

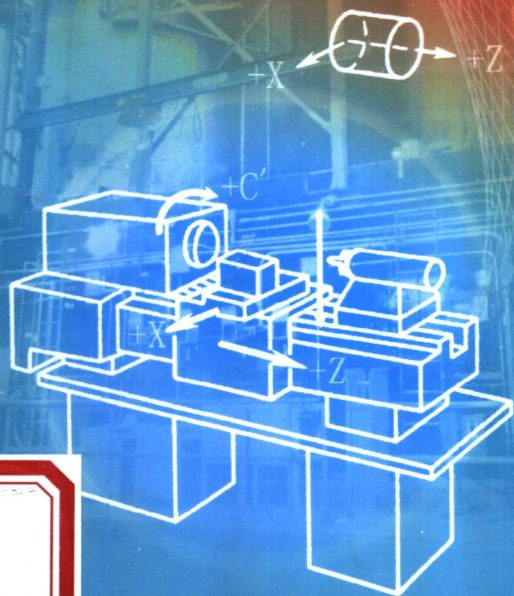


面向21世纪全国高职高专机电类规划教材

数控机床与应用

SHUKONG JICHUANG YU YINGYONG

李思桥 主编



359
34



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材

数控机床与应用

李思桥
宗晓高

主编

磊

参编

江苏工业学院图书馆
藏书章



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书首先介绍了机床的特点、组成、分类及其发展趋势等基本知识;然后介绍了数控机床的机械结构,主要包括主传动运动系统、进给运动系统、自动换刀装置、回转工作台等;接着介绍了数控机床的计算机数控(CNC)系统,包括硬件结构和软件结构;围绕数控机床的伺服系统,主要介绍了数控机床的驱动元件和检测装置;在数控机床的原理部分,主要介绍了数控机床的坐标系、插补原理、刀具补偿原理及数控加工工艺基础等基本知识;根据实际的编程需要,本书还介绍了数控机床的编程知识;最后,介绍了数控机床的应用实例,主要包括数控车床、数控铣床和数控加工中心。

本书内容丰富,章节之间联系性强,并在最后附有练习题,可供读者复习使用,特别适合作为机电类专业高等职业技术教育的教材,同时还可作为工厂企业、研究单位中工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床与应用/李思桥主编. —北京:北京大学出版社, 2006.1
(面向 21 世纪全国高职高专机电类规划教材)
ISBN 7-301-08851-5

I. 数… II. 李… III. 数控机床—高等学校—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 031069 号

书 名: 数控机床与应用

著作责任者: 李思桥 主编

责任编辑: 胡伟晔 范晓

标准书号: ISBN 7-301-08851-5/TH·0009

出版者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765013

网 址: <http://cbs.pku.edu.cn>

电子信箱: xxjs@pup.pku.edu.cn

印刷者: 河北涿县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×980 毫米 16 开本 13 印张 280 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 19.00 元

前 言

目前数控机床已是当今制造业的主流设备,代表了现代基础机械的技术水平与发展趋势,成为衡量国家制造业综合实力的重要标志。数控技术和数控装备是制造工业现代化的重要基础,这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,关系到一个国家的战略地位。一个国家的数控化率,反映了这个国家工业和制造业水平的高低,同时也是衡量这个国家科技进步的重要标志。数控加工中心、五轴联动高档数控镗铣床等先进设备已成为航空、航天、电力、汽车、模具加工等行业的关键设备。数控技术是提升产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段,它的广泛使用给制造业生产方式、产业结构、管理方式带来深刻的变化。因此,世界上各工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。近年来,我国数控机床工业发展较快,目前已有数控机床生产厂近百家。

数控机床的数控加工技术的应用给现代制造业带来了巨大的效益。随着数控机床的发展与普及,现代化企业对于懂得数控加工技术、掌握数控加工工艺、能进行数控加工编程的技术人才的需求量必将不断增加,本教材正是为了适应这种需求,为了实现对这种技术人才的培养而编写的。第1章简要介绍了数控机床的基本知识,第2章介绍了数控机床的机械结构,第3章介绍了数控机床的计算机数控(CNC)系统,第4章主要介绍了数控机床的驱动元件和检测装置,第5章介绍了数控机床的原理,第6章介绍了数控机床的编程知识,第7章介绍了数控机床的应用实例。

