

高职高专机电工程类规划教材

# 数控编程与加工技术

眭润舟 主 编  
黄健求 副主编



机械工业出版社  
China Machine Press

高职高专机电工程类规划教材

# 数控编程与加工技术

广东省教育厅 组编

主 编 睦润舟

副主编 黄健求

参 编 吴广强 柳 宁

主 审 李定华



机械工业出版社

本书共分六章,以典型数控机床为例,介绍了数控车床、数控铣床、加工中心和数控线切割机床的操作及数控系统的功能,结合众多典型实例详细阐述了上述各类机床及加工中心手工编程、计算机编程的过程和方法。结合文字叙述,配有大量的零件加工图形、操作界面图形、编程界面图形、各种刀具辅具图形和数控加工轨迹图形等,内容清晰、直观、易懂。每章都配有一定量的复习实训作业题。掌握本书所介绍的几种数控机床的操作与编程,将为使用其它数控机床打下坚实的基础。

本书适合高专高职机电类学生进行数控编程及加工实践和操作训练,可供有关技术人员、数控机床操作人员学习、参考之用,也可作为数控技术培训教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工技术/睦润舟主编. —北京:机械工业出版社, 2001.8

高职高专机电工程类规划教材

ISBN 7-111-08531-0

I. 数... II. 睦... III. 数控机床—程序设计—高等学校; 技术学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2001)第041931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:邓海平 倪少秋 版式设计:冉晓华 责任校对:樊钟英  
封面设计:姚毅 责任印制:付方敏

北京市密云县印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2001年8月第1版·第1次印刷

1000mm×1400mm B5·9.125 印张·350千字

0 001—5 000册

定价:23.00元

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)68993821、68326677-2527

广东省高职高专机电工程类规划教材

## 编 委 会 名 单

主 任	杨开乔			
副主任	谢存禧	高文龙		
委 员	杨开乔	谢存禧	高文龙	蔡 敏
	邵 明	司徒忠	何友义	曾文光
	蔡昌荣	卢 勇	龚洵禹	林晓新
	吴 勇	程中元	戚长政	刘晓顺
	赵小平	卢晓春	姚嘉五	吴念香
	郑建辉			
秘 书	邵 明	吴念香	郑建辉	

## 序

高等职业教育是我国高等教育改革和发展的新生事物,是我国高等教育不可缺少的重要组成部分。20世纪90年代以来,党中央、国务院十分重视高职高专教育,制定了一系列政策和措施,有效地推动了高职高专教育的改革和发展。中共中央、国务院《关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定》中明确指出:“要大力发展高等职业教育,培养一大批具有必要理论知识和较强实践能力,生产、建设、管理、服务第一线和农村急需的专门人才”。为我国高等职业教育的改革和发展指明了方向。近年来,我省全面贯彻国家高职发展的“三改一补”方针,采取“三多一改”的办法(即多形式、多模式、多机制和改革)发展高等职业教育,使高职高专教育出现了生机勃勃的发展势头。到目前为止,全省有独立设置的职业技术学院13所,9所本科院校举办了二级职业技术学院,10多所普通专科学校、20多所成人高校举办了高职专业,全省高职高专在校生10多万人,初步形成了具有一定办学特色的高等职业教育体系,成为我省高等教育的重要组成部分。

由于高等职业教育成规模发展的时间较短,教学体系尚不成熟,许多问题,诸如教学计划、教学内容、实践基地建设、“双师”队伍建设、教材建设等,尚在研究、摸索阶段。尤其是高职高专的教材较少,给教学工作和人才培养造成了一定的困难。解决好这些问题,将有利于高等职业教育的进一步改革和发展。为此,广东省教育厅十分重视高职高专教材建设。我们采取了统筹规划,分步实施的办法,积极组织有关高职院校教师分专业、分系列开展高职高专教材的编写工作。本套高职高专机电工程类规划教材的编写出版,就是我们在高职教材建设方面的一个积极尝试。这套教材共17门,由我厅和国家机械工业局教编室、机械工业出版社联合组织编写,在编写过程中,全体编写人员、责任编辑、编委会成员倾注了大量的心血。本套教材较好地贯彻了职业性、实用性、系统性、超前性、地方性的编写原则,具有较明显的职教特色和地方特色,将有助于学生专业理论的学习和应用技能的训练和提高,适用于高等职业院校、专科学校和成人高校机电工程类专业使用。

