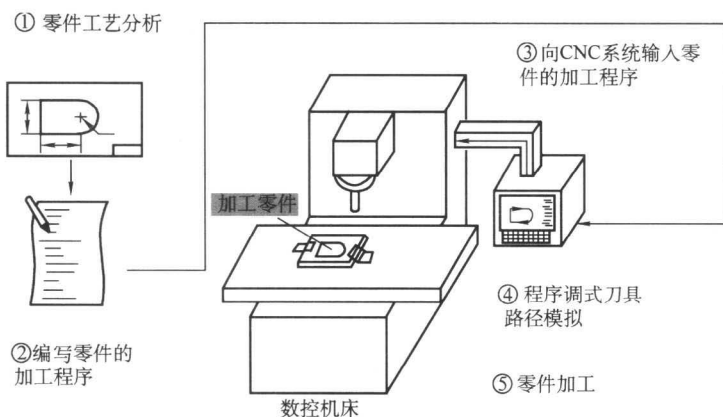
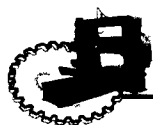


图 1-1 数控加工过程



## 二、数控机床的组成及其各部分的功能（图 1-2）

1. 控制介质 控制介质又称信息载体，是人与数控机床之间联系的中间媒介物质，反映了数控加工中的全部信息。

2. 数控系统 数控系统是机床实现自动加工的核心，是整个数控机床的灵魂所在。主要由输入装置、监视器、主控制系统、可编程序控制器、各类输入/输出接口等组成。

3. 伺服系统 伺服系统是数控系统和机床本体之间的电传动联系环节。主要由伺服电动机、伺服驱动控制器等组成。

4. 反馈装置 反馈装置主要包括光电脉冲编码器、光栅位置传感器、直线感应同步器等装置。

5. 辅助装置 辅助装置主要包括自动换刀装置、自动交换工作台机构、工件夹紧放松机构、回转工作台、液压控制系统、润滑装置、切削液装置、排屑装置、过载和保护装置等。

6. 机床本体 数控机床的本体指其机械结构实体。与普通机床相比，它的整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面都发生了很大变化，具体归纳如下。

（1）采用高性能主传动及主轴部件。具有传递功率大、刚度高、抗振性好及热变形小等优点。

（2）进给传动采用高效传动件。具有传动链短、结构简单、传动精度高等特点，一般采用滚珠丝杠副和同步齿形带等。

（3）具有完善的刀具自动交换和管理系统。

（4）在加工中心上一般有工件自动交换、工件夹紧和放松机构。

（5）机床本身具有很高的动、静刚度。导轨采用贴塑导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

（6）采用全封闭罩壳。由于数控机床是自动完成加工，为了操作安全等，一般采用移动门结构的全封闭罩壳，对机床的加工部件进行封闭。

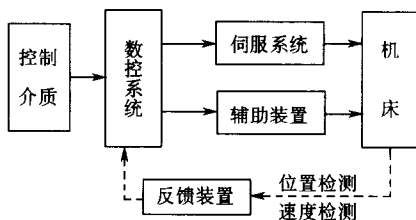
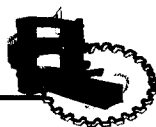


图 1-2 数控机床的系统组成框图



## 第二节 数控机床的分类

### 一、按机床的控制轨迹分类

1. 点位控制的数控机床 点位加工轨迹如图 1-3 所示。
2. 直线控制数控机床 也称为平行控制数控机床, 一般只能加工矩形、台阶形零件。
3. 轮廓控制数控机床 轮廓加工轨迹如图 1-4 所示。轮廓控制数控机床又可分为以下几类。

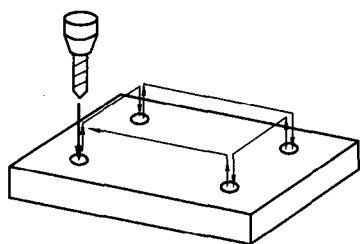


图 1-3 数控机床的点位加工轨迹

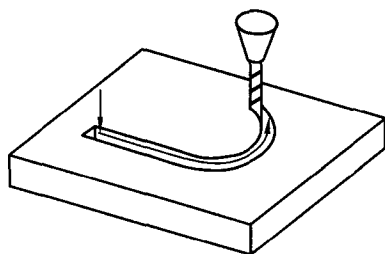


图 1-4 数控铣床的轮廓加工轨迹

- (1) 2 轴联动。
- (2) 2 轴半联动 如图 1-5 所示。
- (3) 3 轴联动 如图 1-6 所示。
- (4) 4 轴联动 如图 1-7 所示。
- (5) 5 轴联动 如图 1-8 所示。

