

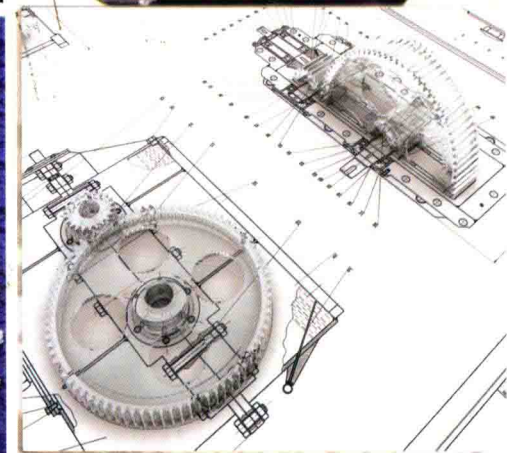
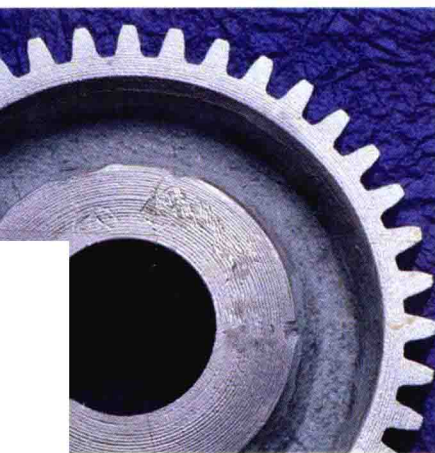


高职高专“十二五”创新型规划教材

数控机床编程与操作

项目化教程

刘芬 孙芹 主编



南京大学出版社

“十二五”创新型规划教材

数控机床编程与操作 项目化教程

主 编	刘 芬	孙 芹
副主编	李作丽	朱艳华
	来亦丽	周春梅
主 审	张 慧	刘延利
	王国凡	



南京大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作项目化教程 / 刘芬, 孙芹主编

— 南京: 南京大学出版社, 2013.1 (2016.1 重印)

“十二五”创新型规划教材

ISBN 978-7-305-11065-8

I. ①数… II. ①刘… ②孙… III. ①数控机床—程序设计—高等教育—教材②数控机床—操作—高等教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 014365 号

出版发行 南京大学出版社

社 址 南京市汉口路 22 号 邮 编 210093

网 址 <http://www.NjupCo.com>

出 版 人 左 健

丛 书 名 “十二五”创新型规划教材

书 名 数控机床编程与操作项目化教程

主 编 刘 芬 孙 芹

责任编辑 张晋华 何永国 编辑热线 010-82967726

审读编辑 王秉华

印 刷 廊坊市广阳区九洲印刷厂

开 本 787×1092 1/16 印张 20 字数 446 千

版 次 2013 年 1 月第 1 版 2016 年 1 月第 2 次印刷

印 数 1~3000

ISBN 978-7-305-11065-8

定 价 36.00 元

发行热线 025-83594756

电子邮箱 Press@NjupCo.com

Sales@NjupCo.com (市场部)

* 版权所有, 侵权必究

* 凡购买南大版图书, 如有印装质量问题, 请与所购图书销售部门联系调换

目 录

绪论	(1)
模块一 数控车床程序编制	(29)
项目一 外圆柱面、圆锥面加工工艺设计与编程	(29)
项目二 外圆弧面及沟槽加工工艺设计与编程	(67)
项目三 螺纹加工工艺设计与编程	(89)
项目四 内孔零件加工工艺设计与编程	(106)
项目五 非圆曲线零件加工工艺设计与编程	(120)
项目六 典型回转体零件加工工艺设计与编程	(135)
模块二 数控车床操作	(150)
项目一 数控车床面板认识与基本操作	(150)
项目二 程序的输入与编辑操作	(160)
项目三 数控车床对刀操作及程序的自动运行	(164)
模块三 数控铣床(加工中心)程序的编制	(169)
项目一 槽形零件的加工工艺设计与编程	(169)
项目二 平面凸轮廓零件的加工工艺设计与编程	(195)
项目三 型腔类零件的加工工艺设计与编程	(212)
项目四 孔系零件的加工工艺设计与编程	(226)
模块四 数控铣床(加工中心)的操作	(248)
项目一 数控铣床(加工中心)的界面操作	(248)
项目二 数控铣床(加工中心)刀具参数输入	(258)
项目三 数控铣床(加工中心)程序的编辑、管理与运行	(264)
模块五 宇龙数控仿真软件的操作	(271)
项目一 宇龙数控仿真软件认识	(271)
项目二 数控车床仿真基本操作	(280)
项目三 数控车床仿真对刀	(288)

项目四 数控加工中心仿真基本操作	(292)
项目五 数控加工中心仿真对刀	(299)
项目六 程序的相关操作	(306)
参考文献	(313)