这套教材的编写出版,将填补我省高等职业教育专业教材的空白,并对我省高等职业教育的进一步改革和发展产生积极而深远的影响。同时,我们也希望通过这套教材的出版发行,能为我国高等职业教育的改革和发展尽一份微薄之力,并为我国高职教育教材园地的建设增添一朵绚丽的小花。

广东省教育厅  
2000年8月25日

# 前 言

本书是广东省教育厅组织编写的高职高专机电工程类规划教材之一。本书贯彻“职业性、实用性、系统性、超前性、地方性”的原则，以典型数控机床为例，详细介绍了数控车床、数控铣床和数控线切割机床的操作及数控系统的功能，结合众多典型实例着重阐述了上述机床及加工中心手工编程、计算机编程的过程和方法。本书共分六章，在内容安排上，基本原理叙述以够用为度，突出实用性和可操作性。文字叙述力求简练清晰，配以大量的零件加工图形、操作界面图形、编程界面图形、各种刀具辅具图形和数控加工轨迹等图形，使内容具体、直观易懂，便于学习、实践和操作训练。掌握本书所介绍的几种数控机床的操作与编程，将为使用其他数控机床打下坚实的基础。

参加本书编写的有华南理工大学睦润舟（第一、二章），南华工商学院西院吴广强（第三章），广东机械学校柳宁（第四、第五章），东莞理工学院黄健求（第六章），全书由睦润舟任主编，黄健求任副主编。茂名学院彭小红也曾参与有关章节的编写工作。

本书由广东工业大学李定华教授主审，参加审稿的还有吴黎明副教授。他们对本书的编写提出了一些宝贵意见和建议，在此表示感谢。同时，也向对本书编写给予帮助的赵宇工程师、卢翔工程师和本书所引用的文献、著作的作者，表示感谢。

由于编者水平有限，书中难免有不妥或谬误之处，敬请读者斧正。

**编 者**

**2001年1月1日**

# 目 录

序	
前言	
<b>第一章 机床数控技术概论</b>	1
第一节 数控机床概述	1
第二节 数控机床的分类	5
第三节 数控机床的特点和应用范围	8
第四节 数控加工技术的发展趋势	10
习题	14
<b>第二章 数控加工及程序编制基础</b>	15
第一节 插补的基本知识	15
第二节 编程几何基础	17
第三节 刀具补偿	23
第四节 数控加工的工艺设计	25
第五节 数控加工程序的格式与编制	39
习题	47
<b>第三章 数控车床编程及加工实训</b>	48
第一节 数控车床编程基础	48
第二节 数控车床及其操作	86
第三节 数控车床编程及加工实训	110
复习实训作业题	145
<b>第四章 数控铣床编程及加工实训</b>	148
第一节 数控铣床编程基础	148
第二节 数控铣床及其操作	177
第三节 数控铣床编程及加工实训	184
复习实训作业题	227
<b>第五章 加工中心编程及加工实训</b>	228
第一节 加工中心编程基础	228
第二节 加工中心编程的工艺分析	234
第三节 加工中心编程与加工实训	238
复习实训作业题	248
<b>第六章 数控线切割编程与加工实训</b>	249
第一节 数控线切割机床简介	249

第二节 数控线切割加工程序的编制 .....	253
第三节 数控线切割加工机床操作及加工实训 .....	273
复习实训作业题 .....	280
参考文献 .....	281



# 第一章 机床数控技术概论

## 第一节 数控机床概述

### 一、数控机床及其发展过程

数值控制 (Numerical Control, NC), 是用数字化信号进行控制的一种方法。数控技术是与机床的自动控制密切结合而发展起来的, 如今数控技术已广泛应用于化工生产、石油精炼、造纸、钢铁生产等工艺流程控制以及其它各个方面。

近代大工业生产中, 机械加工工艺过程实现自动化是提高产品质量和生产率的重要措施。许多企业采用凸轮、靠模及电气元器件等控制的自动机床、组合机床和专用生产线进行批量生产, 收到了很好的效益。但在机械制造业中, 单件及小批量生产的零件约占机械加工总量的 80%; 而且随着科学技术和社会生产的迅速发展, 零件形状复杂、改型频繁、精度要求提高的情况日渐突出, 使用那些“刚性”自动化设备来生产就显得很不合理, 甚至不可实现。数控机床的诞生, 较好地解决了精密、复杂、多品种、单件或小批量机械零件加工自动化的问题。采用数控技术, 或者说是装备了数控系统的机床, 称为数控机床 (Numerical control machine tools)。它是一种技术密集度和自动化程度都比较高的机电一体化加工装备。