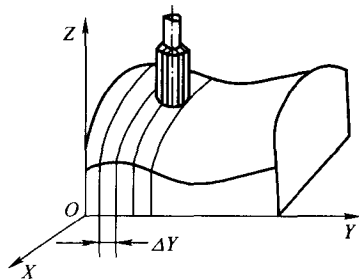


图 1-5 二轴半联动的曲面加工

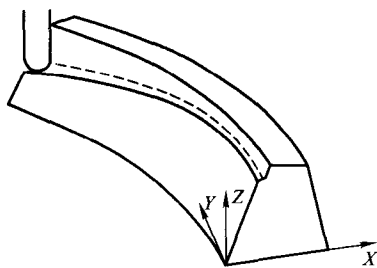


图 1-6 三轴联动的曲面加工

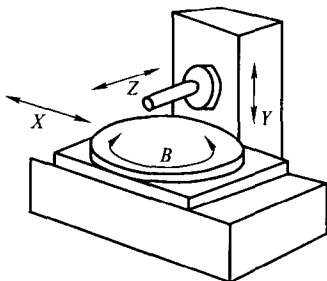
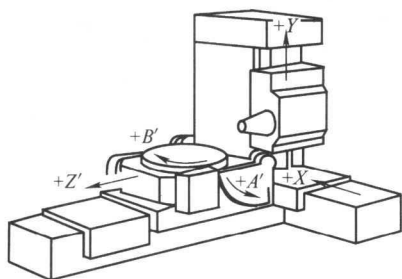
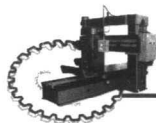
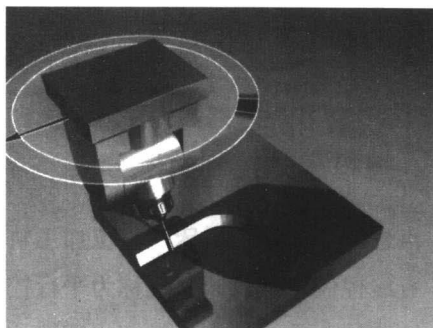


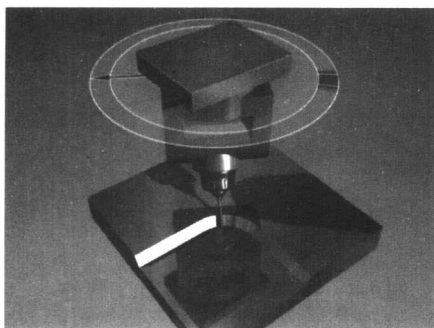
图 1-7 四轴联动的数控机床



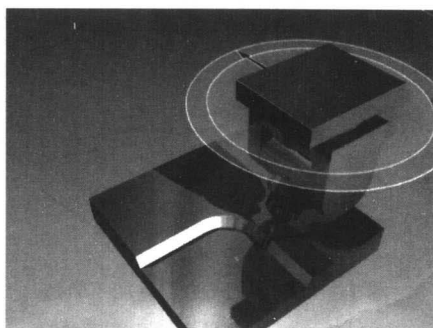
a)



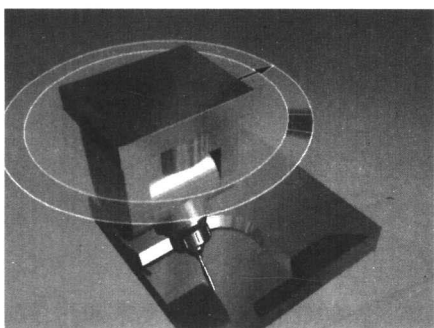
b)



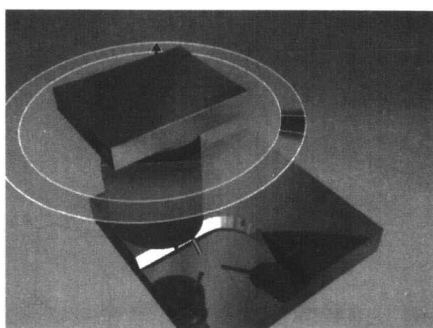
c)



d)



e)



f)