绪 论



学习目标

一、知识目标

1. 了解数控技术和数控机床的基本概念、产生、发展及趋势
2. 掌握数控机床的结构组成与工作原理
3. 掌握数控机床的分类、加工特点及应用
4. 了解数控编程的内容、步骤和方法
5. 掌握数控机床的各种坐标系的作用和确定方法
6. 掌握数控加工程序的组成和格式
7. 了解数控编程常用的功能指令

二、能力目标

通过对数控机床和数控编程基本知识的了解和掌握，建立起对数控机床操作和数控程序编制的基本印象，为今后的学习打下坚实的基础。

一、数控机床概述

（一）数控机床的概念、产生与发展

1. 数控机床的基本概念

数控 (Numerical Control, NC)，是指采用数字和符号构成的数字化信息对机床的运动及其加工过程进行自动控制的技术。

数控机床 (Numerically Controlled Machine Tool)，是指装备了数控系统的机床。

2. 数控机床的产生和发展

1946 年世界上第一台电子计算机问世，此后不久将数控技术应用于机械加工的设想也随之出现。1948 年，美国的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司 (Parsons Corporation) 在制造飞机的框架和直升飞机的螺旋桨叶片时，由于这些零件的形状复杂，材料又多为难加工的合金，用传统的机械加工方法不能满足精度要求，也难以提高生产效率。因此，他们提出了利用电子计算机来处理加工数据和控制加工轨迹的设想，并得到了美国军方的支持。帕森斯公司与麻省理工学院合作研究，于 1952 年成功研制出了一台三坐标联动的立式数控铣床，这也是公认的第一台数控机床。

自此以后，随着计算机电子技术的不断发展，数控系统也不断更新换代，发展至

今已经历了两个阶段，共六代系统。

(1) 数控 (NC) 阶段

第一代：1952—1959 年，采用电子管元件构成的专用 NC 系统。

第二代：1959—1964 年，采用晶体管电路的 NC 系统。

第三代：1964—1970 年，采用小、中规模集成电路的 NC 系统。

该阶段的特点是：由硬件数字逻辑电路“搭”成专用的计算机作为数控系统，又称为普通数控系统或硬件数控系统。

(2) 计算机数控系统 (CNC) 阶段

第四代：1970—1974 年，采用小型计算机的 NC 系统。

第五代：1974—1990 年，采用微处理器的 NC 系统。

第六代：1990 年至今，基于 PC 机的 NC 系统。

该阶段的特点是：控制功能大部分由软件技术实现，系统可靠性提高，功能更加灵活和完善，通用性强。

3. 我国数控系统的发展

1958 年我国以高等院校为主导，从电子管数控系统着手开始了数控机床的研制，曾由清华大学研制出最早的样机；1966 年生产出第一台用于直线—圆弧插补的晶体管数控机床，即第二代数控系统；1970 年初研制成功集成电路数控系统，标志着我国开始进入第三代数控系统的制造阶段，但发展缓慢，数控系统的稳定性、可靠性较差，数控机床的品种和数量也很少，主要生产数控线切割机床；1980 年后我国引进日本、美国、德国等国家的先进数控系统和直流伺服电机、直流主轴电机等技术，并开始合资批量生产数控机床。通过技术引进、消化吸收和自主研发，大力推动了我国数控机床技术的发展，使我国的数控机床在质量和性能上有了较大的提高；1985 年后我国生产数控机床的品种达到 80 多种，数控设备进入了实用阶段，同时数控机床功能部件的专业厂商也逐渐形成规模；1990 年后我国加强了数控系统的自主研发，并取得了一定成效，国产数控系统开始崭露头角。

随着我国加入 WTO，并逐步成为世界制造业的中心，我国的数控产品在质量、性能、数量等方面都取得了较快发展，但和先进的工业国家相比还存在着一定的差距。数控机床方面，我国目前还是以生产经济型数控机床为主（占 80%），高、中档数控机床仍然依赖于进口；数控机床的产量也还远远不能满足国内生产的需要，更无法满足出口要求。数控系统方面，虽然我国已经掌握了 5~6 轴联动、图形显示、螺距误差补偿以及高精度伺服系统等多项关键技术，打破了西方对高端数控系统的垄断；但是由于国内数控系统产业化时间较短，整体质量不高，主要还是以开发经济型数控系统为主，高档数控系统 95% 为国外进口。

4. 数控机床发展趋势

自从 20 世纪中叶数控技术产生以来，数控技术在机械制造业得到了迅猛发展和广泛应用。随着计算机电子、自动控制、精密检测以及机械制造等技术的高速发展，数控设备在加工精度、生产效率、使用功能以及机床结构等方面也得到了不断的提高。