1947 年, 美国的 Parsons 公司为了提高生产飞机零件的靠模和机翼检查样板的精度及效率, 提出了用穿孔卡来控制机床的设想; 后与 MIT (麻省理工学院) 合作, 于 1952 年研制出了世界上第一台试验性的三坐标数控立铣床, 控制装置由真空管组成。1954 年生产出了第一台工业用的数控机床, 1955 年类似产品投产了一百台。这些数控机床在复杂曲面零件加工中发挥了很大作用。

半个世纪以来, 随着自动控制技术、微电子技术、计算机技术、精密测量技术及机械制造技术的迅速发展, 数控机床也得到了快速发展, 产品不断更新换代, 品种不断增多。就数控装置而言, 大致经历了以下几个发展过程: 数控装置由真空管组成 (第一代) → 采用晶体管和印刷电路 (第二代) → 采用小规模集成电路 (第三代), 并出现了 DNC (Direct Numerical Control, 直接数控) 控制方式 → 采用小型通用计算机控制 (Computerized NC, CNC) 和大规模集成电路 (第四代) → 采用微型计算机或微处理机 (Microcomputer NC, MNC) (第五代)。现在, 大多采用多个微处理器 (CPU) 组成的微型计算机作为数控装置的核心,

数控装置的各项功能被分配到各个微处理器，在主微处理器的统一控制和管理下，并行、协调地工作，使数控机床向高精度、高速化发展。

我国于1958年开始研制数控机床，“七五”期间，取得了长足的发展。此后，采取自主开发中、高档数控系统与购买国外先进数控系统相结合的方针，加速了我国数控机床生产的发展和水平的提高。数控机床产品已覆盖了车、铣、镗、钻、磨、齿轮加工、线切割加工、电火花加工等机床，以及加工中心、弯管机、折弯机、数控冲床及FMC（Flexible Manufacturing Cell，柔性制造单元）等方面，品种达300多种。

## 二、数控机床的基本组成

数控机床大体由输入装置、数控装置、伺服系统（包括检测装置）和机床本体组成，如图1-1所示。

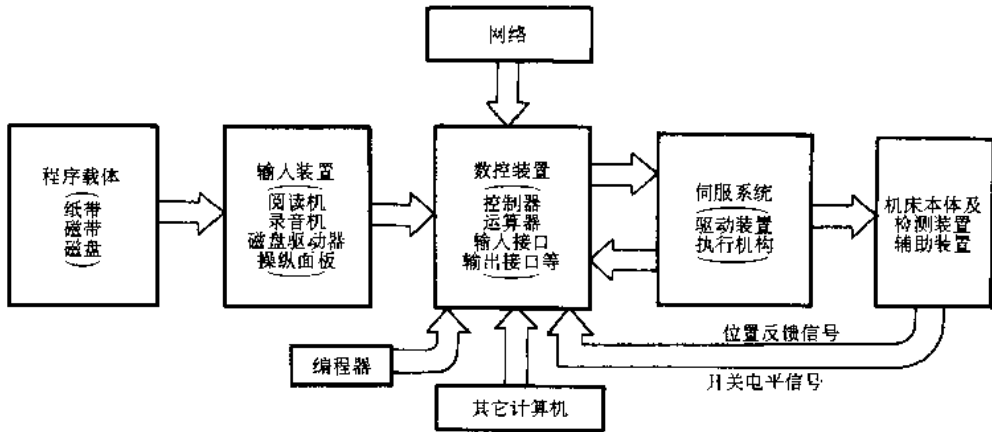


图 1-1 数控机床的组成

### 1. 输入装置

输入装置与输入方法有关，输入方法有以下三种。

(1) 控制介质输入 所谓控制介质就是数控信息的物质载体，通常有穿孔纸带、磁带、磁盘等；相应的输入装置是光电纸带阅读机、录音机、磁盘驱动器。穿孔纸带是在特制的纸带上穿孔，孔的不同位置的组合构成不同的数字或数控代码。加工零件的程序，按规定的格式穿孔记录在纸带上。通过光电纸带阅读机将纸带上的加工程序读入数控装置中的存储器。目前国际上穿孔格式有两种：EIA（Electronic Industries Association）标准和ISO（International Organization for Standardization）标准。我国根据ISO标准制定了JB8870—88《信息处理交换用七位编码字符集在穿孔纸带上的表示方法》，其与ISO标准等效。虽然现在很多数控机床上仍附带有纸带阅读机和磁带录音机，但由于微型计算机的普遍使用，

