

JISUANJI SHUKONG JISHU

# 计算机数控技术

彭美武 主编 杨顺田 主审



化学工业出版社

JISUANJI SHUKONG JISHU

# 计算机数控技术

彭美武 主编 杨顺田 主审



化学工业出版社

· 北京 ·



本书以数控机床为主线,比较全面、系统地介绍了数控技术的主要内容,包括绪论、数控机床机械结构、计算机数控系统、数控机床伺服驱动系统、数控机床位置检测装置、数控技术综合应用实践等内容。

同时,为了让读者所学的知识能够真正得到综合应用,还专门介绍了数控技术综合应用实践,特别是对数控机床各部分电路分析、参数的调试过程等进行了详细的阐述,读者学习后,将对数控技术会有更深刻的认识,掌握的知识也会更加巩固。

本书可作为高等职业技术学院、中专、电大等数控专业的教材和参考书,也可作为企业数控加工职业技能的培训教程,同时可供数控加工技术人员阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

计算机数控技术 / 彭美武主编. —北京: 化学工业出版社, 2011.1

ISBN 978-7-122-10278-2

I. 计… II. 彭… III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 262886 号

---

责任编辑: 王听讲

文字编辑: 吴开亮

责任校对: 王素芹

装帧设计: 韩 飞

---

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 14½ 字数 356 千字 2011 年 3 月北京第 1 版第 1 次印刷

---

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

---

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

# 前 言

制造技术和装备是人类生产活动的最基本的生产资料，而数控技术又是当今先进制造技术和装备的核心技术。机械制造业的竞争，其实质是数控技术的竞争。数控技术水平的高低、数控设备拥有量的多少，以及数控技术的普及程度，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。

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术，数控装备是以数控技术为代表的新技术对传统制造产业和新兴制造业的渗透形成的机电一体化产品，即所谓的数字化装备，其技术范围覆盖很多领域，包括：机械制造技术、信息处理及加工、传输技术、自动控制技术、伺服驱动技术、传感器技术和软件技术等。

随着数控机床的大量使用，急需培养大批能熟练掌握现代数控技术的人才。为适应这种形势的要求，既要培养高水平的综合型、创新型的设计人才，也要培养高素质、高技能的实用型数控人才。本书以实用技术为主，介绍了数控技术及其涉及的几个重要方面内容。本书具有以下几方面特点。

1. 内容系统、全面，适合各学校通用教学。
2. 内容以实用、适度为原则，避免枯燥地讲解纯理论。
3. 在结构编排及内容表达方式上，注重由浅入深、循序渐进，力求做到图文并茂、通俗易懂。
4. 为了把前面所学知识得到充分地应用，结合编者们改造数控机床的经验，本书设专章全面介绍和分析了典型机床各部分的控制系统，还包括详细的调试过程。
5. 每章的后面均附有思考题，可以巩固所学知识。
6. 附录给出了详细的电路图，方便教学使用。

我们将为使用本书的教师免费提供电子教案，需要者可以到化学工业出版社教学资源网站<http://www.cipedu.com.cn>免费下载使用。

本书由四川工程职业技术学院彭美武主编，杨顺田主审；苟建峰编写了第 1、3 章，喻廷红编写了第 2 章，冯华勇编写了第 4 章的 4.1~4.3 节和第 6 章及附录，彭美武编写了第 4 章的 4.4、4.5 节和第 5 章。

由于时间仓促和编者水平有限，书中的疏漏在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者  
2011 年 1 月

# 目 录

|                      |    |
|----------------------|----|
| 第1章 绪论               | 1  |
| 1.1 基本概念             | 1  |
| 1.1.1 数控技术的产生        | 1  |
| 1.1.2 数控技术相关术语       | 1  |
| 1.1.3 数控机床组成及加工原理    | 2  |
| 1.2 数控机床的分类          | 5  |
| 1.2.1 按照运动控制分类       | 5  |
| 1.2.2 按照伺服系统特点分类     | 6  |
| 1.2.3 按照数控系统功能分类     | 7  |
| 1.2.4 按照加工工艺用途分类     | 8  |
| 1.3 数控机床的特点及发展       | 9  |
| 1.3.1 数控机床的特点        | 9  |
| 1.3.2 数控技术的发展趋势      | 10 |
| 思考题                  | 14 |
| 第2章 数控机床机械结构         | 15 |
| 2.1 概述               | 15 |
| 2.1.1 数控机床机械结构组成     | 15 |
| 2.1.2 数控机床机械结构主要特点   | 15 |
| 2.1.3 数控机床机械结构要求     | 16 |
| 2.2 数控机床的结构及总体布局     | 18 |
| 2.2.1 数控车床的结构及分类     | 18 |
| 2.2.2 数控车床的布局形式      | 21 |
| 2.2.3 数控铣床及加工中心结构及分类 | 22 |
| 2.2.4 数控铣床及加工中心布局形式  | 25 |
| 2.3 数控机床的主传动系统       | 25 |
| 2.3.1 主传动系统的基本要求     | 25 |
| 2.3.2 主轴的传动方式        | 26 |
| 2.3.3 主轴组件           | 27 |
| 2.3.4 电主轴            | 30 |
| 2.3.5 数控车床及车削中心主传动系统 | 31 |

