



国家示范性高职院校建设项目成果

高等职业教育教学改革系列规划教材·机械类

# 数控原理 与编程

崔向群 主编  
吴胜强 徐新平 副主编



任务驱动



行动导向



工学结合



学生主体



过程考核

本教材提供配套的电子课件，**免费下载**   
请登录 **[www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn)**



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

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

高等职业教育教学改革系列规划教材·机械类

# 数控原理与编程

崔向群 主 编

吴胜强 徐新平 副主编

张荣英 马雪芳 蒲筠果 陈海燕 参 编

解海滨 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

## 内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了数控原理与编程的相关知识。全书共分6章,第1章介绍了数控机床的工作原理、组成、分类及特点;第2章介绍了数控系统基本组成及工作原理;第3章介绍了伺服系统的分类及应用、位置检测装置的种类;第4章介绍了数控加工编程的基础知识;第5章介绍了FANUC 0i 数控车床的编程及综合加工实例;第6章介绍了 SINUMERIK 802D 加工中心的编程及综合加工实例。

本教材注重理论知识的实际应用和学生实践能力的培养,从学生的认知规律出发,来培养适应产业技术快速发展的生产一线技术应用型人才。在内容选择上,突出系统性、实用性和先进性;在编写方式上,注重由浅入深、循序渐进和通俗易懂,并力求全面、系统和重点突出。

本书可作为高职院校数控技术、模具、机电专业的专业教材,也可供数控技术应用行业的工程技术人员使用,还可作为相关行业岗位培训教材之用。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。  
版权所有,侵权必究。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控原理与编程 / 崔向群主编. —北京: 电子工业出版社, 2010.7

(高等职业教育教学改革系列规划教材. 机械类)

ISBN 978-7-121-11013-9

I. ①数… II. ①崔… III. ①数控机床—程序设计—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 103264 号

策划编辑: 田领红

责任编辑: 田领红

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 13.5 字数: 345 千字

印 次: 2010 年 7 月第 1 次印刷

印 数: 4 000 册 定价: 24.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

# 前 言

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，数控技术的应用是提高制造业的产品质量和劳动生产率必不可少的重要手段。随着我国经济的持续发展和“世界制造中心”的逐步形成，我国制造企业对高素质的数控技能型人才的需求越来越大。为适应我国高等职业技术教育发展及数控技能型人才、操作技能型人才培养的需要，根据教育部培养“数控技能型紧缺人才培训工程”的要求，我们结合多年的教学和工程实践经验，编写了本教材。

本教材针对数控技术专业必备的专业知识，将数控技术原理与编程的内容结合起来。数控原理部分根据高等职业教育特点，按照理论适度、注重实践的原则，减少繁杂的数学推导，对深奥的理论不做阐述，重点阐述基本原理及应用；数控编程部分以企业应用最多的 FANUC 和 SIEMENS 公司的数控系统为例介绍数控车床的编程和数控铣床（加工中心）的编程，内容由浅入深、循序渐进，突出系统性和实用性。在内容编排过程中注重理论联系实际，注意多用典型实例分析，以点带面，以便学生牢固掌握基本内容，能举一反三；每章均有一定数量的习题，以培养学生的思考能力，掌握要点。

本书由崔向群任主编，吴胜强、徐新平任副主编，解海滨主审。参加具体章节的编写人员有：第 1 章：马雪芳；第 2 章：陈海燕；第 3 章：吴胜强；第 4 章：张荣英；第 5 章：崔向群、蒲筠果；第 6 章：吴胜强、徐新平。全书由崔向群、吴胜强统稿。在本书编写的过程中，丁广文、王志刚、许丽华、王艳宜等老师也给本书提了很多建议，在此表示衷心的感谢。

在收集资料和编写过程中，河北省模具工业协会、长城汽车股份有限公司、中国电子科技集团第 54 研究所、沛鑫史宾纳数控机床（南京）有限公司和邢台职业技术学院先进制造技术中心等单位给予了大力的支持和帮助，在此谨致谢意。