穿孔纸带和磁带控制介质的应用已越来越少。

(2) 手工输入 利用键盘和显示屏, 输入控制机床运动和刀具运动的指令。具体说来有二种情况, 一种是手动数据输入 (Manual Date Input, MDI), 即通过机床面板上的键, 把数控程序指令逐条输入存储器中。这种方法一般只适用一些较为简短的程序。另一种是在数控显示装置的程序编辑界面, 用软键或键盘输入程序指令, 存于内存中; 后面有关章节中的手工编程主要就是采用这种输入方法。用这种方法还可以调出已存入数控系统的程序并对其进行编辑修改。还有一种方法, 在具有对话功能软件的数控装置 (微型计算机) 上, 根据软件的逻辑格式和显示屏上的对话提示, 选择不同的菜单, 输入有关的数字和信息后, 可自动生成控制程序存入内存; 这种方法虽然是手工输入, 但却是自动编程。图形交互自动编程是现在广泛采用的另一种自动编程方式。利用 CAD 软件的图形编辑功能将零件的几何图形绘制到计算机上, 形成零件的图形文件, 然后调用数控编程模块, 采用人机交互的方式在计算机屏幕上指定被加工的部位, 通过键盘手工输入相应的加工参数后, 计算机自动编制出数控加工程序。

此外, 还可通过手动操作操作面板上的一些控制开关、按钮, 对数控机床进行某些控制, 例如数控车床上的速度倍率开关、手动进给按钮等。

(3) 直接输入存储器 从自动编程机上、其它计算机上或网络上, 将编制好的加工程序通过通信接口直接输入数控装置的存储器。

## 2. 数控装置

数控装置由硬件和软件两大部分组成。硬件包括通用 I/O 接口、CPU、存储器、可编程序控制器 (Programmable Logic Controller, PLC) 及数字通信接口等。采用单微处理机数控装置的硬件结构如图 1-2 所示。软件包括管理软件和控制