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| 2.3.6 数控铣床及加工中心主传动系统     | 32        |
| 2.4 数控机床的进给传动系统          | 33        |
| 2.4.1 进给传动系统的基本要求        | 33        |
| 2.4.2 进给的传动方式            | 34        |
| 2.4.3 联轴器及滚珠丝杠螺母副        | 34        |
| 2.4.4 直线电动机              | 35        |
| 2.5 数控机床导轨               | 37        |
| 2.5.1 数控机床对导轨的要求         | 37        |
| 2.5.2 数控机床导轨的类型及特点       | 38        |
| 2.6 数控机床回转工作台            | 41        |
| 2.6.1 回转工作台的要求和形式        | 41        |
| 2.6.2 分度工作台              | 41        |
| 2.6.3 回转工作台              | 43        |
| 2.7 数控机床自动换刀装置           | 45        |
| 2.7.1 数控机床自动换刀装置基本要求     | 45        |
| 2.7.2 数控车床换刀装置           | 45        |
| 2.7.3 加工中心换刀装置           | 48        |
| 思考题                      | 53        |
| <b>第3章 计算机数控系统</b>       | <b>55</b> |
| 3.1 概述                   | 55        |
| 3.1.1 常见的数控系统及其特点        | 55        |
| 3.1.2 数控系统的组成            | 60        |
| 3.1.3 数控系统的工作过程          | 60        |
| 3.2 运动轨迹插补原理             | 63        |
| 3.2.1 概述                 | 63        |
| 3.2.2 逐点比较法              | 64        |
| 3.2.3 数字积分法              | 72        |
| 3.2.4 数据采样法              | 83        |
| 3.3 数控系统硬件结构             | 89        |
| 3.3.1 数控系统硬件结构及接口介绍      | 89        |
| 3.3.2 FANUC 数控系统硬件结构     | 91        |
| 3.3.3 SINUMERIK 数控系统硬件结构 | 94        |
| 3.3.4 华中数控系统硬件结构         | 96        |
| 3.4 数控系统软件结构             | 97        |
| 3.4.1 数控系统软件组成与功能        | 97        |
| 3.4.2 数控系统软件结构特点         | 99        |
| 3.5 辅助功能与 PLC            | 100       |
| 3.5.1 数控机床中的 PLC 功能      | 100       |
| 3.5.2 数控机床 PLC 的特点       | 102       |
| 3.5.3 FANUC 数控系统 PLC 介绍  | 103       |
| 3.5.4 西门子数控系统 PLC 介绍     | 106       |
| 思考题                      | 110       |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 第 4 章 数控机床伺服驱动系统         | 112 |
| 4.1 概述                   | 112 |
| 4.1.1 伺服驱动系统概念及性能指标      | 112 |
| 4.1.2 伺服驱动系统分类           | 114 |
| 4.2 步进电动机伺服系统            | 115 |
| 4.2.1 步进电动机的工作原理         | 115 |
| 4.2.2 步进电动机的主要特性         | 117 |
| 4.2.3 步进电动机的选用           | 118 |
| 4.2.4 步进电动机的控制系统         | 119 |
| 4.2.5 步进电动机的驱动电路         | 120 |
| 4.3 直流伺服电动机调速系统          | 123 |
| 4.3.1 直流伺服电动机的工作原理       | 124 |
| 4.3.2 直流伺服电动机的调速方法       | 125 |
| 4.4 交流伺服电动机调速系统          | 127 |
| 4.4.1 交流伺服电动机的分类         | 127 |
| 4.4.2 永磁同步交流伺服电动机工作原理    | 128 |
| 4.4.3 FANUC 交流伺服电动机与驱动   | 129 |
| 4.4.4 SINUMERIK 交流伺服驱动   | 135 |
| 4.4.5 华中 HSV-11 系列交流伺服驱动 | 137 |
| 4.5 主轴驱动系统               | 139 |
| 4.5.1 数控机床对主轴驱动的要求       | 139 |
| 4.5.2 交流主轴驱动             | 140 |
| 4.5.3 数控机床主轴的其他控制        | 143 |
| 4.5.4 主轴驱动装置及连接          | 144 |
| 思考题                      | 145 |
| 第 5 章 数控机床位置检测装置         | 146 |
| 5.1 概述                   | 146 |
| 5.1.1 数控机床对检测装置的主要要求     | 146 |
| 5.1.2 位置检测装置分类           | 146 |
| 5.2 编码器                  | 147 |
| 5.2.1 编码器的分类             | 147 |
| 5.2.2 光电脉冲编码器结构及工作原理     | 148 |
| 5.2.3 绝对值编码器             | 150 |
| 5.2.4 编码器在数控机床上的应用       | 151 |
| 5.2.5 编码器安装              | 153 |
| 5.3 光栅                   | 153 |
| 5.3.1 光栅分类               | 153 |
| 5.3.2 直线光栅的结构            | 154 |
| 5.3.3 光栅的工作原理            | 155 |
| 5.3.4 光栅测量系统             | 155 |

