

高职高专应用型人才培养机械类规划教材



# 数控技术及其应用

胡仁喜 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



高职高专应用型人才培养机械类规划教材

# 数控技术及其应用

胡仁喜 主编

江苏工业学院图书馆  
藏书章



机械工业出版社

本书系统地介绍了数控技术的概念、数控机床的特点分类和数控技术的发展情况、计算机数控系统装置、数控插补控制原理及数据处理、数控机床伺服系统、数控机床的位置检测装置、数控加工编程基础、计算机数字控制技术的应用等内容。

本书内容从培养应用型本科人才的目的出发,兼顾一般工科院校的教学特点,既注重先进性又考虑实用性,既有理论又有实例。各章既有联系又有一定的独立性。每章末均附有习题。

本书可作为普通本科院校数控技术应用专业和机电类专业数控技术、数控编程及数控原理课程的教学用书,也可供从事机床数控技术的人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控技术及其应用/胡仁喜主编. —北京:机械工业出版社, 2009. 1  
高职高专应用型人才培机械类规划教材  
ISBN 978 - 7 - 111 - 25539 - 0

I. 数… II. 胡… III. 数控机床—高等学校:技术学校—教材  
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 174991 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)  
责任编辑:曲彩云 责任印制:李 妍  
北京蓝海印刷有限公司印刷  
2009 年 1 月第 1 版第 1 次印刷  
184mm × 260mm · 14.25 印张 · 353 千字  
0001—4000 册  
标准书号:ISBN 978 - 7 - 111 - 25539 - 0  
定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
销售服务热线电话:(010) 68326294  
购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643  
编辑热线电话:(010) 68327259  
封面无防伪标均为盗版

# 前言

数控技术从 20 世纪 50 年代初,在美国首先应用至今,已有五十多年的历史了,它从机床工业开始,如今已渗透到航空、造船等其他机械制造部门。从过去的单机控制发展到现在的成组控制,一条线控制以至整个车间和工厂的自动化控制,涉及的新技术和配套技术也越来越多,数控技术已成为机电工业不可忽视的新技术,而且随着信息社会的到来,这一技术还在不断深入和丰富之中。

数控技术是通过计算机用数字化信息控制生产过程的自动化技术,它综合了计算机、自动控制、自动检测、精密测量和精密机械等高新技术,由各种技术相互交叉、渗透、有机结合而成的一门综合科学,是自动化机械系统、机械人、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)、CAD/CAM 等高新技术的基础。数控技术的水平、拥有和普及的程度,已经成为衡量一个国家综合国力和工业现代化水平的重要标志。因此,为适应这种形势,需要培养大批熟练掌握数控技术的工程技术人才。

本书注重内容的先进性、科学性、系统完整性和实用性,既简要介绍了当前世界的先进技术及其发展方向,又详细叙述了数控技术的基本理论和方法。其中第 1 章介绍数控技术的基本概念及其发展、数控机床的特点和分类以及数控机床和数控系统的发展;第 2 章介绍计算机数控系统软硬件体系的组成和结构,简单介绍了数控用可编程控制器 PLC 和开放式数据系统的结构和特点;第 3 章介绍数控技术的轨迹控制原理,其中重点介绍了逐点比较法、数字积分法、数据采样法等几种插补算法,以及数控技术的刀具半径、长度补偿原理与实现;第 4 章介绍数控机床的伺服驱动系统,其中主要介绍了步进电动机伺服系统、直流电动机伺服系统以及交流电动机伺服系统;第 5 章介绍数控机床和位置检测装置,其中数控机床主要介绍了数控车床和数控铣床,由于现代加工技术的发展,应时代要求还介绍了目前在精工实习中使用较多的电火花线切割机床,在位置检测装置中介绍了感应同步器、旋转变压器以及磁阻式旋转变压器;第 6 章介绍数控机床的加工程序编制,其中重点介绍了数控车床、数控铣床以及数控线切割机床的坐标系确定方法、主要功能指令的使用方法,而且都举了简单的实例引导大家进入数控加工程序编制的殿堂,此外还提到了程序编制中的几种数值计算方法;第 7 章介绍数控技术的应用,重点讲述了数控技术在虚拟制造技术中的应用,这里以数控车床和数控铣床为例进行了介绍,此外,对柔性制造系统、计算机集成制造系统也进行了较简要的介绍,最后还举例介绍了数控技术应用于工业机器人中的情况。