当前世界上数控机床的发展主要呈现如下趋势。

(1) 高速化

数控系统的高速化主要体现在主轴转速、进给速度以及刀具更换等辅助动作速度的提高,大大缩短了工件加工时间,提高了生产效率。

当前数控机床的主轴转速可以达到 100 000 r/min,如果采用电主轴(内装式主轴电机),主轴最高转速可达 200 000 r/min;在分辨率为 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 时,进给速度最大可以达到 240 m/min,可以进行复杂型面的精确加工;刀具更换的时间也大大缩短,数控车床的自动回转刀架转位时间一般可达 $0.4\sim 0.6\text{ s}$,加工中心的刀具交换时间普遍可达 3 s,最快可达到 1 s 以内。

(2) 高精度化

数控机床的精度主要体现在定位精度和重复定位精度。当前的数控机床配置了新型、高速、多功能的数控系统,其分辨率可达到 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,有的可达到 $0.01\text{ }\mu\text{m}$ 。另外,伺服系统采用反馈控制技术、高分辨率的位置检测元件、计算机数控的补偿功能等,从而保证了数控机床的高加工精度。目前数控机床的定位精度可达 0.001 mm ,重复定位精度可达 0.0005 mm 。

(3) 加工复合化

数控机床正在向着一机多能的趋势发展,即在一台机床上实现多工序、多方法加工。目前已经出现了集钻、镗、铣功能于一身的数控机床,例如可以完成钻、镗、铣、扩孔、铰孔、攻螺丝等工序的数控加工中心,以及车削加工中心,钻削、磨削加工中心、电火花加工中心等。近年来又出现了高复合化数控机床,如增加了车削和磨削功能的镗铣类加工中心等。这样不但可以避免工件多次装夹造成的定位误差,提高加工精度,还可以减少设备台数,节省占地面积和辅助时间,提高工作效率。

(4) 结构新型化

上世纪 90 年代一种完全不同于原来数控机床结构的新型数控机床被开发成功,给数控机床技术带来重大变革和创新。这种被称为“6 条腿”的加工中心或虚拟轴机床(有的称并联机床),没有任何导轨和滑台,采用能够伸缩的“6 条腿”(伺服轴)支撑并联,并与安装主轴头的上平台和安装工件的下平台相连。它可实现多坐标联动加工,其控制系统结构复杂,加工精度、加工效率较普通加工中心高 $2\sim 10$ 倍。

(5) 数控系统智能化

数控系统的智能化包括多个方面,一是为追求加工效率和加工质量方面的智能化;二是为提高驱动性能及使用连接方面的智能化;三是简化编程和操作方面的智能化;四是数控系统的智能诊断、智能监控等,方便系统的诊断及维修。

随着人工智能在计算机领域的渗透和发展,数控系统引入了自适应控制(Adaptive Control)、模糊系统和神经网络的控制机理,不但具有自动编程、模糊控制、学习控制、自适应控制、工艺参数自动生成、三维刀具补偿、运动参数动态补偿等功能,而且人机界面极为友好。同时数控系统还具有故障诊断专家系统,其自诊断和故障监控

功能更趋完善。此外，伺服系统智能化的主轴交流驱动和智能化进给伺服装置，能自动识别负载和优化调整参数。

(6) 数控系统的高可靠性

高可靠性是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性一个数量级以上，即 NC 系统与机床的失效比为 1:10。数控机床的可靠性取决于数控系统各伺服单元的可靠性。为了提高可靠性，目前可以采取以下措施。

① 提高线路集成度。采用大规模或超大规模集成电路、更高集成度的专用电路芯片以及混合式集成电路，以减少元器件的数量。

② 改善硬件的结构和功能。通过硬件结构的模块化、标准化、通用化及系列化，提高硬件的生产批量和质量。通过硬件功能的软件化以适应各种控制功能的要求。

③ 增强故障自诊断、自恢复和保护功能。数控机床一般具有故障自诊断功能，实现对系统内的硬件、软件和各种外设的故障诊断、报警，自动显示出故障的部位和类型，以便迅速排除故障。新型的数控机床还具备了故障预报、自恢复和保护功能，当发生加工超程、刀具破损、干扰、断电等各种意外时能自动进行相应的保护。

数控系统的可靠性可用平均无故障运行时间 (MTBF) 来衡量，由于采取了各种有效的措施，现代数控系统的平均无故障运行时间在 70 000~100 000 h 以上，国产数控系统平均无故障时间可达 10 000 h 以上。

(二) 数控机床的结构组成与工作原理

1. 数控机床的结构组成

数控机床的种类很多，但任何一种数控机床主要由输入输出装置、计算机数控装置 (CNC)、伺服系统、辅助控制装置、测量反馈装置以及机床主体等部分组成，如图 0-1 所示。