由于时间仓促和编者水平所限，不当和疏漏之处，敬请各位专家和广大读者批评指正。

编 者

2010 年 5 月

# 目 录

|                              |      |
|------------------------------|------|
| 第 1 章 绪论                     | (1)  |
| 1.1 数控机床的基本概念                | (1)  |
| 1.1.1 数控机床的发展                | (1)  |
| 1.1.2 与数控相关的术语               | (1)  |
| 1.1.3 数控机床的工作原理              | (2)  |
| 1.1.4 数控机床的组成                | (2)  |
| 1.2 数控机床的分类与特点               | (4)  |
| 1.2.1 数控机床的分类                | (4)  |
| 1.2.2 数控机床加工的特点              | (7)  |
| 1.2.3 数控机床加工的应用范围            | (8)  |
| 习题                           | (8)  |
| 第 2 章 数控系统                   | (9)  |
| 2.1 数控系统的基本原理与结构             | (9)  |
| 2.1.1 数控系统的主要功能              | (9)  |
| 2.1.2 CNC 装置的硬件体系结构          | (11) |
| 2.1.3 CNC 系统软件结构             | (12) |
| 2.2 数控装置的插补原理                | (16) |
| 2.2.1 概述                     | (16) |
| 2.2.2 逐点比较法插补                | (17) |
| 2.3 刀具半径补偿原理                 | (23) |
| 2.3.1 刀具半径补偿的基本概念            | (23) |
| 2.3.2 刀具半径补偿的工作原理            | (25) |
| 2.3.3 加工过程中的过切判别原理           | (28) |
| 2.4 数控系统中的可编程控制器             | (29) |
| 2.4.1 概述                     | (29) |
| 2.4.2 可编程控制器的结构和工作过程         | (30) |
| 2.4.3 数控机床用可编程控制器的类型及特点      | (32) |
| 2.4.4 数控机床的 PLC 功能及其与外部的信息交换 | (34) |
| 习题                           | (35) |

|                          |      |
|--------------------------|------|
| <b>第 3 章 伺服系统与位置检测装置</b> | (36) |
| 3.1 概述                   | (36) |
| 3.1.1 对机床伺服系统的基本要求       | (36) |
| 3.1.2 伺服系统的分类            | (37) |
| 3.2 伺服电动机                | (39) |
| 3.2.1 步进电动机              | (39) |
| 3.2.2 直流伺服电动机            | (42) |
| 3.2.3 交流伺服电动机            | (43) |
| 3.2.4 直线电动机              | (44) |
| 3.3 位置检测装置               | (45) |
| 3.3.1 数控机床对位置检测装置的要求     | (45) |
| 3.3.2 位置检测装置分类           | (45) |
| 3.3.3 脉冲编码器              | (46) |
| 3.3.4 光栅位置检测装置           | (47) |
| 习题                       | (49) |
| <b>第 4 章 数控加工编程基础</b>    | (51) |
| 4.1 数控编程的概念              | (51) |
| 4.1.1 数控加工程序的概念          | (51) |
| 4.1.2 数控编程的概念            | (51) |
| 4.1.3 数控编程方法             | (53) |
| 4.2 数控机床的坐标系与相关点         | (54) |
| 4.2.1 数控机床坐标系的建立         | (54) |
| 4.2.2 数控机床的坐标系与相关点       | (56) |
| 4.3 常用的指令代码              | (58) |
| 4.3.1 准备功能代码 (G 代码)      | (58) |
| 4.3.2 辅助功能代码 (M 代码)      | (58) |
| 4.3.3 进给速度功能指令 (F 代码)    | (60) |
| 4.3.4 主轴速度功能指令 (S 代码)    | (60) |
| 4.3.5 刀具功能指令 (T 代码)      | (60) |
| 4.4 数控加工程序的格式与组成         | (60) |
| 4.4.1 零件加工程序的结构          | (60) |
| 4.4.2 程序段格式              | (62) |
| 4.4.3 小数点输入              | (62) |

