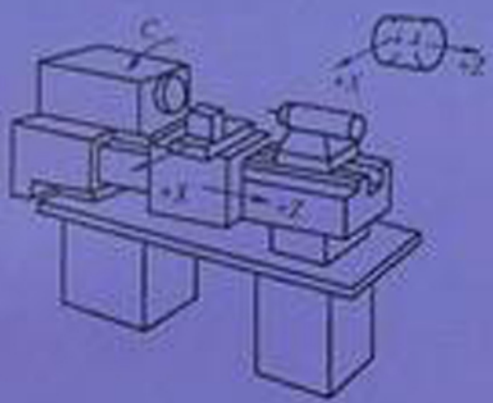
复旦卓越·高职高专21世纪规划教材·数控类

任务引领

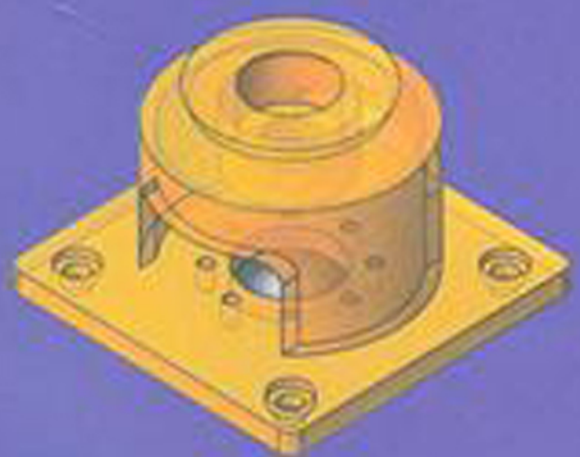
数控机床与应用

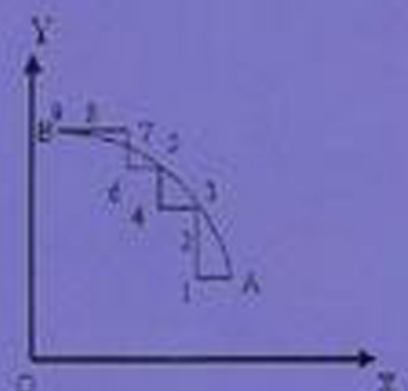
主　编　苏宏志　杨　辉

Shukong Jichuang yu Yingyong









复旦大学出版社
www.fudanpress.com.cn

需要全本请访问 www.ertongbook.com

任务引领

复旦卓越·高职高专21世纪规划教材·数控类

数控机床与应用

主　编　苏宏志　杨　辉

副主编　张福荣　张露霞

复旦大学出版社

内 容 简 介

本书根据目前数控技术发展和项目教学的需要，以任务驱动形式全面、系统地介绍了数控机床的基本概念和发展趋势，计算机数控（CNC）系统的工作原理、硬件和软件构成及其特点，数控机床机械结构的组成和典型部件、机构；从应用出发详细介绍了数控车床、数控铣床及加工中心的指令加工操作功能，并以常见数控系统的编程和操作为对象，给出了大量实际加工零件的编程实例。

本书可作为高等工科院校的机械制造、机电一体化、数控技术应用及其相关专业的教材，也可作为数控机床编程和操作技术人员的培训教材，还可作为相关教师和工程技术人员的参考书。

前　言

随着现代科学技术的发展、数控技术在机械制造领域日益普及，各种类型的数控机床在生产中得到越来越广泛的应用。目前，数字控制系统已由微机数控系统所替代，系统的可靠性大大提高、灵活性增强，而造价又低廉，便于实现网络化管理。

本教材根据高等职业学院培养有较强动手能力的高等技术应用型专门人才的要求，在编写过程中，以项目任务形式阐述计算机数控机床的基本原理、结构及数控机床加工程序的编制，力求做到理论联系实际，使学生具备高素质和高级专门人才所必须的数控机床及应用的基本知识和技能。