本书收集了近期国内外有关数控发展和应用的先进资料,还参考了一些兄弟院校的教材和资料,结合笔者多年教学与科研的经验和成果,根据教学需要编写了本教材,以供从事数控技术方面教学、科研、使用与维修等工作人员参考。

在此对相关作者表示深切的谢意。



# 目 录

## 前言

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 第 1 章 绪论 .....                      | 1  |
| 1.1 数控技术的基本概念 .....                 | 1  |
| 1.1.1 数控技术 .....                    | 1  |
| 1.1.2 数控机床及其加工原理 .....              | 1  |
| 1.1.3 数控机床的适用范围 .....               | 4  |
| 1.2 数控机床的特点及其分类 .....               | 4  |
| 1.2.1 数控机床的特点 .....                 | 4  |
| 1.2.2 数控机床的分类 .....                 | 5  |
| 1.3 数控机床和数控系统的发展 .....              | 8  |
| 1.4 数控技术的发展 .....                   | 10 |
| 1.5 习题 .....                        | 12 |
| 第 2 章 计算机数控系统 .....                 | 13 |
| 2.1 概述 .....                        | 13 |
| 2.1.1 CNC 系统的组成 .....               | 13 |
| 2.1.2 CNC 系统的工作过程 .....             | 14 |
| 2.2 CNC 系统的硬件体系结构 .....             | 15 |
| 2.3 CNC 系统的软件结构 .....               | 18 |
| 2.3.1 概述 .....                      | 18 |
| 2.3.2 CNC 装置软件结构 .....              | 18 |
| 2.3.3 速度计算和加减速控制 .....              | 22 |
| 2.3.4 插补程序、位置控制和故障诊断 .....          | 30 |
| 2.4 数控用可编程控制器 .....                 | 31 |
| 2.4.1 可编程控制器的性能指标 .....             | 31 |
| 2.4.2 可编程控制器的类型 .....               | 31 |
| 2.4.3 可编程控制器的结构 .....               | 33 |
| 2.4.4 PLC 用户控制程序的编制方法 .....         | 34 |
| 2.4.5 PLC 的工作过程和程序执行特点 .....        | 35 |
| 2.5 开放式数控系统的结构与特点 .....             | 36 |
| 2.5.1 标准的软件化、开放式控制器是真正的下一代控制器 ..... | 36 |
| 2.5.2 开放式数控系统所具有的主要特点 .....         | 38 |
| 2.5.3 开放式结构数控系统应用 .....             | 39 |
| 2.6 习题 .....                        | 41 |



|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 第3章 数控技术轨迹控制原理 .....             | 42  |
| 3.1 概述 .....                     | 42  |
| 3.1.1 逐点比较法 .....                | 43  |
| 3.1.2 数字积分法 .....                | 52  |
| 3.1.3 数据采样法 .....                | 57  |
| 3.2 数控技术补偿原理与实现 .....            | 65  |
| 3.2.1 刀具半径补偿原理与实现 .....          | 65  |
| 3.2.2 刀具长度补偿原理与实现 .....          | 69  |
| 3.3 习题 .....                     | 71  |
| 第4章 数控机床的伺服驱动系统 .....            | 73  |
| 4.1 概述 .....                     | 73  |
| 4.1.1 数控机床伺服系统的概念及组成 .....       | 73  |
| 4.1.2 伺服系统应具有的基本性能 .....         | 73  |
| 4.1.3 位置控制系统和速度控制系统的主要技术指标 ..... | 75  |
| 4.1.4 伺服系统的分类 .....              | 76  |
| 4.2 步进电动机伺服系统 .....              | 77  |
| 4.2.1 步进电动机工作原理 .....            | 77  |
| 4.2.2 步进电动机的主要性能指标 .....         | 79  |
| 4.2.3 步进电动机的选用和有关参数核算 .....      | 80  |
| 4.2.4 步进电动机的控制方法 .....           | 82  |
| 4.2.5 步进电动机的驱动电源 .....           | 84  |
| 4.3 直流电动机伺服系统 .....              | 87  |
| 4.3.1 直流伺服电动机的结构和工作原理 .....      | 87  |
| 4.3.2 直流伺服电动机的调速原理和常用的调速方法 ..... | 87  |
| 4.3.3 晶体管脉宽调制器式速度控制单元 .....      | 89  |
| 4.3.4 直流调速系统的动态响应过程 .....        | 92  |
| 4.4 交流电动机伺服系统 .....              | 99  |
| 4.4.1 同步型交流伺服系统 .....            | 99  |
| 4.4.2 异步型交流伺服系统 .....            | 100 |
| 4.4.3 交流伺服驱动变频电源 .....           | 102 |
| 4.5 习题 .....                     | 105 |
| 第5章 数控机床及位置检测装置 .....            | 106 |
| 5.1 数控机床 .....                   | 106 |
| 5.1.1 数控车床概述 .....               | 106 |
| 5.1.2 数控铣床概述 .....               | 112 |
| 5.1.3 数控电火花线切割机床概述 .....         | 117 |
| 5.2 位置检测装置 .....                 | 120 |