|            |                               |             |
|------------|-------------------------------|-------------|
| 4.4.4      | 程序的分类 .....                   | (63)        |
| 4.5        | 数控编程中的数值处理 .....              | (63)        |
| 4.5.1      | 基点与节点的计算 .....                | (63)        |
| 4.5.2      | 辅助计算 .....                    | (65)        |
| 4.5.3      | 数控编程中数值处理的步骤 .....            | (66)        |
| 习题         | .....                         | (66)        |
| <b>第5章</b> | <b>FANUC Oi 数控车床的编程 .....</b> | <b>(68)</b> |
| 5.1        | 数控车床的编程基础 .....               | (68)        |
| 5.1.1      | 绝对值编程和增量值编程 .....             | (68)        |
| 5.1.2      | 直径编程和半径编程 .....               | (68)        |
| 5.2        | 数控车床的常用指令 .....               | (69)        |
| 5.2.1      | 工件坐标系设定 .....                 | (69)        |
| 5.2.2      | 单位设定指令 .....                  | (70)        |
| 5.2.3      | 基本加工指令 .....                  | (71)        |
| 5.3        | 数控车床的刀具补偿 .....               | (81)        |
| 5.3.1      | 刀具几何(位置)补偿和磨损补偿 .....         | (81)        |
| 5.3.2      | 刀尖圆弧半径补偿 .....                | (82)        |
| 5.3.3      | 车刀 X 轴和 Z 轴补偿值的确定 .....       | (85)        |
| 5.4        | 固定循环指令 .....                  | (86)        |
| 5.4.1      | 单一固定循环 .....                  | (86)        |
| 5.4.2      | 复合固定循环 .....                  | (89)        |
| 5.5        | 子程序 .....                     | (100)       |
| 5.6        | 宏程序简介 .....                   | (102)       |
| 5.6.1      | 变量 .....                      | (103)       |
| 5.6.2      | 算术和逻辑运算 .....                 | (104)       |
| 5.6.3      | 赋值与变量 .....                   | (105)       |
| 5.6.4      | 转移和循环 .....                   | (105)       |
| 5.7        | 综合加工实例 .....                  | (108)       |
| 5.7.1      | 传动轴的加工 .....                  | (108)       |
| 5.7.2      | 阶梯轴的加工 .....                  | (110)       |
| 5.7.3      | 阶梯轴套的加工 .....                 | (113)       |
| 习题         | .....                         | (118)       |

|                                        |       |
|----------------------------------------|-------|
| 第 6 章 SINUMERIK 802D 加工中心的编程 .....     | (123) |
| 6.1 加工中心的编程基础 .....                    | (123) |
| 6.1.1 程序名称 .....                       | (123) |
| 6.1.2 绝对尺寸和增量尺寸编程 .....                | (123) |
| 6.1.3 平面选择 .....                       | (124) |
| 6.1.4 公制尺寸/英制尺寸 .....                  | (125) |
| 6.1.5 进给速度单位设定 .....                   | (125) |
| 6.2 加工中心的常用指令 .....                    | (125) |
| 6.2.1 G54~G59——工件坐标系设定（可设定的零点偏置） ..... | (126) |
| 6.2.2 G111, G112——极坐标系设定 .....         | (127) |
| 6.2.3 基本加工指令 .....                     | (128) |
| 6.2.4 轮廓定义编程辅助指令 .....                 | (135) |
| 6.3 加工中心的刀具补偿 .....                    | (137) |
| 6.3.1 刀具半径补偿 .....                     | (137) |
| 6.3.2 刀具长度补偿 .....                     | (140) |
| 6.3.3 刀具补偿号 D .....                    | (141) |
| 6.4 子程序 .....                          | (141) |
| 6.5 图形变换指令 .....                       | (144) |
| 6.5.1 TRANS, ATRANS——可编程的零点偏置 .....    | (144) |
| 6.5.2 ROT, AROT——可编程旋转 .....           | (146) |
| 6.5.3 SCALE, ASCALE——可编程的比例缩放 .....    | (148) |
| 6.5.4 MIRROR, AMIRROR——可编程的镜像 .....    | (152) |
| 6.6 固定循环指令 .....                       | (155) |
| 6.6.1 概述 .....                         | (155) |
| 6.6.2 钻孔循环（钻孔模式） .....                 | (156) |
| 6.6.3 模态调用固定循环子程序 .....                | (166) |
| 6.6.4 钻孔样式循环 .....                     | (166) |
| 6.6.5 铣削循环 .....                       | (169) |
| 6.7 参数编程 .....                         | (173) |
| 6.7.1 计算参数 R .....                     | (173) |
| 6.7.2 程序跳转 .....                       | (174) |
| 6.7.3 R 参数编程举例 .....                   | (177) |
| 6.8 编程实例 .....                         | (182) |