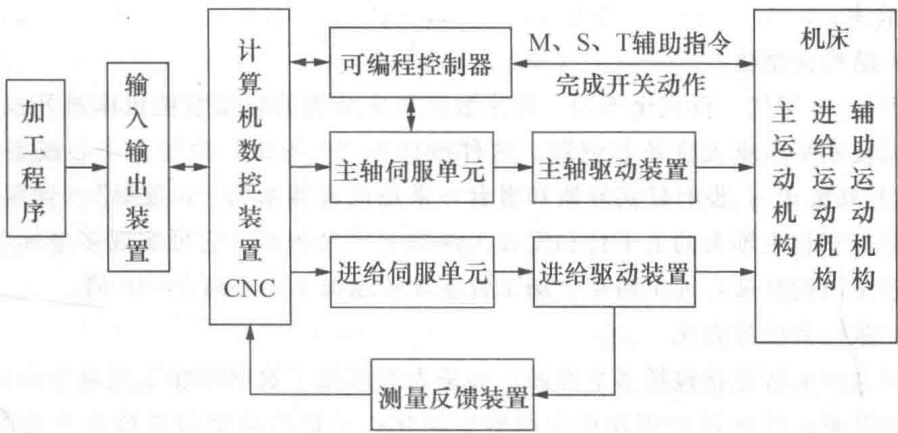


图 0-1 数控机床的结构组成

(1) 输入输出装置

输入输出装置是机床与外部设备的接口。在数控机床上加工工件时，首先应根据零件图纸的要求编写数控加工程序，并通过输入装置传送给计算机数控装置，而 CNC 内存中的数控加工程序也可以通过输出装置传出。

目前,较为常用的加工程序输入方法有两种。一种是手动输入,即通过编辑面板,在 MDI 方式(手动数据输入)或编辑方式下直接将程序输入到 CNC 系统;二是自动输入,比较常用的是串行通信的方式(RS-232C 接口),可以实现与上级计算机或其他数控机床之间的信息交互。

(2) 计算机数控装置(CNC)

计算机数控装置(CNC)是数控机床的核心,它的主要功能是接受输入装置传送的数字化信息,经过控制软件和逻辑电路进行译码、数据处理和插补运算后,将各种控制命令输出给相应的执行部件(伺服系统和辅助控制装置),从而控制机床自动完成零件的加工。其工作过程如图 0-2 虚线框图中所示。

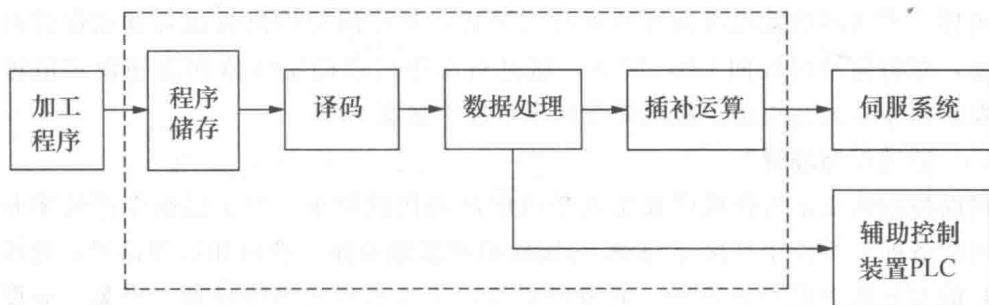


图 0-2 计算机数控装置(CNC)的工作过程

① 译码：将加工程序翻译成便于计算机处理的格式。

② 数据处理：包括刀具补偿(长度、半径、磨损补偿)、速度计算和辅助指令的处理。

③ 插补运算：经插补运算可获得各坐标轴进给速度、进给方向和位移量，并以脉冲信号的方式传输给伺服系统。

插补是指在工件轮廓的起点和终点之间进行“数据密化”，并求取中间点的过程。在数控加工中，一般已知工件轮廓的起点、终点和轮廓线，如直线的起点、终点，圆弧的起点、终点、圆心或半径。数控系统按一定的算法在轮廓线上计算出若干个逼近轮廓的中间点的坐标，并确定刀具在各个坐标点上的进给方向、速度和位移量。由于直线和圆弧是构成零件轮廓的基本几何元素，因此大多数数控系统都具有直线插补和圆弧插补功能，如图 0-3 所示。

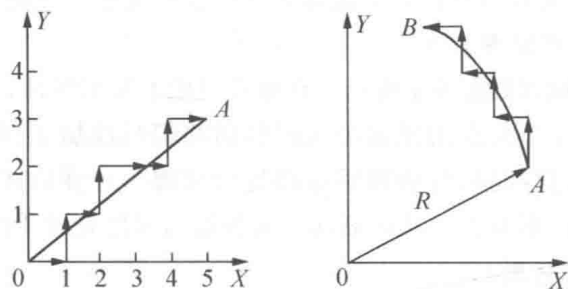


图 0-3 直线插补和圆弧插补

插补运算是整个计算机数控装置（CNC）软件的核心，其速度和精度直接影响数控机床的加工速度和精度。

（3）伺服系统

伺服系统是数控机床的执行机构，它的主要功能是接受 CNC 装置的脉冲信号，经过调解、转换和放大后驱动机床的各个运动部件来完成相应的动作。

伺服系统包括主轴伺服系统和进给伺服系统，如图 0-1 所示。主轴伺服系统实现零件加工的切削运动，控制机床主轴的转速；进给伺服系统实现零件加工所需的成型运动，控制机床移动部件的位置和速度。