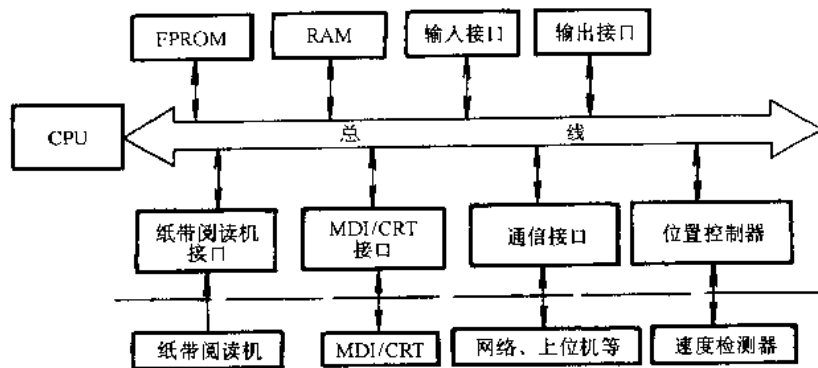


图 1-2 数控装置硬件结构示意图

制软件。管理软件用来管理零件程序的输入、输出, 显示零件程序、刀具位置、系统参数及报警, 诊断数控装置是否正常并检查故障原因。控制软件则完成译

码、刀具补偿、插补运算、位置控制等。

数控装置的主要功能为读入数值、存储、运算处理，产生控制信息控制机床运动，按确定的顺序和设定的条件规则实行程序控制。

纸带阅读机接口及通用输入接口接受纸带阅读机及手工输入或上位机传来的加工程序，经过识别和译码后分送到相应的存储器，作为控制与运算的依据。控制器接受这些输入的指令，控制运行和运算。如果控制与运算是依靠专用计算机固定硬件结构来完成的，这种数控装置称为硬件数控或硬联结数控。现在数控装置几乎都采用了微型计算机。微机的 CPU 把运算器、控制器集成在芯片中，运算器最基本的工作就是进行插补运算和刀具轨迹运算。系统将位置检测器测得的实际位置与插补运算后的坐标位置进行比较，产生控制指令。微机拥有大容量存储器，只读存储器（ROM）存放系统控制程序，随机存储器（RAM）存放系统运行时的工作参数及用户的零件加工程序；控制运行和运算都是通过软件来实现的，这种数控装置称为软件数控或软联结数控。输入输出 I/O 接口也都采用集成电路，可实现数字与电量信号之间的转换。根据控制器的指令通过输出接口，把控制信号输送到伺服系统。机床输入接口接收检测装置反馈信号并输送到数控装置；另外还接受操作面板上的各种开关、按钮及机床各种限位开关的电平信号。

### 3. 伺服系统

伺服系统包括驱动装置、执行机构及位置、速度检测反馈装置。伺服电机是伺服系统的执行机构，驱动装置则是伺服电机的动力源。来自数控装置的指令信号经功率放大，驱动伺服电机，进而通过机械传动系统驱动机床主轴、工作台架等机床运动部件。伺服系统按控制原理可分为开环系统、半闭环系统、闭环系统和混合环系统。

### 4. 机床本体

数控机床是在普通机床的基础上发展起来的。但转动系统、操作机构、刀具装置、外观造型及布局方面都有很大的变化和进步。例如数控车床采用滚珠丝杠（如图 1-3 所示）传动使传动轻巧精密；用滚动导轨或贴塑导轨消除爬行；采用主轴电机和变速齿轮的变速机构，实现无级变速的同时还减少了变速齿轮的级数；机床的工作台可装有位置检测反馈装置；机床可配置有切屑处理装置及自动交换工作台等。由于数控机床的运行速度和加工速度一般都比普通机

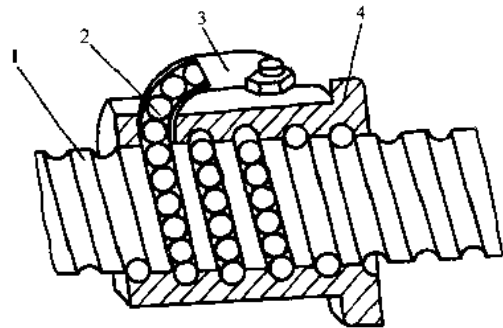


图 1-3 滚珠丝杠结构示意图

1—丝杠 2—滚珠 3—回珠管 4—螺母

床高，所以对机床刚度、震动频率等方面也有特殊的要求。

## 第二节 数控机床的分类

### 一、按加工工艺方式分类

- 1) 切削机床类。属于此类的有数控车床、铣床、镗床、钻床和加工中心等。
  - 2) 成型机床类。有数控冲压机、弯管机、折弯机等。
  - 3) 特种加工机床类。有数控电火花、线切割、激光加工机床等。
  - 4) 其它机床类。数控等离子切割、火焰切割、点焊机、三坐标测量机等。
- 本书主要涉及数控车床、数控铣床、加工中心和线切割机床。

### 二、按控制系统功能特点分类

(1) 点位控制 (Point to Point Control, PTP) 这种类型的机床只能控制刀具、工作台等移动部件的目的位置，即只可实现刀具、工作台等移动部件从一个位置到另一个位置的精确定位，而对移动轨迹没有严格要求，并且在移动和定位过程中不进行任何加工，如图 1-4 所示。数控钻床、冲压机、点焊机、弯管机等机床的运动控制方式就属此类。为了精确定位和提高定位速度，机床启动后，移动部件首先高速运行，然后减速以实现慢慢接近定位点并最后准确定位。三个以上的多位置 (点) 先后定位，应选择刀具运动次序 (加工次序)，以保证加工质量、提高刀具寿命，并缩短运动路线，节省时间。需要注意的是，选择运动次序时，要防止刀架或刀具在运动过程与工件、夹具或机床部件相碰。