6.8.1 自动扶梯的链轮加工 ..... (182)

6.8.2 平面凸轮零件的加工 ..... (184)

6.8.3 板型零件的加工 ..... (185)

6.8.4 复杂零件的加工 ..... (188)

习题 ..... (194)

附录 A FANUC 数控系统常用的 G 代码 ..... (200)

附录 B SINUMERIK 802D 数控系统常用准备功能 ..... (201)

参考文献 ..... (203)

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 数控机床的基本概念

### 1.1.1 数控机床的发展

随着科学技术的飞速发展，社会对产品多样化的要求日益强烈，产品更新越来越快，多品种、中小批量生产的比重明显增加；同时随着航空工业、汽车工业和轻工消费品生产的高速增长，复杂形状的零件越来越多，精度要求也越来越高；此外，激烈的市场竞争要求产品研发生产周期越来越短，传统的加工设备和制造方法已难于适应这种多样化、柔性化与复杂形状的高效高质量加工要求。因此，近几十年来，能有效解决复杂、精密、小批多变零件加工问题的数控（NC）加工技术得到了迅速发展和广泛应用，使制造技术发生了根本性的变化。努力发展数控加工技术，并向更高层次的自动化、柔性化、敏捷化、网络化和数字化制造方向推进，是当前机械制造业发展的方向。

数控技术是机械加工现代化的重要基础与关键技术。应用数控加工可大大提高生产率，稳定加工质量，缩短加工周期，增加生产柔性，实现对各种复杂精密零件的自动化加工，易于在工厂或车间实行计算机管理，还使车间设备总数减少，节省人力，改善劳动条件，有利于加快产品的开发和更新换代，有利于提高企业对市场的适应能力和企业综合经济效益。数控加工技术的应用，使机械加工的大量前期准备工作与机械加工过程联为一体，使零件的计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助工艺规划（CAPP）和计算机辅助制造（CAM）的一体化成为现实，使机械加工的柔性自动化水平不断提高。

1952 年，美国帕森斯公司和麻省理工学院研制成功了世界上第一台数控机床。半个世纪以来，数控技术得到了迅猛的发展，加工精度和生产效率不断提高。数控机床的发展至今已经历了两个阶段和六代。

1952 年的第一代——电子管数控机床；

1959 年的第二代——晶体管数控机床；

1965 年的第三代——集成电路数控机床；

以上三代数控系统都是采用专用控制硬件逻辑数控系统，称为普通数控系统，即 NC 系统。

1970 年的第四代——小型计算机数控机床；

1974 年的第五代——微型计算机数控系统；

CNC（第四代）和 MNC（第五代）是软件式数控系统，称为现代数控系统。

1990 年的第六代——基于 PC 的数控机床。

### 1.1.2 与数控相关的术语

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，其中最典型而且应用面最广的是数控机床。为了便于后面的讨论，下面给出几个相关概念的定义。

① 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) 进行可编程控制的自动化方法。

② 数控技术 (Numerical Control Technology), 即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。

③ 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。它是数控技术典型应用的例子。

④ 数控系统 (Numerical Control System) 是实现数字控制的装置。

⑤ 计算机数控 (Computer Numerical Control, CNC) 系统是以计算机为核心的数控系统。

### 1.1.3 数控机床的工作原理

在普通机床上加工零件的过程, 机床操作者总是根据工序卡的要求在加工过程中操作机床, 不断地改变刀具与工件的相对运动轨迹和运动参数 (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。

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, 都按规定的规则、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, 进行相应的运算、处理, 然后发出控制命令, 使各坐标轴、主轴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 1-1 所示。