（4）测量反馈装置

闭环和半闭环的数控机床有测量反馈装置，其作用是检测机床各移动部件的位置和速度，并将信号反馈回 CNC 装置，通过对反馈回来的实际值和程序设定值进行比较，发现误差并进行纠正，从而提高机床的加工精度。

（5）辅助控制装置

辅助控制装置是数控机床在实现整机的自动化控制中，为了提高生产效率和加工精度而配备的。其作用是接受 CNC 装置输出的主轴变速、换向和启停信号，选择和交换刀具的刀具指令信号，冷却、润滑的启停，工件和机床部件松开、夹紧、分度台转位等指令信号，驱动相应电器带动机床机械部件、液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。

目前，多采用可编程控制器（Programmable Logic Control, PLC）作为数控机床的辅助控制装置。PLC 是一种强化了逻辑运算功能的数字运算系统，具有响应快、性能可靠、易于使用等特点，广泛应用于控制动作复杂或逻辑多变的场合。

（6）机床本体

机床本体由主运动机构、进给运动机构和辅助运动机构组成，其主体结构与普通机床大体一致。与普通机床相比，数控机床的组成有如下几个特点。

① 采用了高性能的主轴及进给伺服驱动装置，机械传动结构得到简化，传动链较短。

② 机械结构具有较高的动态特性、动态刚度、阻尼刚度、耐磨性以及抗热变形性能。

③ 较多地采用了高效传动件，如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等，传动精度高。

2. 数控机床的工作原理

数控机床的工作原理如图 0-4 所示。在数控机床上加工零件，首先要将被加工零件图样上的几何信息和工艺信息用规定的代码和格式编写成加工程序，然后将加工程序输入到数控装置，经过控制软件和逻辑电路进行处理与计算后转变成脉冲信号，并传送给伺服系统和辅助控制装置，从而驱动机床各运动部件完成零件的加工。

（三）数控机床的分类

数控机床种类繁多，常用的分类方法有以下几种。

1. 按照运动控制的特点分类

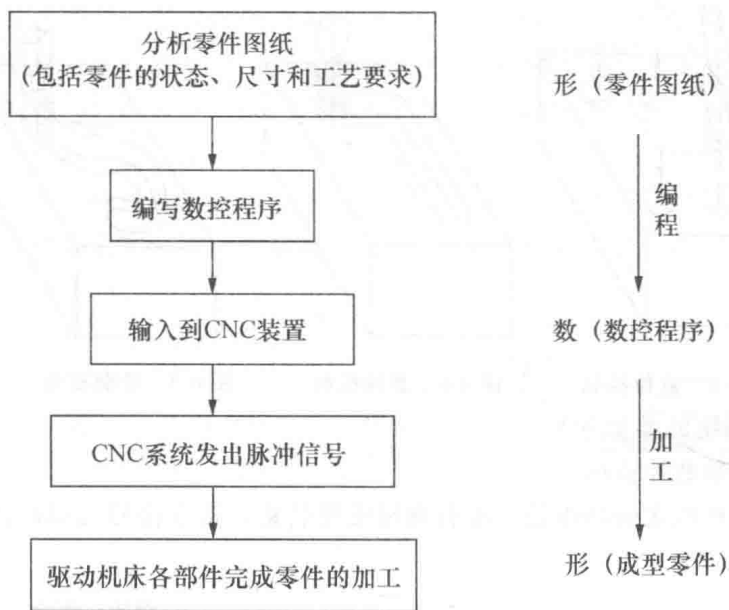


图 0-4 数控机床的工作原理

(1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是：控制刀具或工作台实现从一点到另一点的精确、快速定位，在两点间移动时没有切削加工，不要求轨迹和速度，如图 0-5 所示。在实际生产过程中，为了提高生产效率，同时可以保证获得较高的定位精度，一般先采用机床设定的最高速度进行定位运动，在接近目标点前进行分级或连续降速，以便低速趋近目标点，从而减少因运动部件的惯性过大而引起定位误差。

该类机床多用于平面内孔系的加工，如数控钻床、数控镗床、数控冲床等。

(2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床的特点是：控制刀具或工作台以一定的进给速度、沿平行于坐标轴的直线或与坐标轴成 45° 的直线从一点移动到另一点，移动过程中有切削加工，如图 0-6 所示。

该类机床的可控轴数一般为 2~3 个，但联动轴数只有 1 个，在实际使用中受到很大限制，因此数量很少，主要见于简易数控机床。

(3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床的特点是：可以同时控制两个或两个以上的坐标轴进行切削加工，并连续控制加工过程中每个点的坐标和速度（由插补功能实现），以形成所需的曲线或曲面，因此又称连续控制数控机床。如图 0-7 所示。