本书由李思桥主编并统稿,宗晓、高磊、范磊、张迪妮也参加了编写。

本书作为一种教材,广泛吸取了国内众多专家学者的研究成果,编写的主要参考书目附后,未及一一注明,在此谨表谢意,并请谅解。由于成书时间仓促,同时限于编者的水平,本书存在着种种不足和缺点,恳切希望得到大家的批评指正。

编 者

2005年11月

目 录

第1章 概论.....	1
1.1 数控机床的产生.....	1
1.2 数控机床的特点.....	2
1.3 数控机床的组成和工作原理.....	2
1.3.1 数控机床的组成.....	2
1.3.2 数控机床的工作步骤.....	3
1.4 数控机床的分类.....	4
1.5 数控机床的发展趋势.....	10
1.5.1 数控系统的发展.....	10
1.5.2 先进制造技术.....	10
1.6 思考题.....	12
第2章 数控机床的机械结构.....	13
2.1 数控机床的结构要求与特点.....	13
2.1.1 数控机床的结构要求.....	13
2.1.2 数控机床机械结构的特点.....	14
2.2 数控机床的主传动运动系统.....	16
2.2.1 主传动运动的变速方式.....	17
2.2.2 数控机床的主轴结构.....	18
2.3 数控机床的进给运动系统.....	23
2.3.1 进给运动系统的总体结构.....	23
2.3.2 滚珠丝杠螺母副.....	24
2.3.3 进给运动系统中传动间隙的消除.....	30
2.3.4 导轨.....	33
2.4 数控机床的自动换刀装置.....	38
2.4.1 数控车床的自动转位刀架.....	38
2.4.2 加工中心自动换刀装置.....	42
2.5 数控机床的回转工作台.....	50
2.5.1 分度工作台.....	51
2.5.2 数控回转工作台.....	53

2.6 思考题.....	55
第3章 计算机数控(CNC)系统.....	57
3.1 概述.....	57
3.1.1 CNC 系统简介.....	57
3.1.2 CNC 装置的软、硬件结构概述.....	57
3.1.3 CNC 装置的功能.....	59
3.1.4 CNC 装置特点.....	63
3.2 CNC 系统的硬件结构.....	64
3.2.1 CNC 装置的硬件结构类型.....	64
3.2.2 主要硬件部件的功能.....	68
3.3 CNC 系统的软件结构.....	72
3.3.1 CNC 系统软件的功能概述.....	72
3.3.2 CNC 系统软件功能的实现.....	74
3.3.3 CNC 系统控制软件的设计思想.....	78
3.3.4 CNC 系统的两种典型软件结构.....	80
3.4 思考题.....	83
第4章 数控机床的伺服系统.....	84
4.1 伺服系统的概述.....	84
4.1.1 伺服系统的组成.....	84
4.1.2 伺服系统的基本要求.....	84
4.1.3 伺服系统的分类.....	85
4.2 常用驱动元件.....	87
4.2.1 步进电动机.....	87
4.2.2 直流伺服电动机.....	93
4.2.3 交流伺服电动机.....	96
4.3 数控检测装置.....	99
4.3.1 脉冲编码器.....	101
4.3.2 旋转变压器.....	102
4.3.3 感应同步器.....	105
4.3.4 测速发电机.....	108
4.3.5 光栅.....	111
4.4 思考题.....	113
第5章 数控机床的原理.....	114
5.1 数控机床的坐标系.....	114
5.1.1 机床坐标系.....	114