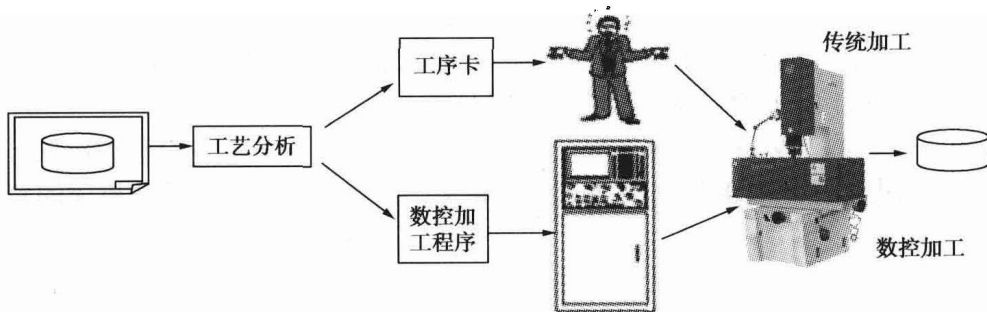


图 1-1 传统加工与数控加工的比较

### 1.1.4 数控机床的组成

数控机床主要由以下几个部分组成, 如图 1-2 所示。

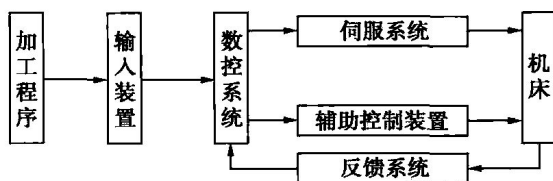


图 1-2 数控机床的组成

### 1. 控制介质与加工程序

控制介质是记录零件加工程序的载体。数控机床常用的控制介质有穿孔纸带、磁带、磁盘。

数控加工程序是数控机床自动加工零件的工作指令,包含切削过程中所必需的机械运动、零件轮廓尺寸、工艺参数等加工信息。编好的数控加工程序,存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、磁带和磁盘等,采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

### 2. 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码信息转换成相应的电脉冲信号并传送至数控装置的存储器。根据程序控制介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、录放机或软盘驱动器。最早使用光电阅读机对穿孔纸带进行阅读,之后大量使用磁带机和软盘驱动器。有些数控机床不用任何程序存储载体,而是将程序清单的内容通过数控装置上的键盘,用手工方式输入,也可以用通信方式将数控程序由编程计算机直接传送至数控装置。

### 3. 数控系统

数控系统是数控机床的核心,它的主要功能是:正确识别和解释数控加工程序,并对解释结果进行各种数据计算和逻辑判断处理,从而完成各种输入、输出任务。

数控系统主要由计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、扩展功能模块,以及相应的控制软件等模块组成。

数控系统将数控加工程序信息按两类控制量分别输出,从而控制机床各组成部分实现各种数控功能:一类是连续控制量,送往伺服驱动装置;另一类是离散的开关控制量,送往 PLC 逻辑控制装置。

### 4. 伺服系统

伺服系统它接收来自数控系统的位置控制信息,将其转换成相应坐标轴的进给运动和精确的定位运动,驱动机床执行机构运动。由于是数控机床的最后控制环节,它的性能将直接影响数控机床的生产效率、加工精度和表面加工质量。它由伺服驱动电路和伺服驱动电机组成,并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。

### 5. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控系统和机床机械、液压部件之间的控制装置。它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、润滑装置的启动、停止,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。

由于可编程逻辑控制器(PLC)具有响应快,性能可靠,易于使用、编程和修改程序并可直接启动机床开关等特点,现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

### 6. 反馈系统

反馈系统是指位置和速度检测装置,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。位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来,经反馈系统输入到机床的数控装置之后,数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较,控制驱动装置按照指令设定值运动。

## 7. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，是数控系统的被控对象，是实现制造加工的执行部件。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（刀具自动交换系统 工件自动交换系统）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、抗震性等方面要求高。

# 1.2 数控机床的分类与特点

## 1.2.1 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

通过从工件上除去一部分材料才能得到所需零件的数控机床。

按传统的加工工艺方法来分，有数控车床、数控钻床、数控镗床、数控铣床、数控磨床、数控齿轮加工机床等，其中，现代数控铣床基本上都兼有钻镗加工功能。当某数控机床带有刀库和自动换刀装置时，可称之为“加工中心”。