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 5.2.1 | 位置检测装置概述 .....       | 120 |
| 5.2.2 | 感应同步器 .....          | 121 |
| 5.2.3 | 旋转变压器 .....          | 124 |
| 5.2.4 | 编码器 .....            | 127 |
| 5.2.5 | 光栅 .....             | 130 |
| 5.2.6 | 磁栅 .....             | 133 |
| 5.2.7 | 激光干涉仪 .....          | 135 |
| 5.3   | 习题 .....             | 138 |
| 第6章   | 数控加工程序编制 .....       | 139 |
| 6.1   | 程序编制的基本概念 .....      | 139 |
| 6.1.1 | 程序编制的一般步骤与方法 .....   | 139 |
| 6.1.2 | 程序编制有关指令代码 .....     | 141 |
| 6.1.3 | 程序结构和格式 .....        | 147 |
| 6.2   | 数控车床编程基础 .....       | 149 |
| 6.2.1 | 数控车床的坐标系和运动方向 .....  | 149 |
| 6.2.2 | 主要功能指令的使用 .....      | 152 |
| 6.2.3 | 数控车床编程举例 .....       | 165 |
| 6.3   | 数控铣床编程基础 .....       | 168 |
| 6.3.1 | 数控铣床的坐标系 .....       | 168 |
| 6.3.2 | 主要功能指令 .....         | 170 |
| 6.4   | 数控线切割机床的基本编程方法 ..... | 178 |
| 6.4.1 | 数控线切割机床编程基础 .....    | 178 |
| 6.4.2 | ISO 格式编程 .....       | 178 |
| 6.4.3 | 3B 格式编程 .....        | 180 |
| 6.4.4 | 4B 格式编程 .....        | 183 |
| 6.5   | 程序编制中的数学处理 .....     | 185 |
| 6.5.1 | 基点坐标计算 .....         | 185 |
| 6.5.2 | 节点坐标计算 .....         | 188 |
| 6.5.3 | 刀位点轨迹的坐标计算 .....     | 190 |
| 6.5.4 | 列表曲线的数学处理 .....      | 191 |
| 6.5.5 | 简单立体形面零件的数值计算 .....  | 193 |
| 6.5.6 | 组合曲面的数学处理 .....      | 194 |
| 6.6   | 习题 .....             | 196 |
| 第7章   | 数控技术的应用 .....        | 198 |
| 7.1   | 虚拟数控技术 .....         | 198 |
| 7.1.1 | 虚拟数控技术的主要内容 .....    | 198 |
| 7.1.2 | 虚拟数控技术的发展历程 .....    | 199 |
| 7.1.3 | 虚拟数控车床 .....         | 200 |



|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 7.1.4 虚拟数控铣床 .....       | 204 |
| 7.1.5 总结 .....           | 206 |
| 7.2 柔性制造系统 .....         | 207 |
| 7.2.1 柔性制造系统的产生与发展 ..... | 207 |
| 7.2.2 柔性制造系统的定义 .....    | 207 |
| 7.2.3 柔性制造系统的类型与构成 ..... | 208 |
| 7.2.4 柔性制造系统的优点 .....    | 209 |
| 7.2.5 柔性制造系统的应用实例 .....  | 209 |
| 7.3 计算机集成制造系统 .....      | 211 |
| 7.3.1 计算机集成制造系统简介 .....  | 211 |
| 7.3.2 CIMS 的应用进展 .....   | 213 |
| 7.4 数控技术应用于工业机器人 .....   | 215 |
| 7.5 习题 .....             | 217 |
| 参考文献 .....               | 219 |