5.1.2	附加坐标系.....	116
5.1.3	机床坐标系与机床原点.....	116
5.1.4	机床参考点.....	118
5.1.5	工作坐标系与工作原点.....	118
5.1.6	绝对坐标系与相对坐标系.....	119
5.2	插补原理.....	119
5.2.1	逐点比较法.....	120
5.2.2	数字积分插补法.....	129
5.3	刀具补偿原理.....	134
5.3.1	刀具长度补偿.....	134
5.3.2	刀具半径补偿.....	135
5.4	数控加工工艺基础.....	140
5.4.1	数控加工工艺设计的基本特点.....	140
5.4.2	数控加工工艺的主要内容.....	141
5.4.3	零件加工工艺性分析.....	141
5.4.4	数控加工工艺路线设计.....	144
5.4.5	数控刀具的选择.....	148
5.4.6	切削用量的确定.....	149
5.4.7	对刀点和换刀点的确定.....	150
5.4.8	数控加工工艺文件.....	150
5.5	思考题.....	154
第6章	数控编程.....	155
6.1	数控机床程序编制概述.....	155
6.1.1	数控编程技术的发展概况.....	155
6.1.2	数控刀具轨迹生成方法研究发展现状.....	156
6.1.3	数控编程的方法.....	156
6.1.4	机床程序编制的内容和步骤.....	157
6.2	数控编程的基本指令.....	158
6.2.1	准备功能指令——G代码.....	159
6.2.2	辅助功能——M代码.....	168
6.2.3	F、S、T及P指令.....	169
6.3	程序格式.....	170
6.4	子程序.....	171
6.5	手工编程实例.....	173
6.6	思考题.....	178

第7章 数控机床应用实例.....	181
7.1 数控机床使用简介.....	181
7.2 数控车床.....	182
7.2.1 SIEMENS CJK6140 型数控车床.....	182
7.2.2 SIEMENS 802S 数控系统	183
7.2.3 SIEMENS CJK6140 型数控车床的操作.....	185
7.3 数控铣床.....	186
7.3.1 华中 I 型数控系统	187
7.3.2 华中 I 型数控系统操作控制面板功能简介.....	188
7.3.3 华中 I 型数控系统操作简介	190
7.3.4 FANUC O-MD 数控系统.....	193
7.3.5 FANUC O-MD 数控系统操作简介.....	196
7.4 数控加工中心.....	198
参考文献.....	200

第 1 章 概 论

1.1 数控机床的产生

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的质量和生产率提出了越来越高的要求。尤其是在造船、航天、航空、机床、重型机械以及国防部门,零件生产批量小、改型频繁、形状复杂、生产效率低、精度要求高。虽然仿形加工机床部分地解决了小批量、复杂零件的加工问题,但是目前制造靠模和调整机床成本高、费时,且加工零件精度较低。

数字控制(Numerical Control, NC)机床就是在这样的背景下诞生并发展起来的。它极其有效地解决了上述一系列矛盾,为单件、小批生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数字控制技术,简称为数控(NC)技术,是利用数字化的信息对机床运动及加工过程进行控制的一种方法。采用数控技术的控制系统称为数控系统。采用存储程序的专用计算机实现数控功能的数控系统称为计算机数控(CNC)系统。装备了数控系统的机床称为数控机床。

1948年,美国帕森斯(Parsons)公司接受美国空军委托,研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备,在此过程中提出了计算机控制机床的设想。1949年,该公司在美国麻省理工学院(MTI)伺服机构研究室的协助下,开始了三坐标铣床的数控化工作,并于1952年试制成功第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控铣床,不久即开始正式生产。后又经过3年时间的改进和对自动程序编制的研究,数控机床进入实用阶段,市场上出现了商品化数控机床。1958年,美国KEANEY & TRECKER公司在世界上首先研制成功了带有刀库、刀具交换装置、回转工作台的加工中心(Machining Center),该中心可以在一次装夹中对工件的多个面进行多工序加工,目前已成为数控机床发展的主流。

我国于1958年开始由北京机床研究所和清华大学合作研制数控机床,1965年北京第一机床厂开始生产三坐标数控铣床,到20世纪60年代末和20世纪70年代初,简易的数控机床已在生产中广泛使用。20世纪80年代初,我国的数控机床在引进了国外先进的数控技术的基础上,在质量和性能上都有了很大的提高,具有完备的手动操作面板和友好的人机界面,可以配直流或交流伺服驱动,实现半闭环或闭环的控制,能对2~4轴进行联动控制,具有刀库管理功能和丰富的逻辑控制功能。20世纪90年代起,我国向高档数控机床方向发展,实现了高速、高精度和高效经济的加工效果,能完成高复杂度的五坐标曲面