图 1-8 五轴联动的加工中心

## 二、按伺服控制的方式分类

1. 开环控制数控机床 如图 1-9 所示。

2. 闭环控制数控机床

(1) 全闭环控制 如图 1-10 所示。

(2) 半闭环控制 如图 1-11 所示。

3. 混合控制数控机床 将上述两种控

制方式的特点有选择地集中, 可以组成混合

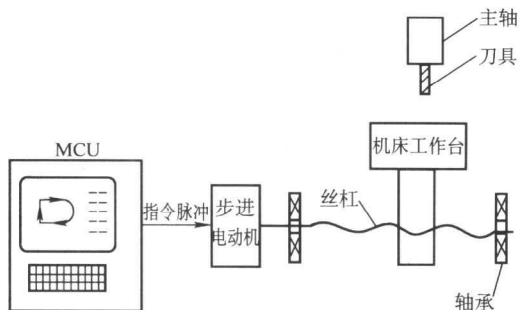
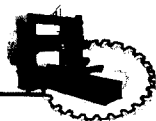


图 1-9 开环控制系统框图





控制的方案。

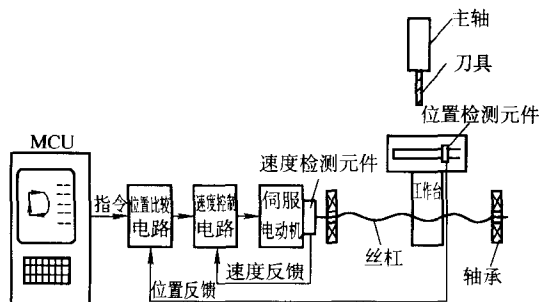


图 1-10 全闭环控制系统框图

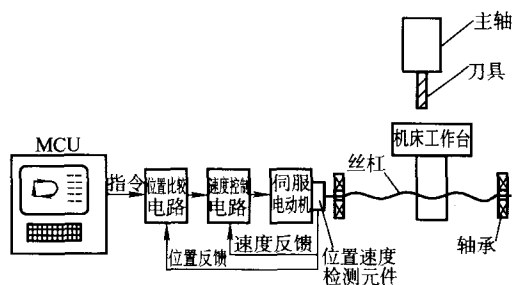


图 1-11 半闭环控制系统框图

### 三、按数控系统的功能水平分类

通常把数控系统分为低、中、高三类。这种方式在我国用得较多。低、中、高三档的界限是相对的，不是绝对的。

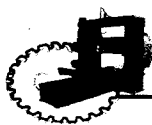
### 四、按加工工艺及机床用途的类型分类

1. 金属切削类。
  - (1) 普通型数控机床。
  - (2) 加工中心。
2. 金属成形类。
3. 特种加工类。
4. 测量、绘图类。

## 第三节 数控机床的加工对象

### 一、采用数控机床加工的优势及特点

1. 可以加工具有复杂型面的工件。
2. 加工精度高，尺寸一致性好。
3. 生产效率高。
4. 可以减轻工人劳动强度。
5. 经济效益明显。
6. 可以精确计算成本和安排生产进度。
7. 数控加工是 CAD/CAM 技术和先进制造的基础。



## 二、数控机床的使用范围

1. 多品种、小批量生产的零件或新产品试制中的零件。
2. 几何形状复杂的零件。
3. 加工过程中必须进行多工序的零件。
4. 用普通机床加工时, 需要昂贵工装设备的零件。
5. 必须严格控制公差, 精度要求高的零件。
6. 工艺设计需多次改型的零件。
7. 价格昂贵, 加工中不允许报废的关键零件。
8. 需要最短生产周期的零件。