# 第 1 章 绪论

## 1.1 数控技术的基本概念

### 1.1.1 数控技术

数字控制 (Numerical Control, NC) 技术简称数控技术, 顾名思义就是以数字的形式实现控制的一门技术。如果一种设备的操作命令是以数字的形式来描述, 工作过程是按照规定的程序自动地进行, 那么这种设备就称为数控设备。数控机床、数控火焰切割机、数控绘图机、数控冲剪机等都是属于这个范围内的自动化设备。用图 1-1 来描述数控设备的一般形式。

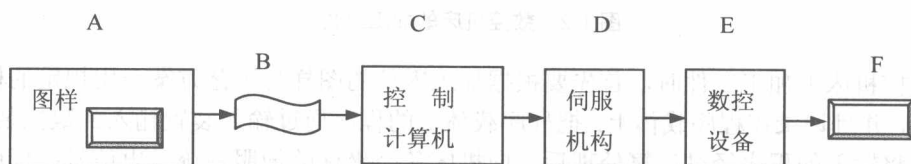


图 1-1 数控设备的一般形式

图 1-1 中, A 为被加工物的图样, 图样上的数据大致分为两类: 几何数据和工艺数据。这些数据是指示给数控设备命令的原始依据 (简称“指令”)。B 为控制介质, 通常用纸带或磁带作为记载指令的控制介质。C 为数据处理和控制的电路, 一般由一台控制计算机组成, 原始数据经过它处理后, 变成伺服机构能够接受的位置指令和速度指令。D 为伺服机构, “伺服”这个词起源于希腊语“奴隶”, 若把 C 控制计算机比拟为人的“头脑”, 则伺服机构相当于人的“手”和“足”, 我们要求伺服机构无条件地执行“大脑”的意志。E 为数控设备, F 为加工后的物件。

随着生产的发展和—个国家工业水平的提高, 数控设备在机械、电子和国防等行业中的应用范围愈来愈广泛。在实际采用时, 一定要充分考虑其技术经济效果。目前, 选用数控设备主要考虑 3 种因素: 即单件、中小批量的生产; 形状比较复杂, 精度要求高的加工; 产品更新频繁, 生产周期要求短的加工。凡是符合这 3 种因素之一的情况, 采用数控设备对于改进产品质量、减轻工人劳动强度、提高经济效益等都会获得显著的效果。

### 1.1.2 数控机床及其加工原理

本书主要讲述应用在数控机床上的数字控制技术, 下面讲述其具体含义。

数字控制机床 (Numerical Control Machine Tools) 简称数控机床, 这是一种将数字计

算技术应用于机床的控制技术。它把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,按图样要求的形状和尺寸自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床,代表了现代机床控制技术的发展方向,是一种典型的机电一体化产品。数控机床加工工件的过程如图 1-2 所示。

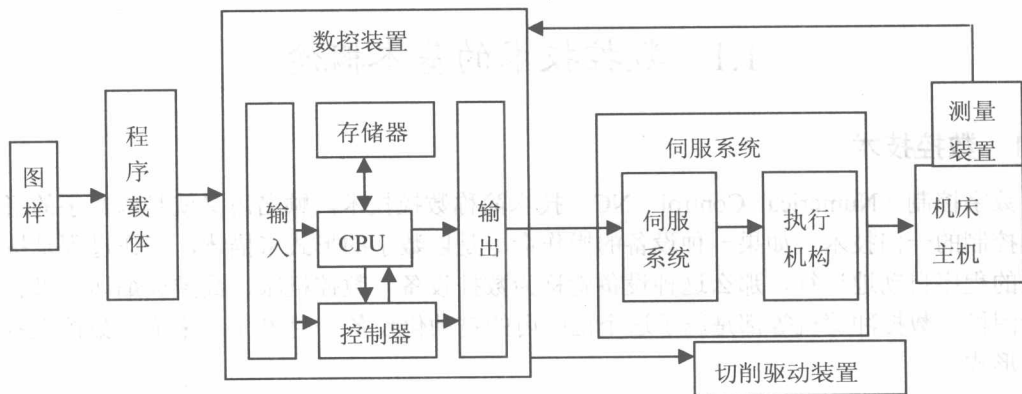


图 1-2 数控机床的加工过程

在数控机床上加工工件时,首先要根据加工零件的图样与工艺方案,用规定的格式编写程序单,并且记录在程序载体上;把程序载体上的程序通过输入装置输入到数控装置中;数控装置将输入的程序经过运算处理后,向机床各个坐标的伺服系统发出信号;伺服系统根据数控装置发出的信号,通过伺服执行机构(如步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机),经传动装置(如滚珠丝杠螺母副等),驱动机床各运动部件,使机床按规定的动作顺序、速度和位移量进行工作,从而制造出符合图样要求的零件。