实时插补控制，可加工出高复杂度的整体叶轮及复杂刀具。

1.2 数控机床的特点

数控机床是机、电、液、气、光高度一体化的产品，数控系统将工艺参数按一定的格式形成加工文件（即平时所说的数控加工程序）存放在信息载体上（如磁盘、穿孔纸带、磁带等），然后由机床上的数控系统读入（或直接通过数控系统的键盘输入，或通过通信方式输入），通过对其译码，从而使机床动作和加工零件。

采用数控技术的金属切削机床具有下列特点。

- （1）加工能力强，适合于对复杂异形零件的加工，对加工对象改型的适应性强。
- （2）工序集中，机床占地面积小，减少或没有中间环节，既省时间又省人力。
- （3）实现计算机控制，提高了加工精度，排除了人为误差，同一批加工零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量稳定。
- （4）通过计算机软件可以实现精度补偿和优化控制，有利于生产管理的现代化。
- （5）加工中心、车削中心、磨削中心、电加工中心等具有刀库和换刀功能，减少了装夹次数，提高了加工精度和加工生产率，减轻了操作工人的劳动强度。
- （6）数控机床使机械加工设备增加了柔性化的特点。柔性加工不仅适合于多品种、中小批量生产，也适合于大批量生产，且能交替完成两种或更多种不同零件的加工，增加了自动变换工件的功能。由几台数控机床（加工中心）组成的柔性制造系统（FMS）具有更高柔性的自动化制造系统，包括加工、装配和检验等环节。

当然，数控机床也存在一些诸如生产初期投资较高、生产过程设备维护费用高、对操作人员的技术水平要求较高等不足，但是随着数控机床技术的不断发展，这些面临的问题正在慢慢得到解决。

1.3 数控机床的组成和工作原理

1.3.1 数控机床的组成

数控机床是一种利用数控技术，按照事先编制好的程序实现动作的机床。它由程序载体、输入装置、计算机数控装置（CNC装置）、伺服系统、位置反馈系统和机床本体组成，如图 1-1 所示。

- （1）程序载体。在加工零件时，数控机床是按照编制的零件加工程序运行的，所以首

先要根据零件的形状、尺寸和技术条件,确定加工程序,这其中包括刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数和辅助运动等。然后用规定的代码和程序格式编写程序单,并把它记录在某种存储介质上,如穿孔纸带、磁带、磁盘或者硬盘等。通过数控机床的输入装置,将程序信息读入到数控装置内。

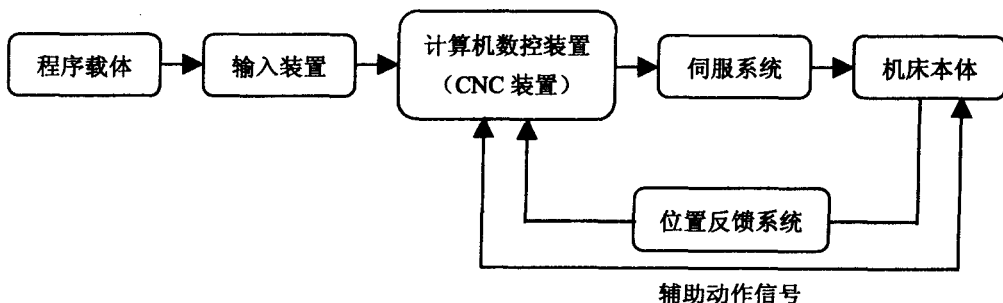


图 1-1 数控机床的组成框图

(2) 输入装置。输入装置是机床与外部设备的接口,其主要作用是将程序载体上记载的加工信息输入给机床数控系统。根据程序载体的不同,采用不同的输入装置。目前输入装置主要有光电阅读机、录音机、软盘驱动器、MDI 方式或者将加工程序存储在计算机硬盘上用通讯方式传送到数控装置。

(3) 计算机数控装置 (CNC 装置)。计算机数控装置是数控机床的核心。它由信息的输入、处理和输出 3 部分组成,根据程序和数据,完成数值计算、逻辑判断和输入输出控制等功能,然后向机床各个坐标的伺服系统发出信号,使设备按规定的动作执行。