#### （2）成型加工类

通过物理的方法改变工件形状才能得到所需零件的数控机床，如数控折弯机等。

#### （3）特种加工类

利用特种加工技术（电火花、激光技术等）得到所需零件的数控机床。

#### （4）其他类型

非加工设备采用数控技术，如自动装配机、多坐标测量机、自动绘图机和工业机器人等。

### 2. 按数控装置所能实现的控制功能（控制路线）分类

#### （1）点位控制数控机床

点位控制是只控制刀具或工作台从一点移至另一点的准确定位，然后进行定点加工，而点与点之间的路径不需控制，即刀具从一点移动到另一点时，对运动的速度和轨迹没有严格的要求。如图 1-3 所示，刀具从 A 点到 B 点可以走①、②或③中的任意一条路径。采用这类控制的有数控钻床、数控冲床、数控镗床、数控坐标镗床、数控焊机和三坐标测量机等。

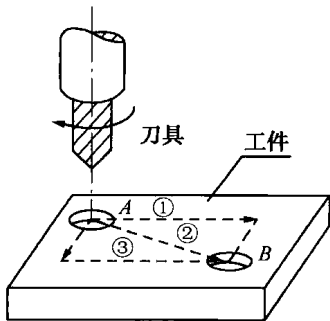


图 1-3 点位控制切削加工

#### （2）直线控制数控机床

直线控制是除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外，还要控制在这两点之间以指定的进给速度进行平行于坐标轴的直线切削。加工示例如图 1-4 所示。这种形式的典型机床有车梯梯

轴的数控车床、平面铣削用的数控铣床等。

### (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,在运动过程中进行连续切削加工的功能。加工示例如图 1-5 所示。可实现联动加工是这类数控机床的本质特征。这类数控机床有数控车床、数控铣床、加工中心等用于加工曲线和曲面形状零件的数控机床。现代的数控机床基本上都是这种类型。

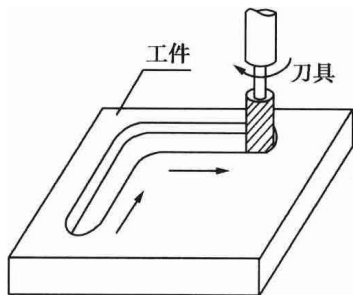


图 1-4 直线控制切削加工

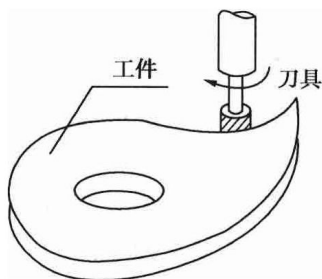


图 1-5 轮廓控制切削加工

多个坐标轴按照一定的函数关系同时协调运动,称为多轴联动。按照联动轴数,可分为二轴联动、二轴半联动、三轴联动(如图 1-6 所示)和多轴联动数控机床(如图 1-7 所示)。