具体如图 1-12 和图 1-13 所示。

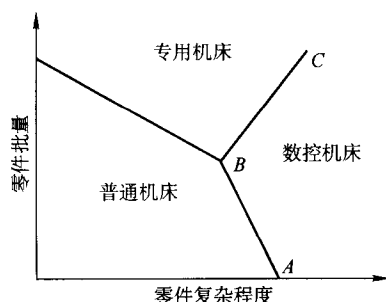


图 1-12 各种机床的使用范围

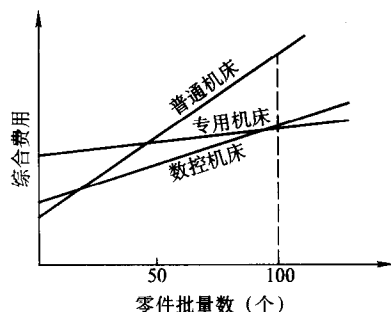


图 1-13 各种机床的加工批量与成本的关系

## 第四节 数控技术的发展方向

### 一、高速度与高精度化

速度和精度是数控机床的两个重要指标, 它直接关系到加工效率和产品的质量, 为实现更高速度、更高精度的指标, 目前主要从下面几点采取措施进行研究。

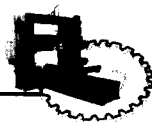
1. 数控系统 采用位数、频率更高的微处理器, 以提高系统的基本运算速度。目前程序段处理时间小于 1ms/1K 指令。

2. 伺服驱动系统 全数字交流伺服系统, 大大提高了系统的定位精度、进给速度。所谓数字伺服系统, 指的是伺服系统中的控制信息用数字量来处理。它一般具有下列特性:

(1) 采用现代控制理论, 通过计算机软件实现最佳最优控制。

(2) 数字伺服系统是一种离散系统, 它是由采样器和保持器两个基本环节组成的。位置、速度、电流构成的反馈全部数字化, PID 软件化。

(3) 数字伺服系统具有较高的动、静态精度。有很强的抗干扰能力。



(4) 系统一般配有 SERCOS (串行实时通信系统) 板, 可实现大信息量数据的高速、无噪声传输。

3. 机床静、动摩擦的非线性补偿控制技术 机械动、静摩擦的非线性会导致机床爬行。

4. 高速大功率电主轴的应用 在超高速加工中, 对机床主轴转速提出了极高的要求 (10 000~75 000r/min), 传统的齿轮变速主传动系统已不能适应其要求。

5. 配备高速、功能强的内装式可编程序控制器 (PLC 提高可编程序控制器的运行速度, 来满足数控机床高速加工的速度要求)。

## 二、多功能化

1. 数控机床采用一机多能, 以最大限度地提高设备利用率。

2. 前台加工、后台编辑的前后台功能, 以充分提高其工作效率和机床利用率。

3. 具有更高的通信功能, 现代数控机床除具有通信口、DNC 功能外, 还具有网络功能。

## 三、智能化

1. 引进自适应控制技术 自适应控制 AC 技术的目的是要求在随机变化的加工过程中, 通过自动调节加工过程中所测得的工作状态、特性, 按照给定的评价指标自动修正工作参数。

2. 采用故障自诊断、自修复功能 利用 CNC 系统的内装程序实现故障诊断, 一旦出现故障时, 立即采取停机等措施, 自动使故障模块脱机, 接通备用模块并通过 CRT 进行故障报警。

3. 刀具寿命自动检测和自动换刀功能 利用各种检测手段, 对刀具和工件进行检测。发现工件超差、刀具磨损、破损等, 进行及时报警、自动补偿或更换备用刀具, 以保证产品质量。

4. 引进模式识别技术 应用图像识别和声控技术, 使机器自己辩识图样, 按照自然语言命令进行加工。

## 四、高的可靠性

数控机床的可靠性一直是用户最关心的主要指标, 它取决于数控系统和各伺服系统驱动单元。为提高可靠性, 目前主要采取以下几方面的措施。

1. 提高系统硬件质量。

2. 采取硬件结构模块化、标准化、通用化方式。

3. 增强故障自诊断、自恢复和保护功能。

# 2

## 第二章

### 数控机床的数控系统

数控系统是数控机床的核心部分。主要由计算机数控装置（或称 CNC 装置）、伺服驱动装置、位置检测装置、可编程程序控制器（PLC）和接口电路组成，如图 2-1 所示。