由上述数控机床的工作过程可知,数控机床的基本组成包括数控加工程序、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。下面分别对各组成部分的基本工作原理进行概要说明。

### 1. 数控加工程序

数控加工程序是数控机床进行自动加工的指令序列。数控加工程序包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(进给量、主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码,存储在一种程序载体上,如穿孔纸带、盒式磁带、软磁盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到 CNC (Computer Numerical Control) 单元。

### 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用 CNC 装置,这种 CNC 装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控 (Software NC)。CNC 系统是一种位置控制系统,它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件加工出所需要的零件。因此,数控装置主要由输入、处理和输出 3 个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理地组织,使整个系统协调地进行工作。

(1) 输入装置 将数控指令输入数控装置, 根据程序载体的不同, 相应有不同的输入装置。目前主要有键盘输入、磁盘输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的 DNC (直接数控) 输入, 现仍有不少系统还保留有光电阅读机的纸带输入形式。

① 纸带输入方式。可用纸带光电阅读机读入零件程序, 直接控制机床运动, 也可以将纸带内容读入存储器, 用存储器中储存的零件程序控制机床运动。

② MDI 手动数据输入方式。操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令, 它适用于比较短的程序。

③ 在控制装置编辑状态 (EDIT) 下, 用软件输入加工程序, 并存入控制装置的存储器中, 这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。

④ 在具有会话编程功能的数控装置上, 可按照显示器上提示的问题, 选择不同的菜单, 用人机对话的方法, 输入有关的尺寸数字, 就可自动生成加工程序。

⑤ 采用 DNC 输入方式。把零件程序保存在上级计算机中, CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 输入方式多用于采用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件并直接生成零件程序的情况。

(2) 信息处理 输入装置将加工信息传给 CNC 单元, 编译成计算机能识别的信息, 由信息处理部分按照控制程序的规定, 逐步存储并进行处理后, 通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统和主运动控制部分。CNC 系统的输入数据包括: 零件的轮廓信息 (起点、终点、直线、圆弧等)、加工速度及其他辅助加工信息 (如换刀、变速、冷却液开关等)。数据处理的目的是完成插补运算前的准备工作。数据处理程序还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。

(3) 输出装置 输出装置与伺服机构相连。输出装置根据控制器的命令接收运算器的输出脉冲, 并把它送到各坐标的伺服控制系统, 经过功率放大, 驱动伺服系统, 从而控制机床按规定要求运动。

### 3. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分, 用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统的作用是接收来自数控装置的指令信息, 经功率放大、整形处理后, 转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节, 其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标。因此, 对数控机床的伺服驱动装置, 要求具有良好的快速反应性能, 准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号, 并能忠实地执行来自数控装置的指令, 提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中, 数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较, 并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

### 4. 机床主体

机床主体是数控机床的主体。它包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴

箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动地完成各种切削加工的机械部分。与传统的机床相比，数控机床主体具有如下结构特点。

(1) 采用具有高刚度、高抗振性及较小热变形的机床新结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床主机的刚度和抗振性，使机床主体能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及采用热位移补偿等措施，可减少热变形对机床主机的影响。

(2) 广泛采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置，使数控机床的传动链缩短，简化了机床机械传动系统的结构。

(3) 采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和运动部件，如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

### 5. 数控机床的辅助装置

辅助装置是保证充分发挥数控机床功能所必需的配套装置，常用的辅助装置包括：气动、液压装置，排屑装置，冷却、润滑装置，回转工作台，数控分度头，防护和照明等各种辅助装置。

## 1.1.3 数控机床的适用范围

数控机床是一种可编程的通用加工设备，但是因设备投资费用较高，还不能用数控机床完全替代其他类型的设备，因此，数控机床有其一定的适用范围。数控机床最适宜加工以下类型的零件：

- (1) 生产批量小的零件（100 件以下）。
- (2) 需要进行多次改型设计的零件。
- (3) 加工精度要求高、结构形状复杂的零件，如箱体类，曲线、曲面类零件。
- (4) 需要精确复制和尺寸一致性要求高的零件。
- (5) 价值昂贵的零件，这种零件虽然生产量不大，但是如果加工中因出现差错而报废，将产生巨大的经济损失。