除了少数专用的数控机床，如数控钻床、冲床等以外，现代的数控机床都具有轮廓控制功能。

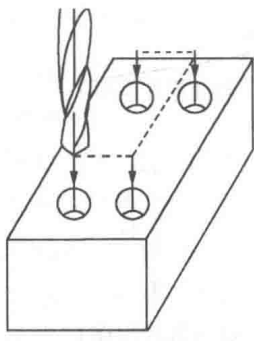


图 0-5 点位控制

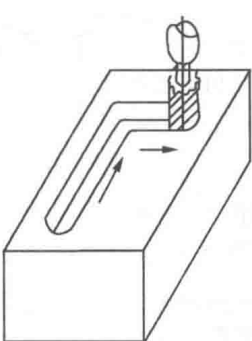


图 0-6 直线控制

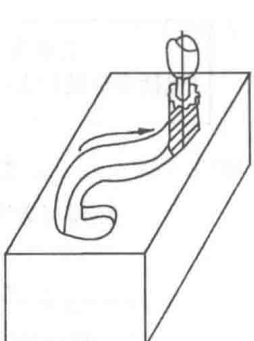


图 0-7 轮廓控制

2. 按伺服系统的类型分类

(1) 开环控制数控机床

开环控制数控机床的特点是：没有测量反馈装置，指令信号为单向传递，如图 0-8 所示。

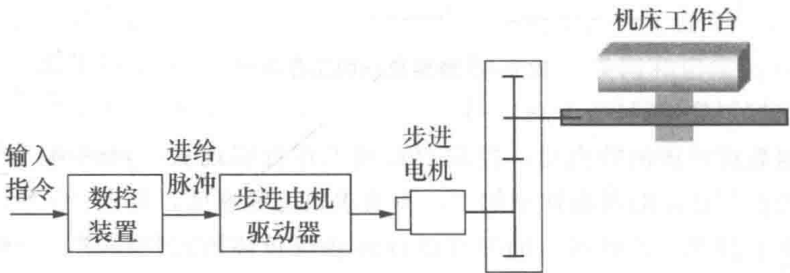


图 0-8 开环控制系统框图

这类机床一般以步进电机作为伺服驱动元件，具有结构简单、工作稳定、调试方便、维修容易、价格低廉等优点。但控制精度较低，其控制精度主要取决于步进电机的步距精度和机械传动链（减速器、丝杠等）的传动精度。常应用于经济型的中、小型数控机床或旧机床的数控化改造中。

(2) 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床的特点是：位置检测装置安装在机床移动部件上，直接测量机床移动部件的实际位置，反馈回数控装置与程序设定值进行比较，发现并修正误差，从而实现精确定位，如图 0-9 所示。

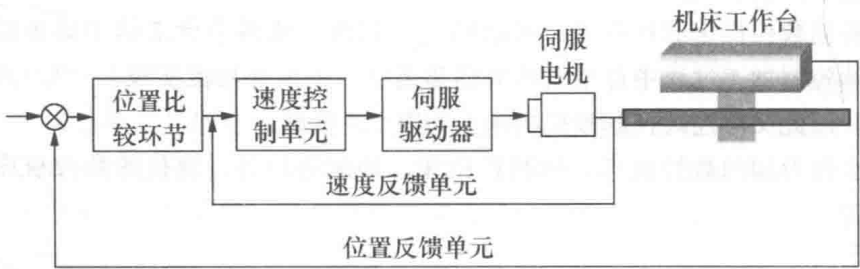


图 0-9 闭环控制系统框图

该种控制方式理论上可以消除机械传动部分的各种误差，控制精度高，但结构复杂、调试维修困难、工作稳定性差、价格昂贵。主要用于精度要求较高的数控机床，如精密数控镗铣床、超精数控车床、超精磨床以及大型的精密加工中心等。

(3) 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点是：测量反馈装置安装在驱动电机（常用交流、直流伺服电机）或丝杠的端部，通过测量电机或丝杠的旋转角度来间接测量机床移动部件的位移，如图 0-10 所示。

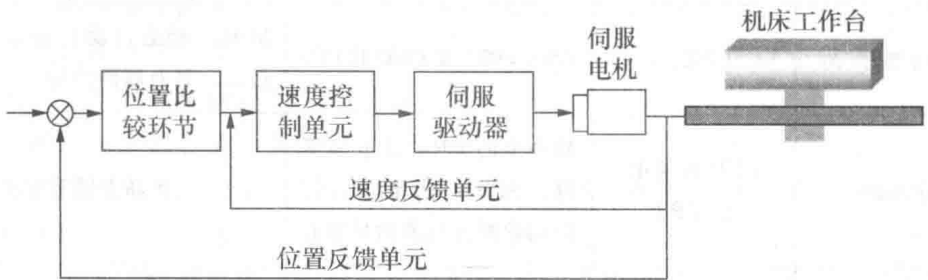


图 0-10 半闭环控制系统框图

由于反馈环内不包括或只包括少部分机械传动链，反馈环以外的机械传动误差可以通过补偿的方法消除，故可以获得比较满意的控制精度，且工作稳定性较好、成本较低、调试维修较方便，兼顾了开环控制与闭环控制的优点，因此广泛应用于大多数中、小型数控机床。