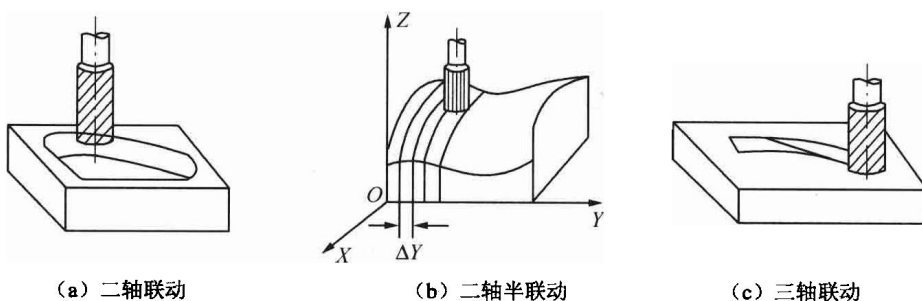


图 1-6 不同联动轴数所能加工的型面

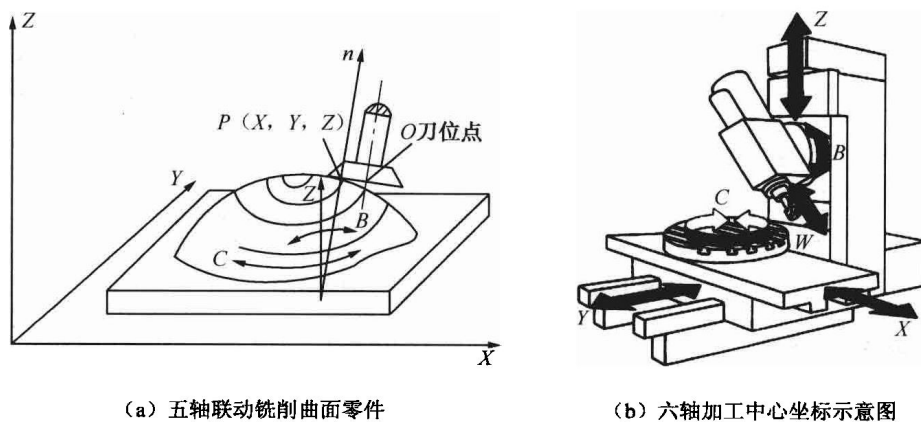


图 1-7 多轴联动数控机床

### 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半闭环和全闭环两种。

### (1) 开环控制数控机床

这类数控机床的运动部件没有位置检测反馈装置，采用步进电动机驱动，如图 1-8 所示。开环控制一般用于经济型数控机床和旧机床的数控化改造。

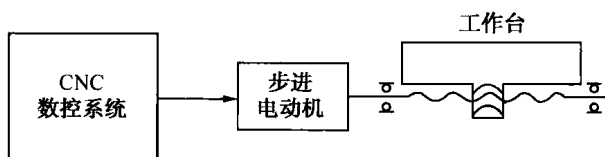


图 1-8 开环控制数控机床结构

### (2) 半闭环控制数控机床

指在伺服电动机轴上或丝杠轴端装有角位移检测装置，通过检测伺服电动机或丝杠轴端的转角间接地检测出运动部件的位移，反馈给数控装置的比较器，与输入的指令进行比较，用差值控制运动部件，如图 1-9 所示。

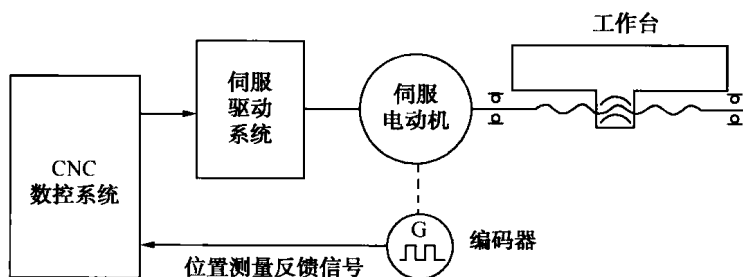


图 1-9 半闭环控制数控机床结构

### (3) 全闭环控制数控机床

指在机床最终运动部件的相应位置直接安装有位置测量反馈装置，将直接测量到的位移值反馈到数控装置的比较器中与输入指令移量进行比较，用差值控制运动部件，使运动部件严格按实际需要的位移量运动，如图 1-10 所示。

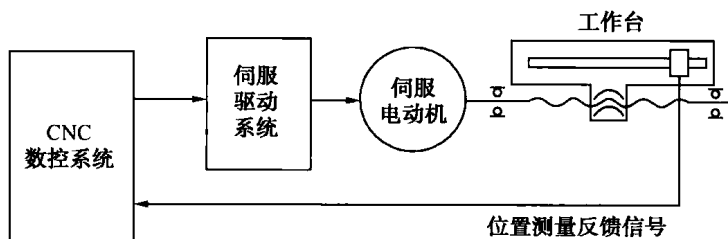


图 1-10 全闭环控制数控机床结构

## 4. 按功能水平分类

按照功能水平，可以将数控机床分为低（经济型）、中、高三档。这种分类方法的界线是相对的，不同时期的划分标准会有所不同。就目前的发展水平来看，不同档次数控机床的功能和指标见表 1-1。