## 1.2 数控机床的特点及其分类

### 1.2.1 数控机床的特点

数控机床与普通机床相比较，具有以下 6 个特点。

#### 1. 自动化程度高

数控机床对零件进行加工，是输入按图样事先编制好的加工程序，全部加工过程都由机床自动完成。操作者除了操作键盘、装卸零件、安装刀具、完成关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度下降，自动化程度高。

## 2. 加工精度高

数控机床由精密机械和自动化控制系统组成,因此有较高的加工精度,且不受零件复杂程度所限制。同时,数控机床是按所编程序自动进行加工的,消除了操作者的人为误差,提高了同批零件尺寸的一致性,使加工质量稳定。

## 3. 生产率高

数控机床在一次装夹中能够完成较多表面的加工,省去了划线、多次装夹、检测等工序。空行程时,采用快速进给,生产率高。如果采用加工中心,实现自动换刀,利用转台自动换位,使一台机床上实现多道工序加工,缩短半成品周转时间,则生产率提高尤为明显。

## 4. 对加工对象适应性强

在数控机床上改变加工对象时,除了相应更换刀具和解决工件装夹方式外,只要重新编写输入该零件的加工程序,便可自动加工出新的零件,不必对机床作任何复杂的调整,为新产品的研制开发以及产品的改进、改型提供了方便。

## 5. 易于建立计算机通信网络

由于数控机床是使用数字信息,所以易于与计算机辅助设计和制造(CAD/CAM)系统连接,形成计算机辅助设计、辅助制造与数控机床紧密结合的一体化系统。

## 6. 有利于生产管理的现代化

利用数控机床能准确地计算零件的加工工时,并且有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作,易于构成柔性制造系统(FMS)和计算机集成制造系统(CIMS)。

虽然数控机床有上述优点,但也存在数控机床价格昂贵,加工成本高,技术复杂,初期投资大,维修费用高,对管理及操作人员素质要求较高等缺点。

## 1.2.2 数控机床的分类

数控机床的品种规格很多,可以按多种原则进行分类。归纳起来,常按以下4种方法进行分类。

### 1. 按工艺用途分类

(1) 金属切削类数控机床 这类数控机床与传统的普通金属切削机床品种一样,有数控车、铣、镗、钻、磨床等。每一种又有很多品种,如数控铣床中还有立铣、卧铣、工具铣、龙门铣等。

(2) 金属成形数控机床 这类数控机床有数控折弯机、数控组合冲床、数控弯管机和数控回转头压力机等。

(3) 数控特种加工机床 这类数控机床有数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控火焰切割机和数控激光切割机床等。

此外,在非加工中也大量采用了数控技术,如数控装配机、多坐标测量机和工业机器人等。



## 2. 按运动方式分类

(1) 点位控制数控机床 这类机床的加工移动部件只能实现从一个位置到另一个位置的精确移动, 在移动途中不进行加工。为了在精确定位基础上有尽可能高的生产率, 两相关点之间的移动先是以快速移动接近定位点, 然后降速 1~3 级, 再慢慢靠近, 以保证加工精度。

图 1-3a 是点位控制示意图, 主要应用于数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控测量机和数控电焊机等。

(2) 点位直线控制数控机床 这类数控机床的加工移动部件不仅要实现从一个位置到另一个位置的精确移动, 且能实现平行于坐标轴的直线切削加工运动及沿坐标轴成  $45^\circ$  的直线切削加工, 但不能沿任意斜率的直线进行切削加工。

图 1-3b 为点位直线控制示意图, 主要应用于数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床 这类数控机床能够同时控制 2~5 个坐标轴联动, 加工形状复杂的零件, 它不仅控制机床移动部件的起点与终点坐标, 而且控制整个加工过程中每一点的速度与位移量。例如在铣床上进行曲线圆弧切削及复杂曲面切削时, 就需要用这种控制方式。