3. 按照加工工艺方法分类

(1) 金属切削类数控机床

金属切削类数控机床发展最早，目前种类繁多，包括数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗床和加工中心等。其中，加工中心是指具有刀库和自动换刀装置（ATC）的数控机床，其刀库可容纳 16~100 把刀具，需要时可通过换刀指令进行自动更换。加工中心可以实现工件一次装夹，完成多个工序的加工，减少了重复定位误差，提高了生产效率和加工质量，降低了生产成本。

(2) 金属成型类数控机床

金属成型类数控机床是指采用挤、冲、压、拉等成型工艺的数控机床，包括数控冲床、数控弯管机、数控压力机、数控折弯机等。这类机床虽然起步较晚，但目前发展迅速。

(3) 特种加工类数控机床

特种加工类数控机床主要包括数控线切割机床、数控电火花机床、数控激光切割机床、数控火焰切割机床等。

4. 按数控系统的功能水平分类

按数控系统的功能水平不同，数控机床可以分为低（经济型）、中、高三档。其界限是相对的，不同时期的划分标准有所不同，因此该种分类方法的指标仅供参考。就目前的发展水平来看，低、中、高档数控系统可参照表 0-1 中的功能指标进行划分。

表 0-1 低（经济型）、中、高档数控系统功能水平指标

功能水平指标	低档	中档	高档
分辨率（μm）	10	1	0.1
进给速度（m/min）	6~15	12~24	24~100
伺服系统类型	开环、步进电机	半闭环或闭环的直流或交流伺服电机	
联动轴数	2~3 轴	2~4 轴	3~5 轴以上
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP（制造自动化协议）通信接口，具有联网功能
显示功能	LED 或简单的 CRT	较齐全的 CRT 显示（字符、图形、人机对话、自动诊断等功能的显示）	三维动态图形显示
内装 PLC 与否	无	有	功能强大的内装 PLC
主 CPU	8 bit 或 16 bit	16 bit 或 32 bit	32 bit 或 64 bit

（四）数控机床的加工特点及应用

1. 数控机床的加工特点

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

由于数控机床一般采用通用夹具，所以当数控机床加工的工件改变时，不需要制作特别的工装夹具，也不需要调整机床，只需要重新编写数控程序即可实现新工件的加工。这就为结构复杂的单件、中小批量生产和试制新产品提供了便利。

（2）加工精度高、质量稳定

数控机床具有较高的单位位移精度，即脉冲当量。脉冲当量是指 CNC 装置每发出一个脉冲信号，机床移动部件移动的一个基本长度单位。脉冲当量越小，机床的加工精度越高，表面质量越好。目前，普通数控机床的脉冲当量为 0.001 mm，精密数控机床的脉冲当量一般为 0.000 1 mm。

数控机床还具备较高的定位精度和重复定位精度。定位精度是指数控机床的工作台等移动部件所达到的实际位置的精度；重复定位精度是指相同条件下、相同的操作方法，重复进行同一动作时得到的一致性程度。中小型数控机床的定位精度普遍可达到 0.015 mm，重复定位精度可达到 0.003 mm。

另外，数控机床的加工过程是按照预定程序自动完成的，不需要人工干预，消除了人为误差；当加工高精度的工件时，还可以利用软件进行误差补偿和校正。所以数控机床的加工精度高，并且同一批工件的尺寸一致性好，加工质量稳定。

(3) 生产效率高

工件加工所需时间主要由切削时间和辅助时间组成,而数控机床可以有效地节省这两部分时间。数控机床的主轴转速和进给速度的变化范围比普通车床大,每道工序都可以选择合适的切削用量;数控机床的结构刚性好,可承受大切削用量的强力切削,从而有效节省了切削时间。数控机床移动部件可以快速移动和定位,空行程运动速度快,减少了快进、快退和定位的时间;数控机床可以实现工件的自动装夹、刀具的自动更换,又有效节省了辅助时间。

因此,数控加工的生产效率较高,一般为普通机床的3~5倍,加工复杂零件时可以提高十几倍甚至几十倍。特别是使用加工中心时,一次装夹可以完成多面、多工序的连续加工,生产效率的提高更为明显。

(4) 劳动强度低、劳动条件好

数控机床的加工过程是按照预定程序自动完成的,操作者的主要任务是编写数控程序、程序输入、装卸零件、准备刀具、加工状态观察以及零件的检测等,大大降低劳动强度。另外,数控机床一般都具有较好的安全防护以及自动排屑、自动润滑、自动冷却等功能,既清洁又安全,操作者的劳动条件也得到了较大的改善。