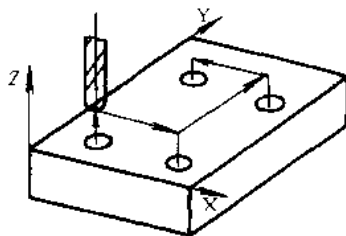


图 1-4 点位控制

(2) 点位直线控制 (Straight line control or Paraxial control) 简称直线控制。这类型的数控机床控制系统，不仅可以控制刀具或工作台由一个位置点到另一个位置点的精确移动，还可以控制他们以给定的速度沿着平行于某一坐标轴方向移动和在移动过程进行加工；该类系统也可控制刀具或工作台同时在两个轴向以相同的速度运动，从而沿着与坐标轴成 $45^\circ$ 的斜线进行加工，如图 1-5 所示。

(3) 轮廓控制 (Contour Control) 轮廓控制也称连续控制。这类机床的控制系统可使刀具或工作台在几个坐标轴方向以各轴向的速度同时协调联动，不仅能控制运动部件的起点与终点，还可以控制其运动轨迹及轨迹上每一点的速度和位移，如图 1-6 所示。用于加工空间曲线和曲面的数控车床、数控铣床及加工中心的控制系统，都应有轮廓控制的功能。能进行轮廓控制的数控机床，一般也能进行点位控制和点位直线控制。