|                          |     |
|--------------------------|-----|
| 5.3.5 数控机床线性光栅尺选用及安装     | 156 |
| 5.4 旋转变压器                | 159 |
| 5.4.1 旋转变压器的结构           | 159 |
| 5.4.2 旋转变压器的工作原理         | 160 |
| 5.4.3 旋转变压器工作方式          | 161 |
| 5.5 感应同步器                | 162 |
| 5.5.1 感应同步器的结构           | 162 |
| 5.5.2 感应同步器的工作原理         | 164 |
| 5.5.3 感应同步器测量系统          | 164 |
| 5.5.4 感应同步器特点            | 167 |
| 5.6 磁尺                   | 167 |
| 5.6.1 磁尺的结构              | 167 |
| 5.6.2 磁尺的工作原理            | 168 |
| 思考题                      | 170 |
| <b>第6章 数控技术综合应用实践</b>    | 171 |
| 6.1 XK7124 数控铣床概述        | 171 |
| 6.1.1 概述                 | 171 |
| 6.1.2 西门子 802D 数控系统介绍    | 172 |
| 6.2 机床电路设计               | 177 |
| 6.2.1 数控机床电气控制电路设计原则     | 177 |
| 6.2.2 数控机床主电路的设计         | 177 |
| 6.2.3 主轴驱动电路的设计          | 180 |
| 6.2.4 进给驱动电路的设计          | 182 |
| 6.2.5 机床控制电路的设计          | 185 |
| 6.3 802D 基本参数的调试         | 190 |
| 6.3.1 调试前的准备             | 190 |
| 6.3.2 通电                 | 192 |
| 6.3.3 数控系统的初始化           | 193 |
| 6.3.4 PLC 应用程序的调试        | 194 |
| 6.3.5 802D 基本参数设定        | 195 |
| 6.3.6 驱动器参数优化            | 201 |
| 6.3.7 数控系统的数据保护与数据备份     | 203 |
| 6.4 机床精度调整               | 207 |
| 6.4.1 机床几何精度检验           | 207 |
| 6.4.2 机床定位精度检验           | 208 |
| 6.4.3 机床切削精度检测           | 210 |
| 思考题                      | 212 |
| <b>附录 XK7124 数控铣床电路图</b> | 213 |
| <b>参考文献</b>              | 223 |



# 第 1 章 绪 论

## 1.1 基本概念

### 1.1.1 数控技术的产生

随着科学技术和社会生产的不断发展，人们对加工机械产品的生产设备提出了三高（高性能、高精度和高自动化）的要求。为了解决上述问题，一种新型的数字程序控制机床应运而生，它极其有效地解决了上述一系列矛盾，并且为单件、小批量生产，特别是复杂型面零件提供了自动化加工手段。

数控机床最早诞生于美国。1948 年，美国帕森斯公司在研制加工直升机叶片轮廓检查用样板的机床时，提出了数控机床的设想，后受美国空军委托与麻省理工学院合作，于 1952 年试制了世界上第一台三坐标数控立式铣床，其数控系统采用电子管。1960 年开始，德国、日本、中国等都陆续地开发、生产及使用数控机床，中国于 1968 年由北京第一机床厂研制出第一台数控机床。1974 年微处理器直接用于数控机床，进一步促进了数控机床的普及应用和飞速发展。