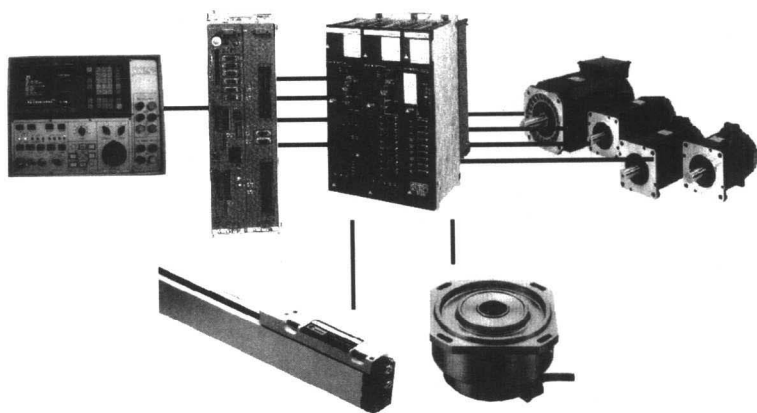


图 2-1 数控系统的基本组成

#### 第一节 计算机数控（CNC）装置

数控装置是数控系统的核心，数控装置有两种类型：一是由逻辑电路构成的专用数控装置，即 NC 装置；二是由计算机硬件和软件构成的计算机数控装置，即 CNC 装置。

##### 一、CNC 装置的工作原理

1. 输入 CNC 的输入信息有零件程序、控制参数和刀具参数等数据。从 CNC 装置工作方式看，有存储工作方式、DNC 工作方式和 MDI 工作方式。

2. 译码 将零件程序以一个程序段为单位进行处理，把其中的各种信息按照一定的语法规则解释成计算机能够识别的数据形式，并用这些数据控制机床按程序要求协调工作。



3. 刀具补偿 通常编程人员是以零件轮廓轨迹编程, 刀具补偿作用是把零件轮廓轨迹转化成刀具中心轨迹。刀具补偿包括刀具长度补偿和刀具半径补偿。

4. 进给速度处理 速度处理首先要做的工作是根据合成速度来计算各运动坐标的分速度, 还包括启动与停止的加减速控制以及最低与最高速度的限定。

5. 插补计算 插补的任务是在一条给定起点和终点的曲线上进行“数据点的密化”, 实时计算出各个中点坐标。将需要多个轴的合成运动, 分解为各个轴的运动。

插补计算方法有数字积分法、数据采样插补法、样条插补等多种。通过这些插补计算, 使刀具可以沿着直线、圆弧、螺旋线等轨迹移动, 完成切削加工。

6. 位置控制 它的主要任务是在每个采样周期内, 将理论位置与实际反馈位置相比较, 用其差值去控制伺服电动机。通常还要完成各进给轴的螺距误差补偿和反向间隙补偿以及增益调整等。

7. I/O 处理 主要处理用户操作面板开关信号、限位和回零信号、辅助装置控制等信号的检测、逻辑运算和控制。I/O 控制由可编程序控制器 (PLC) 完成。

8. 显示 CNC 装置的显示主要为操作者提供方便, 通常用于零件程序的显示、参数显示、刀具位置显示、机床状态显示、报警显示等。

### 9. 诊断

(1) 开机自诊断 通电时, 对系统的关键硬件及软件进行的诊断。如对 CPU、存储器、CRT、PLC、机床参数等的诊断。只有当全部开机诊断项目都正常, 系统才能进入正常准备状态。

(2) 运行自诊断 系统正常工作时, 运行内部诊断程序, 对系统本身、PLC、伺服驱动器、伺服电动机以及与数控装置相连的外部设备的诊断。只要系统不断电, 自诊断会随时检查不正确的事件。

(3) 脱机诊断 当系统出现故障后, 需要停机, 将外部诊断程序传入系统内部存储器, 运行并对其诊断。这种诊断还可以采用远程通信方式进行, 如 SIEMENS840 系统, 有的系统具有人工智能故障诊断功能, 例如 FANUC 15 系统。

## 二、CNC 装置的特点

CNC 装置的功能主要反映在准备功能 G 代码和辅助功能 M 代码上。根据数控机床的类型、用途和档次的高低, CNC 装置的功能有很大的不同。

1. 数控装置的主要功能 CNC 装置能控制的轴数以及能同时控制的轴数 (联动) 是主要性之一。可以通过其硬件和软件的结合, 实现许多的功能。

(1) 准备功能 准备功能也称 G 功能, 用来指令机床动作方式。包括基本移动、程序暂停、平面选择、坐标设定、刀具补偿、基准点返回、固定循环、米/英制转换等。

(2) 主轴速度功能 CNC 装置可以用 S 代码控制主轴的运动, 对主轴转速、转向进行