(4) 伺服系统。伺服系统是数控系统的执行部分,通常包括伺服驱动电机、伺服控制线路、功率放大线路等执行装置。伺服系统将数控装置发来的指令放大,通过进给传动元件(如滚珠丝杠)驱动移动部件(如工作台)。它的伺服精度和动态响应是影响数控机床的加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。

(5) 位置反馈系统。位置反馈系统的作用是对伺服电动机的角度位移或数控机床执行机构的直线位移进行检测,通过传感器将检测结果转换成电信号反馈给数控装置,与指令位置进行比较,计算出偏差,并发出纠正误差指令。

(6) 机床本体。为了满足数控技术的要求,充分发挥数控机床的效能,数控机床的本体包括主传动运动系统、进给系统、基础支承件以及辅助部分。对于数控加工中心,还有储备刀具的刀库、自动换刀装置(ATC)和自动托盘交换装置等部件。

1.3.2 数控机床的工作步骤

在数控机床上进行零件加工时,主要要经过准备阶段和加工阶段,如图 1-2 所示。

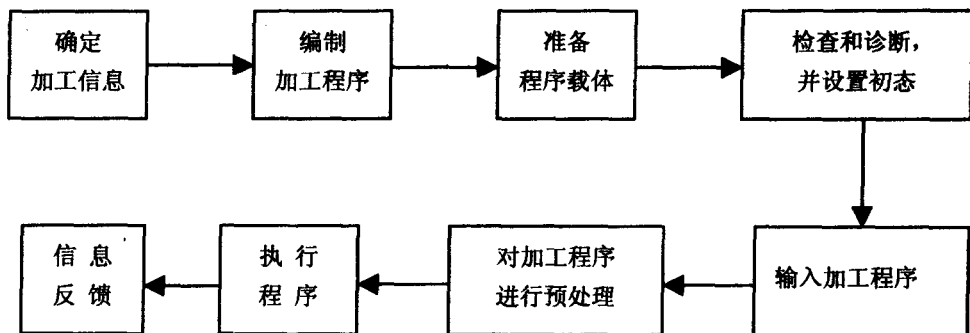


图 1-2 数控机床工作步骤图

1. 准备阶段

准备阶段主要包括以下几方面工作。

(1) 根据零件的加工图纸和设计要求, 确定零件加工的工艺方案、刀具类型选择、夹具选择以及其他相关的加工数据。

(2) 根据已经确定的加工信息, 对加工工艺过程进行描述, 编制数控加工程序, 并填写程序单。

(3) 把已经编制好的程序存放在程序载体上, 准备在加工阶段使用。

2. 加工阶段

加工阶段是数控机床系统的主要工作过程, 主要包括以下几方面的工作。

(1) 接通电源, 数控装置将对数控系统各组成部分的工作状态进行检查和诊断, 并设置初态。

(2) 当数控机床具备了正常的工作条件时, 开始进行加工程序的输入。

(3) 加工程序输入完成后, 数控系统将对加工信息进行预处理, 即进行译码和预计算。

(4) 执行程序, 由计算机数控装置向机床伺服系统发出工作指令, 驱动机床各运动部件自动完成零件加工。

(5) 在机床的运行过程中, 数控系统要随时反馈数控机床的工作状态, 以便操作者根据提供的系统工作状态和故障情况做出相应的处理。

1.4 数控机床的分类

数控机床的分类方法很多, 大致有以下几种。

1. 按加工方式分类

(1) 金属切削类数控机床。这类数控机床和传统的通用机床一样，其工艺性能和通用机床相似，所不同的是它能自动加工具有复杂形状的零件，如数控车床（如图 1-3 所示）、数控铣床（如图 1-4 所示）、加工中心（如图 1-5 及图 1-6 所示）、数控磨床等。