由于微电子和计算机技术的不断发展，数控机床的数控系统一直在不断更新，到目前为止已经历过以下几代变化。

第一代数控（1952~1959 年）：采用电子管构成的硬件数控系统。

第二代数控（1959~1965 年）：采用晶体管电路为主的硬件数控系统。

第三代数控（1965 年开始）：采用小、中规模集成电路的硬件数控系统。

第四代数控（1970 年开始）：采用大规模集成电路的小型通用电子计算机数控系统。

第五代数控（1974 年开始）：采用微型计算机控制的数控系统。

第六代数控（1990 年开始）：采用工控 PC 机的通用 CNC 系统。

前三代为第一阶段，数控系统主要是由硬件连接构成，称为硬件数控；后三代称为计算机数控，其功能主要由软件完成。

### 1.1.2 数控技术相关术语

数字控制（Numerical Control, NC）是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程（如加工、测量、装配等）进行编程控制的自动化方法，简称数控（NC）技术。

数控技术（Numerical Control Technology）是采用数字控制的方法对某一工作过程实现自

动控制的技术。

数控机床（Numerical Control Machine Tools）是采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床，即装备了数控系统的机床。它是数控技术典型应用的例子。

数控系统（Numerical Control System）采用数控技术的控制系统，即实现数字控制的装置。

计算机数控系统（Computer Numerical Control, CNC）是以计算机为控制核心的数字控制系统。

计算机集成制造系统（Computer Integrated Manufacturing System, CIMS）是借助于计算机的硬件、软件技术，综合运用现代管理技术、制造技术、信息技术、自动化技术、系统工程技术，将企业生产全部过程中有关人、技术、经营管理三要素及其信息流、物流有机地集成并优化运行，以使产品上市快、质量好、成本低、服务优，达到提高企业市场竞争能力的目的。

加工中心（Machining Center, MC）的系统基本组成与一般数控机床一样，只是在此基础上增加刀库和自动换刀装置而形成的一类更复杂，但用途更广、效率更高的数控机床。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监测、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。

1.1.3 数控机床组成及加工原理

1. 数控机床的组成

数控机床的基本组成包括输入/输出装置、计算机数控装置、伺服系统和机床本体等四部分。如图 1-1 所示。

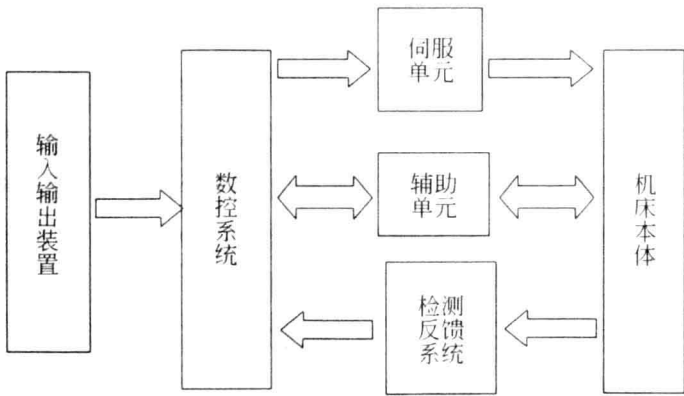


图 1-1 数控机床的基本组成

(1) 输入/输出装置

输入装置的作用是将数控加工信息读入数控系统的内存存储。根据程序载体的不同，相应有不同的输入装置，常用的程序输入方式有光电阅读机、手动输入（MDI）方式和通信方式等。

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 采用 DNC 直接数控输入方式 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 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。

输出装置的作用是根据控制器的命令接受运算器的输出脉冲，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完成零件的加工。同时，输出装置还为操作人员提供必要的信息，如各种故障信息和操作提示等。

## （2）数控系统

计算机数控装置是数控机床实现自动加工的核心单元，通常由硬件和软件组成。目前的数控系统普遍采用通用计算机作为主要的硬件部分，而软件部分主要是指主控制系统软件，如数据运算处理控制和时序逻辑控制等。数控加工程序通过数据运算处理后，输出控制信号控制各坐标轴移动，而时序逻辑控制主要是由可编程控制器（PLC）完成加工中各个动作的协调，使数控机床有条不紊地工作。

## （3）伺服驱动装置

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。伺服系统的作用是把接受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。通过执行元件（如步进电动机、伺服电动机等）和机械传动机构，使机床的运动部件带动刀具相对于工件按规定的轨迹和速度运动，实现零件加工。

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。数控机床中常用位置检测装置有编码器、旋转变压器、感应同步器、光栅、磁栅等。

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判别和运算，再经功率放大后驱动相应的电器，带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的启停，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位分度等开关辅助动作。现广泛采用可编程控制器（PLC）作数控机床的辅助控制装置。

#### (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,数控机床主体具有以下结构特点。

① 采用具有高刚度、高抗震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震性,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。