(5) 有利于现代化生产和管理

数控机床加工工件可以预先准确地估算工件的加工工时和费用,有利于生产过程的科学管理和信息化管理。现代的CAD/CAM、FMS、CIMS、敏捷制造以及智能制造等先进制造系统都是建立在数控技术的基础之上,使用数控机床有利于制造业实现自动化、柔性化、集成化生产。

(6) 良好的经济效益

数控机床虽然价格昂贵,分摊到每个工件上的设备费用较高,但使用数控机床加工工件可以节省许多其他的费用。如节省划线工时,减少调整、加工和检测的时间,从而节省了直接生产的费用;数控机床不需要设计制造专用的工装夹具,从而节省了工艺装备费用;数控机床加工精度高,质量稳定,废品率低,生产成本下降。另外,数控机床可以一机多能,节省厂房面积,减少建厂投资。因此,使用数控机床可以获得良好的经济效益。

2. 数控机床的应用

数控机床虽然具备了以上普通机床所没有的许多优点,但并不能完全取代普通机床。并不是所有的工件都适合采用数控机床进行加工,对于一个零件来说,也并非全部的加工工艺过程都适合在数控机床上进行。因此,在决定是否选用数控机床时,应结合具体情况进行科学的分析,使数控设备发挥最大的优势。

数控机床的选用一般应遵循以下三点原则:要保证加工零件的技术要求,加工出合格的零件;提高生产率;降低生产成本。根据国内外数控机床技术应用实践,数控机床加工的应用范围可用图0-11和0-12来做定性分析。

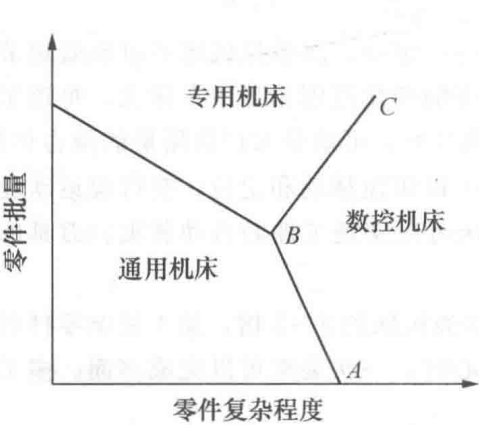


图 0-11 零件复杂程度与零件批量的关系

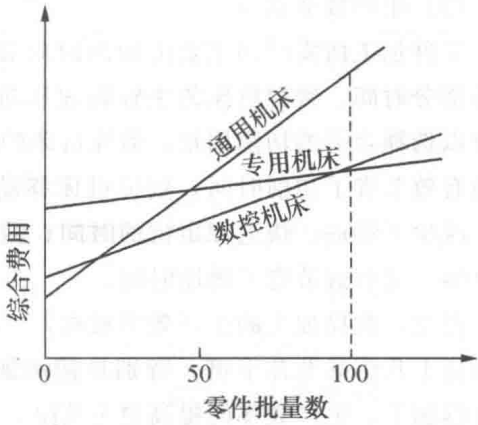


图 0-12 零件批量与总加工费用的关系

图 0-11 表明了随着零件的复杂程度和生产批量的不同，三种机床应用范围的变化。如图可知，通用机床多适用于结构不太复杂、生产批量较小的零件；专用机床适用于生产批量很大的零件；数控机床则适用于形状较为复杂的零件。随着数控机床的普及，其应用范围也愈来愈广，对一些形状不太复杂但重复工作量很大的零件，如印制电路板的钻孔加工等，由于数控机床生产率高，也已大量使用。

图 0-12 表明了随着零件生产批量的不同，采用三种机床加工的综合费用比较。如图可知，当生产批量在 100 件以下，采用数控机床加工具有一定复杂程度的零件时，加工费用最低，能获得较高的经济效益。批量越大，采用数控机床越不利。

综上所述，数控机床通常适合加工具有以下特点的零件：

- (1) 多品种、中小批量生产的零件或新产品试制中的零件。
- (2) 形状结构比较复杂，对加工精度要求较高的零件。
- (3) 用普通机床加工时，需要有昂贵的工艺装备（工具、夹具和模具）的零件。
- (4) 需要频繁改型的零件。
- (5) 价值昂贵，加工中不允许报废的关键零件。
- (6) 需要最短生产周期的急需零件。

二、数控编程基础

在数控机床上加工工件，首先要编写加工程序，然后将程序输入数控机床进行自动加工。因此，程序的编写是数控加工的一项重要工作，理想的加工程序不仅可以保证加工出符合图纸要求的合格工件，同时还能够使数控机床的功能得到合理的应用和充分的发挥，使数控机床安全可靠及高效地工作。

(一) 数控编程的内容、步骤和方法

1. 数控编程的内容

数控加工程序应包含工件加工所需的所有数据和信息。例如，加工工艺路线、工艺参数（进给量、主轴转速、刀具选择等）、刀具和工件的相对运动轨迹以及机床辅助