图 1-3c 为轮廓控制示意图, 主要应用于数控铣床、数控凸轮磨床。

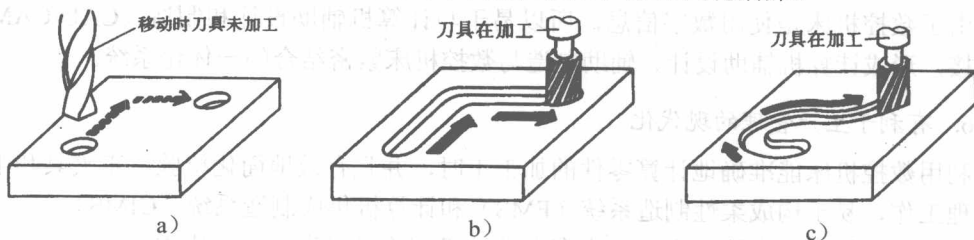


图 1-3 数控系统控制方式

## 3. 按控制方式分类

(1) 开环控制系统 就是不带反馈装置的控制系统。通常使用步进电动机或功率步进电动机作为执行机构, 数控装置输出的脉冲通过环形分配器和驱动电路, 不断改变供电状态, 使步进电动机转过相应的步距角, 再经过减速齿轮带动丝杠旋转, 最后转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率和脉冲数所决定的。图 1-4 为典型的开环控制系统框图。

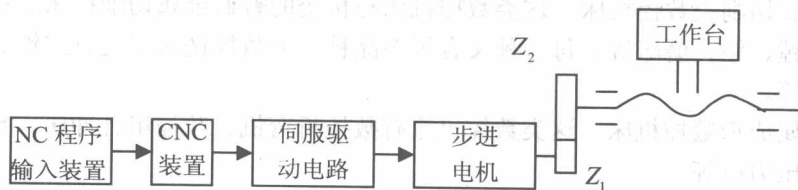


图 1-4 典型的开环控制系统框图

由于没有反馈装置, 开环系统的步距误差及机械部件的传动误差不能进行校正补偿,

所以控制精度较低。但开环系统结构简单、运行平稳、成本低、价格低廉、维修方便，可广泛应用于精度要求不高的经济型数控系统中。

(2) 半闭环控制系统 就是在伺服电动机输出端或丝杠轴端装有角位移检测装置（如感应同步器或光电编码器等），通过测量角位移，间接地检测移动部件的直线位移，然后反馈到数控装置中。由于角位移检测装置比直线位移检测装置结构简单，安装方便，因此配有精密滚珠丝杠和齿轮的半闭环系统应用比较广泛。图 1-5 为半闭环控制系统框图。

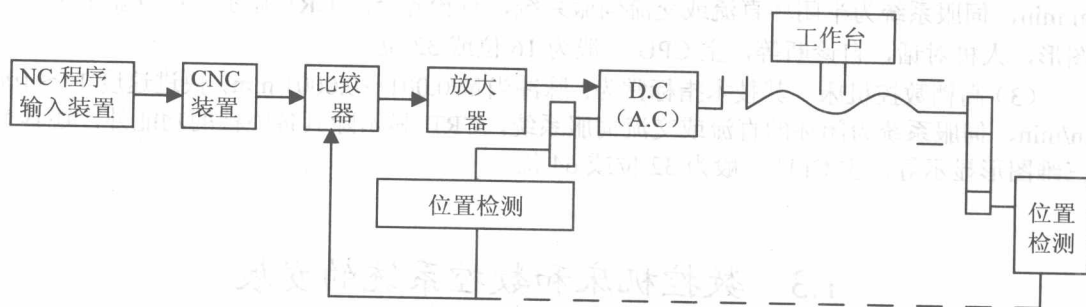


图 1-5 半闭环控制系统框图

(3) 闭环控制系统 就是在数控机床移动部件上直接安装直线位置检测装置，且将测量到的实际位移值反馈到数控装置中，与输入指令的位移值进行比较，用差值进行补偿，使移动部件按实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确定位。

从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的精度，而与传动链的误差无关，但由于该系统受进给丝杠的拉压刚度、扭转刚度、摩擦阻尼特性和间隙等非线性因素的影响，给测试工作带来很大的困难。若各种参数匹配不适当，会引起系统振荡，造成系统工作不稳定，影响定位精度，因此闭环控制系统安装调试非常复杂，一定程度上限制了对其更广泛的应用。图 1-6 为闭环控制系统框图。