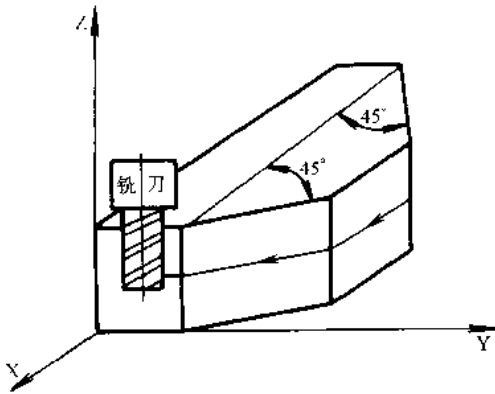


图 1-5 点位直线控制

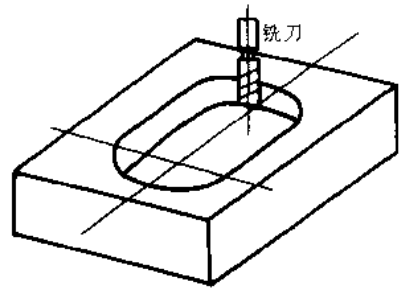


图 1-6 轮廓控制

### 三、按伺服系统控制原理分类

这种分类方法是根据伺服系统测量反馈形式来分的，如图 1-7 所示。

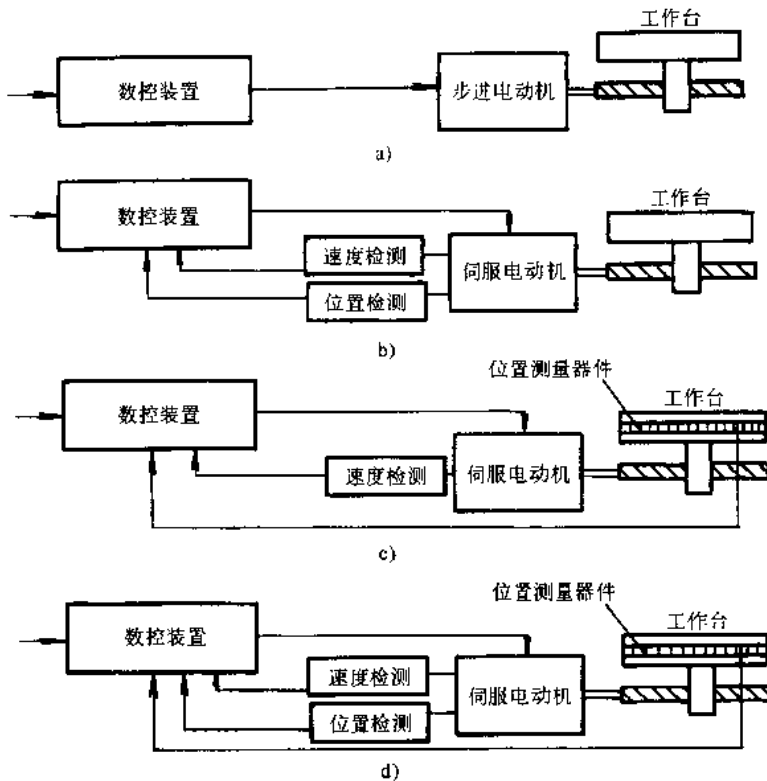


图 1-7 伺服系统控制方式

a) 开环控制 b) 半闭环控制 c) 闭环控制 d) 混合环控制

(1) 开环控制 开环控制是指伺服系统不带测量反馈装置的控制方式，如图

1-7a 所示；驱动装置一般采用步进电动机。机床的工作精度取决于步进电动机的转动精度及变速机构、丝杠等机械传动部件的精度。

(2) 半闭环控制方式 这种控制方式是将检测装置安装在伺服电机或滚珠丝杠轴端，检测它们的角位移（转角）和转速并反馈到数控装置，由角位移间接推算出工作台或刀具的位移和移动速度，如图 1-7b 所示。这种伺服系统比较简单，造价较低，同时由于滚珠丝杠制造精度的提高，丝杠、螺母之间侧隙采用了补偿方法，因此半闭环控制方式在中等精度以上的数控机床中得到了广泛应用。

(3) 闭环控制方式 机床工作台或机架上装有位置检测装置，检测刀具或工作台的实际位移值并及时反馈至数控装置中与位移指令值进行比较，根据两者的差值得到伺服电动机的控制指令。此外，与伺服电动机同轴刚性连接的测速器件，随时测得伺服电动机的转速，得到转速反馈信号，与速度指令信号相比较，得到速度误差信号，随时对驱动电动机的转速进行校正，如图 1-7c 所示。可以看出，闭环控制方式的运动精度和定位精度，主要取决于检测装置的精度。但由于机床床身和运动部件也在位置检测装置的检测反馈环中，因此对机床结构的固有频率、结构阻尼、传动间隙、导轨爬行等方面的要求也较为严格，否则会增加数控机床调试的困难，甚至会使伺服系统产生振荡而使机床无法正常进行加工。

(4) 混合环控制方式 这种控制方式可以看成是半闭环控制和闭环控制的混合形式，如图 1-7d 所示。内环为速度控制和位置粗控，外环为位置精确控制。

对数控机床加工功能、加工精度、生产率和成本等要求不同，所选用的伺服系统控制方式也会不同。

#### 四、按控制系统功能水平分类

按控制系统的主要技术参数、功能指标和关键部件的功能水平，数控机床可分为低、中、高三个档次。国内还分为全功能数控机床、普及型数控机床和经济型数控机床。这些分类方法虽然没有明确的定义和标准，但比较直观。以下几方面通常作为分类评价的主要依据。

(1) 控制系统 CPU 的档次 低档数控系统一般采用 8 位 CPU，中、高档数控系统采用 16 位或 32 位的 CPU，现在有些 CNC 装置已采用 64 位的 CPU。

(2) 分辨率和进给速度 分辨率为位移检测装置所能检测到的最小位移单位，分辨率越小，则检测精度越高。它取决于检测装置的类型和制造精度。一般认为，分辨率  $10\mu\text{m}$ ，进给速度  $8\sim 10\text{m}/\text{min}$  为低档 NC 机床；分辨率  $1\mu\text{m}$ ，进给速度  $10\sim 20\text{m}/\text{min}$  为中档；分辨率  $0.1\mu\text{m}$ ，进给速度  $15\sim 20\text{m}/\text{min}$  为高档。通常分辨率应比机床所要求的加工精度要高一个数量级。

(3) 坐标联动功能 数控机床联动轴数也常是区分机床档次的一个标志。按同时控制的联动轴数，可分为 2 轴联动、3 轴联动、3 轴 2 联动（任一时刻，三

轴中只能实现两轴联动,另一轴则是点位或直线控制;常写成 $2\frac{1}{2}$ 轴)、4轴联动、5轴联动等。一般情况下,同一厂家,同等规格、同等精度的数控机床,增加一个联动坐标轴,价格约增加30%,这是在选择机床时应考虑的因素。

(4) 通信功能 低档数控系统一般无通信功能;中档的有RS232C或可供DNC(直接数控)的通信接口;高档系统有RS422A或支持MAP(自动化协议)的高性能通信接口,具有联网功能。