本教材参考学时为54学时，共有7个教学项目。项目一以数控机床认知为教学目标，认知数控机床的产生和发展过程，以及数控机床的组成、工作原理、特点和发展趋势；项目二以计算机数控系统认知为教学目标，介绍了计算机数控(CNC)系统的构成及系统的软硬件组成特点；项目三以数控伺服驱动系统认知为教学目标，介绍了数控机床伺服驱动系统的组成和工作原理；项目四以数控机床的机械结构与部件认知为教学目标，介绍了数控机床的典型机械结构和部件；项目五、六、七分别以数控机床程序编制的基本知识和操作，数控车床、数控铣床及加工中心程序编制方法为教学目标，详细介绍了数控机床的加工程序编程及数控机床操作基本技能，同时通过实例说明如何将学到的知识应用到生产实际中去。本书在项目任务教学模式的基础上，较全面地讲述了数控机床基本知识；结合国内数控机床的应用情况，根据作者教学和实践的经验，详细阐述了常用数控车床、数控铣床及加工中心的编程和操作方法。

本书是面向高职高专学生的，故涉及的内容比较多。不同专业在使用时，可根据自身的特点和需要加以取舍。

本书项目一、二、三、四由陕西工业职业技术学院苏宏志编写；项目五由濮阳职业技术学院张露霞编写；项目六由沙洲职业工学院张福荣编写；项目七由阜阳职业技术学院杨辉编写。

由于编者水平所限，书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正，以便修订时改进，如在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向编者提出宝贵意见！

编　者

2010.2

需要全本请访问 www.ertongbook.com



目　录

项目一　数控机床认知 …… 1
任务一　了解数控机床的产生和概念 …… 1
1. 数控技术与数控机床 …… 1
2. 数控机床的产生 …… 1
任务二　认知数控机床的组成、工作过程和分类 …… 2
1. 数控机床的组成 …… 2
2. 数控机床的加工过程 …… 4
3. 数控机床的分类 …… 5
习题与思考 …… 7

项目二　计算机数控系统认知 …… 8
任务一　熟悉 CNC 装置的组成和工作过程 …… 8
1. CNC 装置的组成 …… 8
2. CNC 装置的工作流程 …… 9
任务二　熟悉 CNC 装置的硬件、软件结构 …… 11
1. CNC 装置的硬件结构 …… 11
2. CNC 装置的软件结构 …… 12
任务三　数控系统插补原理认知 …… 14
1. 逐点比较插补法 …… 15
2. 逐点比较法直线插补运算 …… 15
3. 逐点比较法圆弧插补运算 …… 20
习题与思考 …… 24

项目三　数控伺服驱动系统认知 …… 25
任务一　明确数控机床伺服系统的组成和分类 …… 25

1. 伺服驱动系统的概念 …… 25
2. 伺服系统的组成与分类 …… 26
任务二　步进电动机伺服系统认知 …… 28
1. 开环伺服系统中工作台控制 …… 28
2. 步进电机的工作原理 …… 28
3. 步进电动机的驱动控制 …… 31
任务三　直流和交流电动机伺服系统认知 …… 33
1. 伺服电动机的概念 …… 33
2. 直流伺服电动机 …… 34
3. 交流伺服电动机及其速度控制 …… 36
任务四　了解数控机床位置检测装置 …… 38
1. 检测装置的性能指标与要求 …… 38
2. 检测装置的分类 …… 39
习题与思考 …… 40

项目四　数控机床的机械结构与部件认知 …… 41
任务一　熟悉数控机床的机械结构与主轴部件 …… 41
1. 数控机床机械结构的组成和特点 …… 41
2. 数控机床的主传动系统及主轴部件 …… 42
任务二　熟悉数控机床进给系统的机械结构 …… 47
1. 滚珠丝杠螺母副 …… 48
2. 数控机床导轨副 …… 50
任务三　自动换刀装置认知 …… 52
1. 数控车床刀架 …… 52
2. 加工中心自动换刀系统 …… 56
习题与思考 …… 60