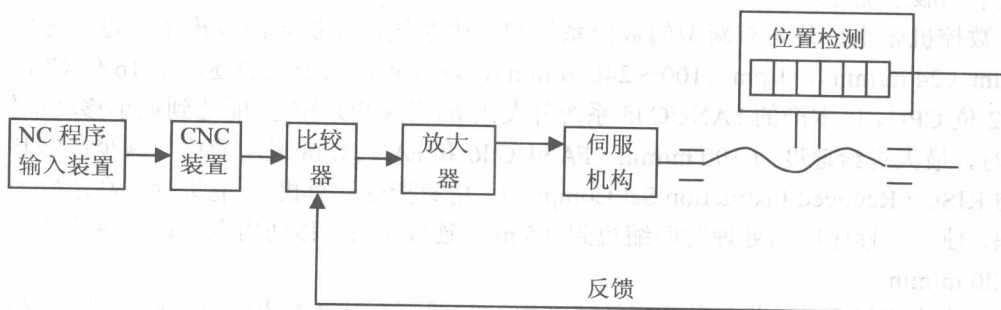


图 1-6 闭环控制系统框图

#### 4. 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平可以把数控系统分为高、中、低 3 档。这种分法没有明确的定义和确切的界限。数控系统（或数控机床）的水平高低由主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平来确定。

(1) 低档机床 也称经济型数控机床。其特点是根据实际的使用要求，合理地简化系

统,以降低产品价格。目前,我国把由单片机或单板机与步进电动机组成的数控系统和功能简单、价格低的系统称为经济型数控系统。主要用于车床、线切割机床以及旧机床的数控化改造等。

这类机床的技术指标通常为:脉冲当量  $0.01\sim 0.005\text{ mm}$ ,快进速度  $4\sim 10\text{ m/min}$ ,开环,步进电动机驱动,用数码管或简单 CRT 显示,主 CPU 一般为 8 位或者 16 位。

(2) 中档数控机床 其技术指标常为:脉冲当量  $0.005\sim 0.001\text{ mm}$ ,快进速度  $15\sim 24\text{ m/min}$ ,伺服系统为半闭环直流或交流伺服系统,有较齐全的 CRT 显示,可以显示字符和图形,人机对话,自诊断等,主 CPU 一般为 16 位或 32 位。

(3) 高档数控机床 其技术指标常为:脉冲当量  $0.001\sim 0.0001\text{ mm}$ ,快进速度  $15\sim 100\text{ m/min}$ ,伺服系统为闭环的直流或交流伺服系统, CRT 显示除具备中档的功能外,还具有三维图形显示等,主 CPU 一般为 32 位或 64 位。

### 1.3 数控机床和数控系统的发展

随着先进生产技术的发展,要求现代数控机床向高速度、高精度、高可靠性、智能化和更完善的功能方向发展。

#### 1. 高速、高精度化

高速化指数控机床的高速切削和高速插补进给,目标是在保证加工精度的前提下,提高加工速度。这不仅要求数控系统的处理速度快,同时还要求数控机床具有大功率和大转矩的高速主轴、高速进给电动机、高性能的刀具、稳定的高动态刚度。

高精度包括高进给分辨率、高定位精度和重复定位精度、高动态刚度、高性能闭环交流数字伺服系统等。

数控机床由于装备有新型的数控系统和伺服系统,使机床的分辨率和进给速度达到  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  ( $24\text{ m/min}$ ),  $1\text{ }\mu\text{m}$  ( $100\sim 240\text{ m/min}$ ),现代数控系统已经逐步由 16 位 CPU 过渡到 32 位 CPU。日本产的 FANUC I5 系统开发出 64 位 CPU 系统,能达到最小移动单位  $0.1\text{ }\mu\text{m}$  时,最大进给速度为  $100\text{ m/min}$ 。FANUC I6 和 FANUC I8 采用简化与减少控制基本指令的 RISC (Reduced Instruction Set Computer, 精简指令计算机),能进行更高速度的数据处理,使一个程序段的处理时间缩短到  $0.5\text{ ms}$ ,连续  $1\text{ mm}$  移动指令的最大进给速度可达到  $120\text{ m/min}$ 。

日本交流伺服电动机已装上每转可产生  $1\times 10^6$  万个脉冲的内藏位置检测器,其位置检测精度可达到  $0.01\text{ mm/脉冲}$ 及在位置伺服系统中采用前馈控制与非线性控制等方法。补偿技术方面,除采用齿隙补偿、丝杠螺距误差补偿、刀具补偿等技术外,还开发了热补偿技术,减少由热变形引起的加工误差。

#### 2. 开放式

要求新一代数控机床的控制系统是一种开放式、模块化的体系结构。系统的构成要素应是模块化的,同时各模块之间的接口必须是标准化的;系统的软件、硬件构造应是“透