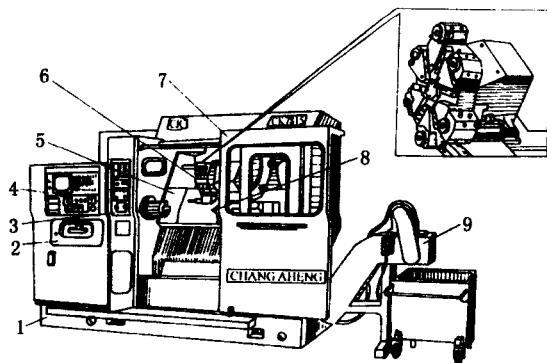


图 1-3 数控车床

1-床体；2-光电读带机；3-机床操作台；4-数控系统操作面板；
5-倾斜导轨；6-刀盘；7-防护门；8-尾座；9-排屑装置

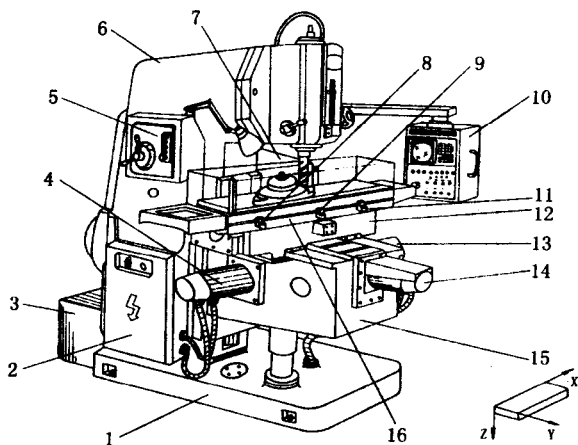


图 1-4 数控铣床

1-底座；2-强电箱；3-变压器箱；4-升降进给伺服电动机；5-主轴变速手柄和按钮板；
6-床身立柱；7-数控柜；8、11-纵向行程限位保护开关；9-纵向参考点设定挡铁；10-操纵台；
12-滑板；13-纵向进给伺服电动机；14-横向进给电动机；15-升降台；16-纵向工作台

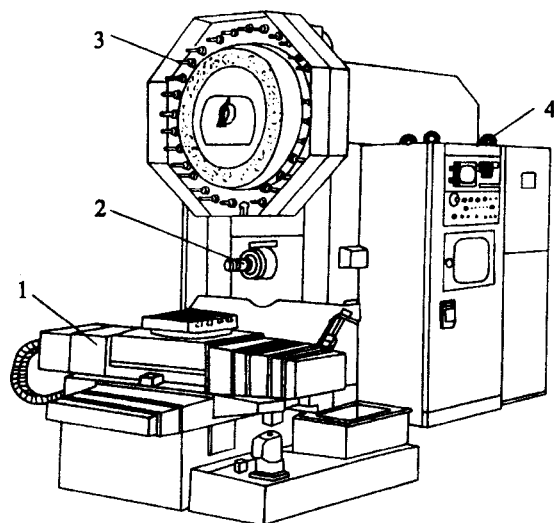


图 1-5 加工中心 (一)

1-工作台；2-主轴；3-刀库；4-数控柜

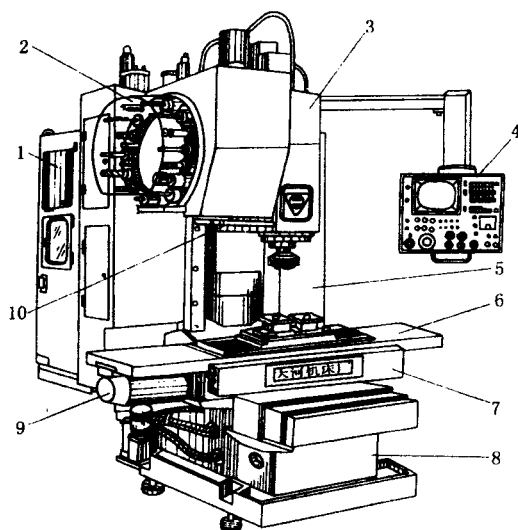


图 1-6 加工中心 (二)

1-数控柜；2-刀库；3-主轴箱；4-操纵台；5-驱动电源柜；
6-纵向工作台；7-滑鞍；8-床身；9-X 轴进给伺服电动机；10-换刀机械手

(2) 金属成型类数控机床。这类机床主要有数控折弯机、数控油压成型机等。

(3) 数控特种加工机床。这类机床与传统的机床有明显的差别,如数控线切割机床、数控激光加工机床、数控超声波加工机床、数控电脉冲加工机床等。

(4) 其他类型数控机床。如水射流切割机、鞋样切割机、雕刻机、数控三坐标测量机等都属于这类机床。

2. 按运动方式分类

(1) 点位控制数控机床。点位控制是指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,而对两点间的移动速度及运动轨迹没有严格的要求,因为在定位移动中不进行切削加工。如数控钻床、数控镗床和数控坐标镗床等,如图 1-7 所示。