如图 1-2 所示,是一台立式铣床,展示了数控机床总体结构。

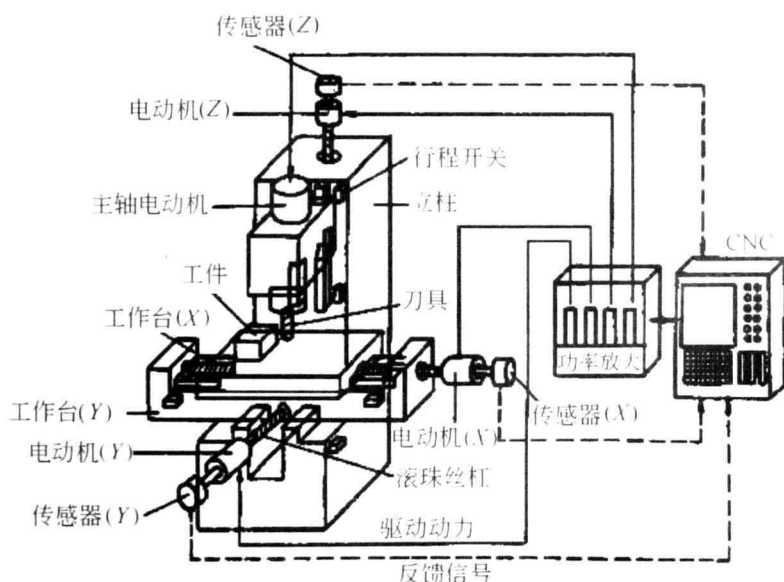


图 1-2 立式铣床各部件

## 2. 数控机床的加工原理

在传统的金属切削机床上,零件加工是由操作者根据图样的要求,通过不断改变刀具的运动轨迹和运动速度等参数,使刀具对工件进行切削加工,最终加工出合格零件。

数控机床是用数字信息进行控制的机床。它用数字代码将刀具相对工件移动的轨迹、速度等信息记录在程序介质上,然后送入数控系统经过译码和运算,控制机床刀具与工件的相对运动,加工出所需要的工件。

如图 1-3 所示为数控加工的一般工作原理图。它的加工原理和过程大致可以分为以下几步。

① 首先,需要对零件图样的技术特征、几何形状、尺寸和工艺等加工要求进行系统的分析,确定合理正确的加工方案和加工路线。

② 其次,在数控机床上加工工件时,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。

③ 再次,把程序载体上的程序通过输入装置输入到数控装置中去。



④ 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。

⑤ 最后，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。

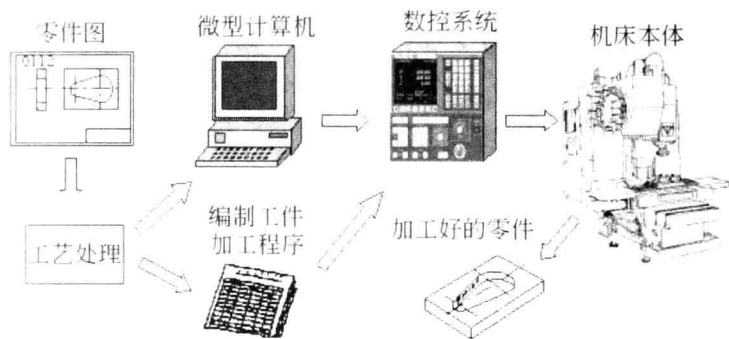


图 1-3 数控加工过程示意图

## 1.2 数控机床的分类

数控机床的种类繁多，分类方法也不尽相同。但根据数控机床的功能和组成的不同，大致可以从下面几种角度对数控机床进行分类。

### 1.2.1 按照运动控制分类

根据数控机床运动控制方式的不同，可将数控机床分成点位控制、直线控制和轮廓控制三种类型。

#### 1. 点位控制系统

点位控制只控制刀具从一坐标点到另一坐标点的精确定位，对定位过程中的运动轨迹没有严格要求。而且刀具相对工件的移动过程中，不进行切削加工，因此不能用于加工过程的控制。如数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机和数控测量机等。如图 1-4 (a) 所示。

#### 2. 直线控制系统

直线控制不仅要求控制点到点的精确定位，而且还要控制机床工作台或刀具（刀架）以给定的进给速度，沿平行于坐标轴的方向或与坐标轴成  $45^\circ$  角的方向进行直线移动和切削加工。因此这类数控机床的刀具在移动过程中要进行切削加工。如数控车床、数控铣床等。如图 1-4 (b) 所示。

#### 3. 轮廓控制系统

轮廓控制也称连续控制系统。其特点是能够同时对两个或两个以上的坐标轴进行连续控制。加工时不仅要控制起点和终点位置，而且要每时每刻都对各坐标的位移和速度进行严格的不间断的控制，从而使机床加工出符合图纸要求的复杂形状（任意形状的曲线或曲面）的零件。它要求数控机床的辅助功能比较齐全。CNC 装置一般都具有直线插补和圆弧插补功能。