一般来说,不同档次的数控机床在显示功能方面也有所区别,因此在评判数控机床档次时,习惯上也常将显示功能作为评判因素之一。低档数控机床一般只有LED(Light Emitting Diode,发光二极管)显示器或单色LCD(Liquid Crystal,液晶)显示器或仅有字符显示功能的CRT(Cathode-ray Tube,阴极射线管)显示器;中、高档的数控机床CRT显示器或LCD显示器有彩色图形显示功能或图形动态显示功能。

### 第三节 数控机床的特点和应用范围

#### 一、数控机床加工特点

与普通机床相比,数控机床是一种机电一体化的高效自动机床,它具有以下加工特点:

(1) 具有广泛的适应性和较高的灵活性 更换加工对象,只需要重新编制和输入加工程序即可实现加工;在一些情况下,甚至只要修改程序中部分程序段或利用某些特殊指令就可实现加工(例如利用缩放功能指令就可加工形状相同尺寸不同的零件)。这为单件、小批量多品种生产,产品改型和新产品试制提供了极大的方便,大大缩短生产准备及试制周期。

(2) 加工精度高,质量稳定 由于数控机床采用了数字伺服系统,数控装置每输出一个脉冲,通过伺服执行机构使机床移动部件产生相应的位移量(称为脉冲当量),可达到 $1\sim 0.1\mu\text{m}$ ;机床传动丝杆采用间隙补偿,螺距误差及其他传动误差可由闭环系统加以控制。因此数控机床能达到较高的加工精度。例如普通精度级加工中心,定位精度一般可达到每300mm长度上误差不超过 $\pm(0.005\sim 0.008)\text{mm}$ ,重复定位精度可达到0.001mm。另外,数控机床结构刚性和热稳定性都较好,制造精度能保证;其自动加工方式避免了操作者人为的操作误差,加工质量稳定,合格率高,同批加工的零件几何尺寸一致性好。数控机床能实现多轴联动,可以加工普通机床很难加工甚至不可能加工的复杂曲面。

(3) 加工生产率高 在数控机床上可选择最有利的加工参数,实现多道工序连续加工;也可实现多机看管。由于采取了加速、减速措施,使机床移动部件能



快速移动和定位，大大节省了加工过程中的空程时间。

(4) 可获良好的经济效益 虽然分摊在每个零件上的设备费（包括折旧费、维修费、动力消耗费等）较高，但生产效率高，单件、小批量生产时节省辅助时间（例如画线、机床调整、加工检验等），产品合格率高，组织生产过程在制品数量少等诸多有利方面，可使生产成本降低。

## 二、数控机床的应用

数控机床的性能特点决定了它的应用范围。对数控加工，可按适应程度将加工对象大致分为三类：

### 1. 最适应类

1) 加工精度要求高，形状、结构复杂，尤其是具有复杂曲线、曲面轮廓的零件，或具有不开敞内腔的盒型或壳体零件。这些零件用通用机床很难加工，很难检测，质量也难保证。

2) 必须在一次装夹中完成铣、钻、铰、镗或攻丝等多道工序的零件。

### 2. 较适应类

1) 价格昂贵，毛坯获得困难，不允许报废的零件。这类零件在普通机床上加工时，有一定难度，受机床的调整、操作人员的精神、工作状态等多种因素影响，容易产生次品或废品。为可靠起见，可选择在数控机床上进行加工。

2) 在通用机床上加工生产率低，劳动强度大，质量难稳定控制的零件。

3) 用于改型比较、供性能或功能测试的零件（它们要求尺寸一致性好）；多品种、多规格、单件小批量生产的零件。

### 3. 不适应类

1) 利用毛坯面作为粗基准定位进行加工或定位完全需靠人工找正的零件。数控机床上无在线检测系统可自动检测调整零件位置坐标的情况下，加工余量很不稳定的零件。

2) 必须用特定的工艺装备，或依据样板、样件加工的零件或加工的内容。

3) 需大批量生产的零件。但随着数控机床性能的提高、功能的完善和成本的降低，随着数控加工用的刀具、辅具的性能不断改善提高和数控加工工艺的不断改进，利用数控机床高自动化、高精度、工艺集中的特性，将数控机床用于大批量生产的情况逐渐多了起来。因此，适应性是相对的，会随着科技的发展而发生变化。

数控机床是实现柔性自动加工的重要设备，是发展 FMS (Flexible Manufacture System) 和 CAM (Computer Aided Manufacturing) 的基础。

数控机床的使用、维修技术要求较高，操作及维修人员应有较高的专业素质。