(2) 直线控制数控机床。直线控制除控制直线轨迹的起点和终点的准确定位外,还要保证两点之间移动的轨迹是一条直线,而且对移动的速度也要进行控制,以便适应随工艺因素变化的不同需要。采用这类控制的机床有平面铣削用的数控铣床,以及阶梯轴车削和磨削用的数控车床和数控磨床等,如图 1-8 所示。

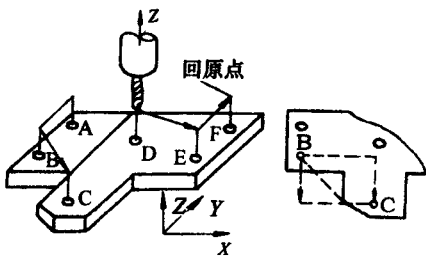


图 1-7 点位控制系统工作原理图

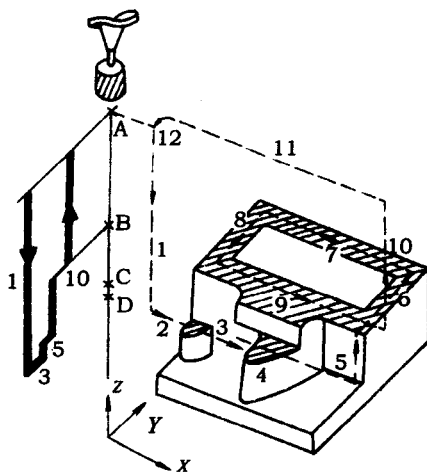


图 1-8 直线控制系统工作原理图

(3) 轮廓控制数控机床。轮廓控制(或称连续轨迹控制)能够连续控制两个或两个以上坐标方向的联合运动,不仅要控制机床移动部件的起点与终点坐标,还要控制整个加工过程的每一点的速度、方向和位移量,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足加工的要求。采用这类控制的机床有能加工曲面用的数控铣床、数控车床、数控磨床和加工中心等,如图 1-9 所示。

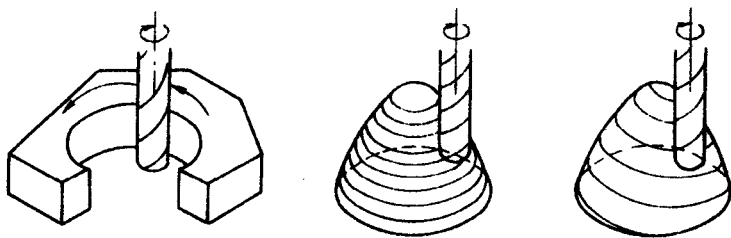


图 1-9 轮廓控制系统工作示意图

3. 按伺服系统的控制方式分类

(1) 开环控制系统。开环控制系统通常没有位置检测元件，由步进电机驱动线路和步进电机组成，如图 1-10 所示。数控系统的每一脉冲信号经驱动电路功率放大后，使步进电机转动一定的角度，通过滚珠丝杠推动工作台移动一定的距离。这种伺服机构比较简单，工作稳定，容易掌握并使用，但精度和速度的提高会受到限制。

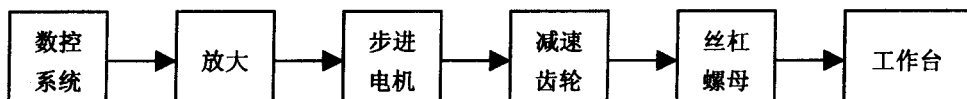


图 1-10 开环控制系统

(2) 半闭环控制系统。半闭环伺服机构是由比较线路、伺服放大线路、伺服马达、速度检测器和位置检测器组成。位置检测器装在丝杠或伺服马达的端部，通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的位移，然后将结果反馈到数控系统中，如图 1-11 所示。它可以获得比开环系统更高的精度，但它的位移精度比闭环系统的要低，因而称作半闭环控制系统。