如数控车床、数控铣床、数控磨床、数控加工中心、数控电加工机床、数控绘图机等。如图 1-4 (c) 所示。

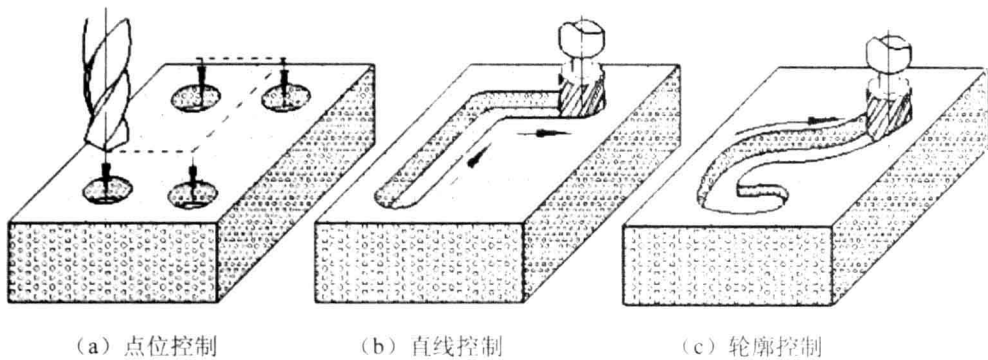


图 1-4 按加工控制路线分类

这类数控机床绝大多数具有两坐标或两坐标以上的联动功能，不仅有刀具半径补偿、刀具长度补偿功能，而且还具有机床轴向运动误差补偿，丝杠、齿轮的间隙补偿等一系列功能。

1.2.2 按照伺服系统特点分类

根据数控机床伺服驱动控制方式的不同，可将数控机床分成开环控制、闭环控制和半闭环控制三种类型。

1. 开环伺服系统

开环控制不带位置测量元件。数控装置根据信息载体上的指令信号，经控制运算发出指令脉冲，使伺服驱动元件转过一定的角度，并通过传动齿轮、滚珠丝杠螺母副，使执行机构（如工作台）移动或转动。图 1-5 为开环控制系统的框图。这种控制方式没有来自位置测量元件的反馈信号，对执行机构的动作情况不进行检查，指令流向为单向，因此被称为开环控制系统。

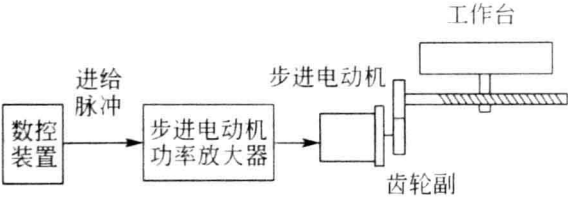


图 1-5 开环控制系统框图

开环控制系统特点是结构简单，维护方便，成本较低。但加工精度不高，如果采取螺距误差补偿和传动间隙补偿等措施，定位精度可稍有提高。

步进电动机伺服系统是最典型的开环控制系统。这种控制系统的特点是系统简单，调试维修方便，工作稳定，成本较低。由于开环系统的精度主要取决于伺服元件和机床传动元件的精度、刚度和动态特性，因此控制精度较低。目前在国内多用于经济型数控机床，以及对旧机床的改造。

2. 闭环伺服系统

闭环控制是一种自动控制系统，其中包含功率放大和反馈，使输出变量的值响应输入变量的值。数控装置发出指令脉冲后，当指令值送到位置比较电路时，此时如果工作台没有移动，即没有位置反馈信号时。数控系统发出的指令使伺服驱动电动机转动，经过齿轮、滚珠丝杠螺母副等传动元件带动机床工作台移动。装在机床工作台上的位置测量元件，测出工作台的实际位移量后，反馈到数控装置的比较器中与指令信号进行比较，并用比较后的差值进

行控制。若两者存在差值，经放大器放大后，再控制伺服驱动电动机转动，直至差值为零时，工作台才停止移动。这种系统称为闭环伺服系统。图 1-6 为闭环控制系统框图。它的工作原理和半闭环伺服系统相同，但测量元件（直线感应同步器、长光栅等）装在工作台上，可直接测出工作台的实际位置。

闭环伺服系统的特点是能将所有部分都包含在控制环之内，可消除机械系统引起的误差，精度高于半闭环伺服系统，但系统结构较复杂，控制稳定性较难保证，成本高，调试维修困难。