表 1-1 各档次数控机床的功能和指标

| 功 能                              | 低档（经济型） | 中 档    | 高 档         |
|----------------------------------|---------|--------|-------------|
| 进给分辨率/ $\mu\text{m}$             | 10      | 1      | 0.1         |
| 快速进给速度/（ $\text{m}/\text{min}$ ） | 3~10    | 10~20  | 20~100      |
| 伺服系统结构                           | 开环      | 半闭环    | 半闭环或闭环      |
| 进给驱动元件                           | 步进电动机   | 伺服电动机  | 伺服电动机       |
| 联动轴数                             | 二~三轴    | 二~四轴   | 五轴以上        |
| 显示功能                             | LED 数码管 | CRT 显示 | CRT 显示，三维图形 |
| 内装 PLC                           | 无       | 有      | 有           |
| 通信功能                             | 无       | RS232  | RS232，网络接口  |

1.2.2 数控机床加工的特点

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. 对加工对象的适应性强

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. 生产效率高

数控机床的加工效率一般比普通机床高 3~4 倍。一方面是因为其自动化程度高，具有自动换速、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能，而且工序集中，在一次装夹中能完成较多表面的加工，省去了划线、多次装夹、检测等工序；另一方面是加工中可采用较大的切削用量，有效地减少了加工中的切削工时。

3. 加工精度高、加工质量稳定

由于数控机床本身的精度较高，还可以利用软件进行精度校正和补偿，又因为它根据数控程序自动进行加工，可以避免人为的误差，因此，不但加工精度高，而且质量稳定。

4. 加工能力强

数控机床能高效优质地完成普通机床不能或难以完成的复杂型面零件的加工，对复杂型面零件其生产效率比通用机床加工高十几倍甚至几十倍。

5. 功能复合程度高，一机多用

数控机床，特别是自动换刀的数控机床，在一次装夹的情况下，可以实现大部分工艺能力的加工工序，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，同时在某些方面也存在不足之处。

- ① 单位工时的加工成本较高；
- ② 生产效率比刚性自动生产线低，因而只适宜于多品种小批量或中批量生产（占机械加工总量 70%~80%），而不适合于大批量生产；
- ③ 加工中的调整相对复杂；
- ④ 维修难度大，要求具有较高技术水平的人员来操作和维修；
- ⑤ 机床价格较高，初始投资大。

### 1.2.3 数控机床加工的应用范围

数控加工的确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所有问题。根据数控加工的优缺点及国内外大量应用实践,一般可按适应程度将零件分为下列三类。

#### 1. 最适应类

对于下述零件,首先应考虑能不能把它们加工出来,即要着重考虑可能性问题。只要有可能,可先不要过多地去考虑生产率与经济上是否合理,都应把对其进行数控加工作为优选方案。

① 形状复杂,加工精度要求高,用通用机床无法加工或虽然能加工但很难保证产品质量的零件;

② 用数学模型描述的复杂曲线或曲面轮廓零件;

③ 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;

④ 必须在一次装夹中合并完成铣、镗、铰、铰或攻丝等多工序的零件。

#### 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。

① 在通用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 在通用机床上加工时必须制造复杂专用工装的零件;

③ 需要多次更改设计后才能定型的零件;

④ 在通用机床上加工时,安装需要做长时间调整的零件;

⑤ 用通用机床加工时,体力劳动强度很大的零件。

#### 3. 不适应类

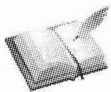
下述一类零件采用数控加工后,在生产效率与经济性方面一般无明显改善,还可能弄巧成拙或得不偿失,故此类零件一般不应作为数控加工的选择对象。

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。



### 习题

1-1 什么是数控技术?什么是数控机床?什么是数控系统?

1-2 比较数控机床与普通机床加工的过程,有什么区别?

1-3 数控机床的主要组成部分有哪些?各部分的作用是什么?

1-4 简述数控机床的基本工作原理。

1-5 数控加工机床按加工控制路线应分为哪几类?其控制过程有何不同?

1-6 数控加工机床按使用的进给伺服系统不同应分为哪几类?哪类的控制质量高,为什么?

1-7 简述数控机床加工的特点。

1-8 数控加工的主要对象是什么?