项目五　数控机床程序编制的基本知识和操作 …… 61
任务一　了解数控编程的步骤和方法 …… 61
1. 数控编程的步骤 …… 61
2. 数控编程的方法 …… 63
任务二　掌握程序结构格式及 FANUC 系统指令代码 …… 64
1. 程序结构与格式 …… 64
2. FANUC 系统的指令代码 …… 67
任务三　认识数控车床的控制面板 …… 69

1. 数控车床的操作面板 …… 69
2. MDI 操作面板的功能 …… 70
3. 机床操作面板 …… 72
任务四　掌握数控车床的基本操作 …… 75
1. 开机操作 …… 75
2. 回参考点操作 …… 75
3. 程序的输入和编辑 …… 75
4. 手动操作 …… 77
5. 自动运行 …… 77
任务五　熟悉数控机床的坐标系和对刀 …… 78
1. 数控机床坐标系规定 …… 78
2. 数控机床坐标系 …… 78
3. 学会对刀 …… 81
4. 数控铣床对刀实例 …… 82
任务六　掌握数控机床的基本 G 功能指令 …… 83
1. 绝对坐标指令与增量坐标指令(G90，G91) …… 83
2. 工件坐标系的原点设置选择指令(G54～G59) …… 84
3. 坐标平面指令(G17，G18，G19) …… 84
4. 快速点定位指令(G00) …… 85
5. 直线插补指令(G01) …… 85
6. 圆弧插补指令(G02，G03) …… 86
7. 暂停(延时)指令(G04) …… 89
习题与思考 …… 90

项目六　数控车床编程 …… 91
任务一　了解数控车床编程的特点 …… 91
1. 数控车床速度控制功能字 …… 91
2. 刀具的补偿功能 …… 92
任务二　掌握循环指令的应用 …… 97
1. 简单循环指令 …… 97
2. 复合固定循环指令 …… 100
3. 循环指令编程加工实例 …… 107
任务三　掌握内、外螺纹编程指令的应用 …… 111
1. 螺纹切削指令 G32 …… 111
2. 螺纹切削循环指令 G92 …… 112
3. 复合螺纹切削循环指令 G76 …… 116

4. 螺纹加工相关工艺知识 …… 118
5. 螺纹加工指令编程加工实例 …… 120
任务四　掌握子程序在数控车床中的应用 …… 126
1. 子程序概念 …… 126
2. 子程序编程实例 …… 127
习题与思考 …… 128

项目七　数控铣床及加工中心编程 …… 131
任务一　熟悉数控铣床/加工中心工艺拟定和编程要求 …… 131
1. 数控铣床/加工中心加工零件工艺性分析 …… 131
2. 加工顺序的安排 …… 132
3. 加工方法的选择 …… 134
4. 加工路线的确定 …… 135
5. 数控铣床/加工中心的编程特点和要求 …… 137
任务二　掌握刀具补偿功能在数控铣床中的应用 …… 138
1. 刀具半径补偿(G40，G41，G42) …… 139
2. 刀具长度补偿(G43，G44) …… 141
3. 刀具补偿在加工编程中的应用 …… 143
任务三　掌握孔加工固定循环指令 …… 145
1. 孔加工固定循环指令概述 …… 145
2. 固定循环指令 …… 147
3. 孔加工循环指令的应用 …… 151
任务四　掌握子程序在数控铣床和加工中心上的应用 …… 157
1. 同平面内完成多个相同轮廓加工 …… 157
2. 实现零件的分层切削 …… 158
任务五　掌握宏程序应用 …… 159
1. 变量的概念 …… 159
2. 宏程序中转移与循环 …… 160
3. 宏程序的调用 …… 161
4. 宏程序的应用 …… 163
习题与思考 …… 166