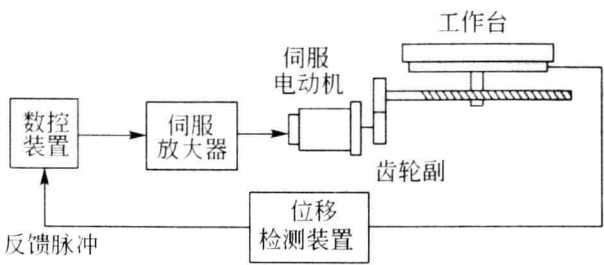


图 1-6 闭环控制系统框图

3. 半闭环伺服系统

半闭环控制系统不是直接测量工作台的位移量，而是通过旋转变压器、光电编码盘或分解器等角位移测量元件，测量伺服机构中电动机或丝杠的转角，来间接测量工作台的位移。这种系统中滚珠丝杠螺母副和工作台均在反馈环路之外，其传动误差等仍会影响工作台的位置精度，故称为半闭环控制系统。图 1-7 为半闭环控制系统框图。半闭环伺服系统介于开环和闭环之间，由于角位移测量元件比直线位移测量元件结构简单，因此装有精密滚珠丝杠螺母副和精密齿轮的半闭环系统被广泛应用。目前已经把角位移测量元件与伺服电动机设计成一个部件，使用起来十分方便。

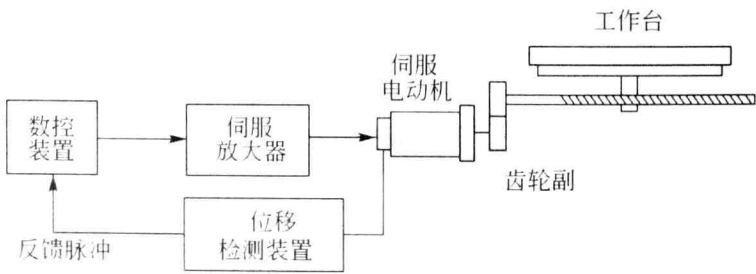


图 1-7 半闭环控制系统框图

半闭环伺服系统特点是加工精度虽然没有闭环系统高，但是由于采用了高分辨率的测量元件，这种控制方式仍可获得比较满意的精度和速度。系统调试比闭环系统方便，稳定性好，成本也比闭环系统低，目前，大多数数控机床采用半闭环伺服系统。

1.2.3 按照数控系统功能分类

数控机床按数控系统的功能水平可分为低、中、高三档。也可以说分为经济型、中档型和高档型三种类型。这种分类方式，在我国用的很多。

1. 经济型数控系统的数控机床（又称简易数控系统）
- 这一档次的数控机床仅能满足一般精度要求的加工，能加工形状较简单的直线、斜线、圆弧及带螺纹的零件，采用的微机系统为单板机或单片机系统，具有数码显示，CRT 字符显示功能，机床进给由步进电动机实现开环驱动，控制的轴数和联动轴数在 3 轴或 3 轴以下。

2. 普及型数控系统的数控机床（通常称之为全功能数控系统）

这类数控系统功能较多，除了具有一般数控系统的功能以外，还具有一定的图形显示功能及面向用户的宏程序功能等，采用的微机系统为 16 位或 32 位微处理机，具有 RS-232C 通信接口，机床的进给多用交流或直流伺服驱动，一般系统能实现 4 轴或 4 轴以下联动控制。

3. 高档数控系统的数控机床

这类数控系统的微机系统为 32 位以上微处理机系统，机床的进给大多采用交流伺服驱动，除了具有一般数控系统的功能以外，应该至少能实现 5 轴或 5 轴以上的联动控制。具有三维动画图形功能和宜人的图形用户界面，同时还具有丰富的刀具管理功能、宽调速主轴系统、多功能智能化监控系统和面向用户的宏程序功能，还有很强的智能诊断和智能工艺数据库，能实现加工条件的自动设定，且能实现与计算机的联网和通信。

4. 基于 PC 的开放式数控系统的数控机床

这类数控系统采用通用微机技术开发数控系统，可以得到强有力的硬件与软件支持，这些软件和硬件的技术是开放式的，此时的通用微机除了具备本身的功能外，还具备了全功能数控系统的所有功能，是数控机床的发展趋势。