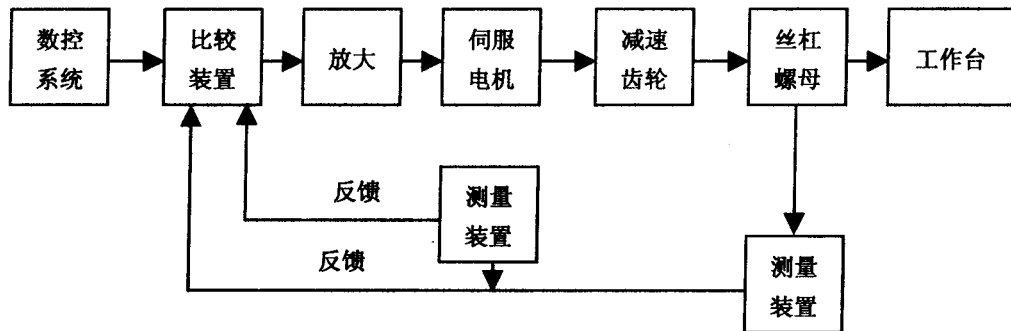


图 1-11 半闭环控制系统

(3) 闭环控制系统。闭环控制系统的工作原理和组成与半闭环伺服机构的相同, 只是位置检测器安装在工作台上, 可直接测出工作台的实际位置, 并将结果反馈给数控系统, 与输入指令进行比较, 根据其差值, 按一定的规律进行转换, 使移动部件按照实际的要求运动, 故反馈精度高于半闭环控制系统, 如图 1-12 所示。但掌握调试的难度较大, 常用于高精度和大型数控机床。

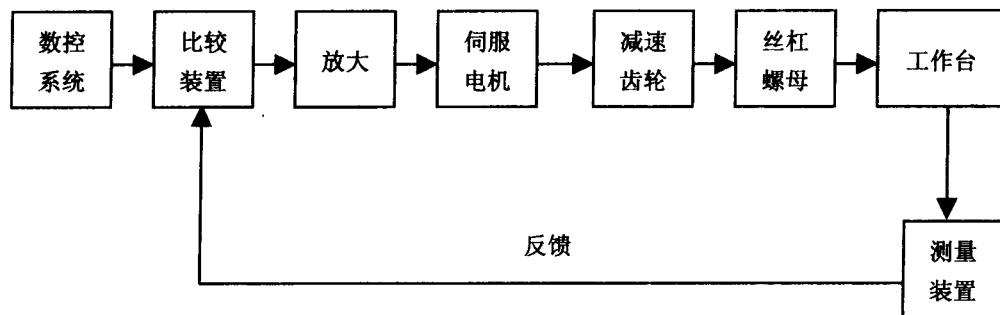


图 1-12 闭环控制系统

4. 按功能水平分类

数控机床按照功能水平可分为低档数控机床、中档数控机床、高档数控机床 3 大类, 其功能特点分别如表 1-1 所示。

表 1-1 数控机床分类表

档次功能	低档数控机床	中档数控机床	高档数控机床
进给当量和进给速度	进给当量为 $10\mu\text{m}$, 进给速度为 $8\text{ m/min}\sim 15\text{ m/min}$	进给当量为 $1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\text{ m/min}\sim 24\text{ m/min}$	进给当量为 $0.1\mu\text{m}$, 进给速度为 $15\text{ m/min}\sim 100\text{ m/min}$
伺服进给系统	开环、步进电动机	半闭环直流伺服系统或交流伺服系统	闭环伺服系统、电机主轴、直线电机
联动轴数	2 轴 $\sim$ 3 轴	3 轴 $\sim$ 4 轴	3 轴以上
通信功能	无	RS232 或 DNC 接口	RS232、RS432、DNC、MAP 接口
显示功能	数码管显示或简单的 CRT 字符显示	功能较齐全的 CRT 显示或液晶显示	功能齐全的 CRT (三维动态图形显示)
内装 PLC	无	有	有强功能的 PLC, 有轴控制的扩展功能
主 CPU	8 位 CPU 或 16 位 CPU	由 16 位 CPU 向 32 位 CPU 过渡	由 32 位 CPU 向 64 位 CPU 发展