以数控铣床为例，如图 1-8 所示分别展示了经济型、中档型和高档型三种类型数控铣床。

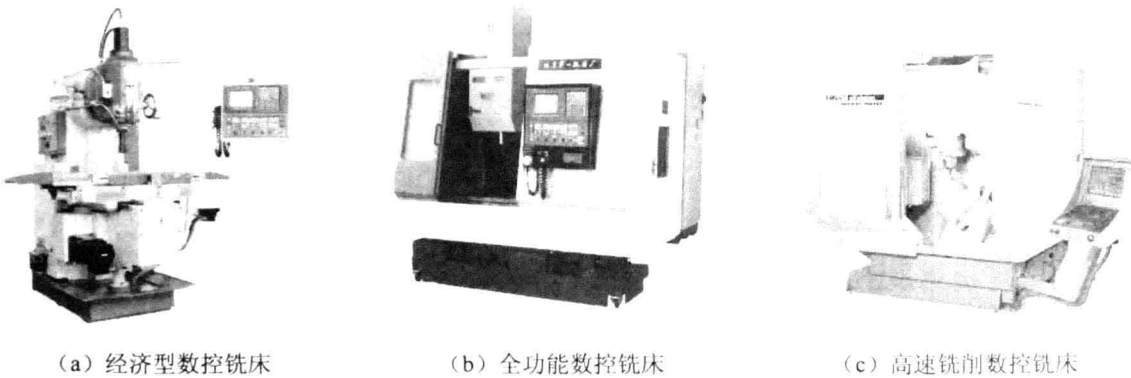


图 1-8 数控铣床按采用的数控系统功能分类

低、中、高档的界限是相对的，不同时期的划分标准有所不同，就目前的发展水平来看，大体可以从以下几个方面区分，如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床的分类

| 项 目      | 低 档            | 中 档              | 高 档               |
|----------|----------------|------------------|-------------------|
| 分辨率和进给速度 | 10μm、8~15m/min | 1μm、15~24m/min   | 0.1μm、15~100m/min |
| 伺服进给类型   | 开环、步进电动机系统     | 半闭环直流或交流伺服系统     | 闭环直流或交流伺服系统       |
| 联动轴数     | 2 轴            | 3~5 轴            | 3~5 轴             |
| 主轴功能     | 不能自动变速         | 自动无级变速           | 自动无级变速、C 轴功能      |
| 通信能力     | 无              | RS-232C 或 DNC 接口 | MAP 通信接口、连网功能     |
| 显示功能     | 数码管显示、CRT 字符   | CRT 显示字符、图形      | 三维图形显示、图形编程       |
| 内装 PLC   | 无              | 有                | 有                 |
| 主 CPU    | 8 位 CPU        | 16 位或 32 位 CPU   | 64 位 CPU          |

1.2.4 按照加工工艺用途分类

按不同工艺用途分类，数控机床可分为：金属切削数控机床、金属成形数控机床、特种



加工数控机床。也可分成普通数控机床（指加工用途、加工工艺单一的机床）和加工中心（指带有自动换刀装置、能进行多工序加工的机床）。

### 1. 金属切削数控机床

金属切削数控机床和普通机床品种一样，有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、带有刀库和能实现多工序加工的铣镗加工中心和车削中心。铣镗加工中心主要完成铣、镗、钻、攻丝等工序的加工；车削中心以完成各种车削加工为主，也能完成铣平面、铣键槽及钻横孔等工序。

### 2. 金属成形数控机床

金属成形数控机床指使用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床，如数控压力机、折弯机、弯管机、旋压机等。

### 3. 特种加工数控机床

特种加工数控机床主要指数控线切割机、电火花成形机、火焰切割机、激光加工机等。

近年来一些复合加工的数控机床也开始出现，其基本特点是集中多工序、多刀刃、复合工艺加工在一台设备中完成。

## 1.3 数控机床的特点及发展

### 1.3.1 数控机床的特点

数控机床是一种高效、新型的自动化机床，具有广泛的应用前景。它与普通机床相比具有以下特点。

#### 1. 适应性、灵活性好

数控机床由于采用数控加工程序控制，当加工零件改变时，只要改变数控加工程序，便可实现对新零件的自动化加工，因此能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求，解决了多品种、单件小批量生产的自动化问题。满足飞机、汽车、造船、动力设备、国防军工等制造部门复杂形状零件和型面零件的加工需要。

#### 2. 精度高、质量稳定

数控机床是按照预定的程序自动加工，不需要人工干预，这就消除了操作者人为产生的失误或误差；数控机床本身的刚度高、精度好，并且精度保持性较好，这更有利于零件加工质量的稳定；还可以利用软件进行误差补偿和校正，也使数控加工具有较高的精度。

#### 3. 生产效率高

数控机床的主轴转速和进给量范围比普通机床的范围大，良好的结构刚性允许数控机床采用大的切削用量，从而有效地节省了机动时间。对某些复杂零件的加工，如果采用带有自动换刀装置的数控加工中心，可实现在一次装夹下进行多工序的连续加工，减少了半成品的周转时间，生产率的提高更为明显。