参考文献 …… 169

需要全本请访问 www.ertongbook.com

项目一

·数控机床与应用·

数控机床认知

本项目学习数控机床组成和工作过程，了解和掌握数控机床分类与产生，目的是明确数控机床概念。

任务一　了解数控机床的产生和概念

1. 数控技术与数控机床

机床数字控制技术，简称机床数控技术，是以数字化的信息处理实现机床自动控制的一门技术。采用数字化信息处理控制的机床称为数字控制机床，简称数控机床。

数控机床首先把刀具和工件之间的相对位置，机床电机的起动和停止，主轴变速，工件松开夹紧，刀具的选择，冷却泵的起动、停止等各种操作和顺序动作等信息用数码化的数据记录；然后将数字信息送入数控装置或计算机，经过译码、运算，发出各种指令控制机床伺服系统或其他执行元件，使机床自动加工出所需工件。

数字化信息的处理是在数字控制系统中进行的。最初的数字控制（NC，numerical control）系统由数字逻辑电路构成，因而称为硬件数控系统。随着计算机技术的发展，硬件数控系统已逐渐被淘汰，被计算机数控（CNC，computer numerical control）系统取代。CNC系统完全由软件处理数字信息，具有真正意义上的柔性，可以处理逻辑电路难以处理的复杂信息，使数控机床的性能大大提高。

数控机床的突出特点是，当加工工件改变时，除了重新装夹工件和更换刀具外，只需要更换含有该工件加工信息的程序，而不需要对数控机床作任何调整。这种灵活、通用、能迅速适应工件变更的特性，称为柔性。传统的自动加工机械不具备柔性特点。

2. 数控机床的产生

数控机床（numerical control machine tools）是用数字代码形式的信息（程序指令），控制

刀具按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工的机床。数控机床是在机械制造技术和控制技术的基础上发展起来的，其过程大致如下：

1948 年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制直升飞机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工设备。由于样板形状复杂多样、精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出采用数字脉冲控制机床的设想。

1949 年，该公司与美国麻省理工学院（MIT）开始共同研究，并于 1952 年试制成功第一台三坐标数控铣床，当时的数控装置采用电子管元件。

1959 年，数控装置采用了晶体管元件和印刷电路板，出现带自动换刀装置的数控机床，称为加工中心（MC，machining center），使数控装置进入了第二代。

1965 年，出现了第三代集成电路数控装置，不仅体积小、功率消耗少，且可靠性提高，价格进一步下降，促进了数控机床品种和数量的发展。

20 世纪 60 年代末，先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统（DNC），又称群控系统；采用小型计算机控制的计算机数控系统，使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974 年，研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置（MNC），这是第五代数控系统。

80 年代初，随着计算机软、硬件技术的发展，出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置，并且数控装置体积日趋小型化，可以直接安装在机床上。同时，数控机床的自动化程度进一步提高，具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。

90 年代后期，出现了 PC＋CNC 智能数控系统。即以 PC 机为控制系统的硬件部分，在 PC 机上安装 NC 软件系统，此种方式的系统维护方便，并易于实现网络化制造。

任务二　认知数控机床的组成、工作过程和分类

1. 数控机床的组成

数控机床是机电一体化的典型产品，是集机床、计算机、电机拖动、自动控制、检测等技术为一体的自动化设备。数控机床的基本组成包括加工程序输入/输出装置、数控装置、伺服系统、辅助控制装置、反馈系统及机床本体，如图 1－1 所示。

（1）输入/输出装置

键盘和显示器是数控系统不可缺少的输入、输出设备，操作人员可通过键盘和显示器输入简单的加工程序、编辑修改程序和发送操作命令，即进行手工数据输入（MDI，manual data input），因而键盘是交互设备中最重要的输入设备。数控系统通过显示器为操作人员提供必要的信息，根据数控系统所处的状态和操作命令的不同，显示的信息可以是正在编辑的程序、机床的加工信息，或是显示加工轨迹图形。

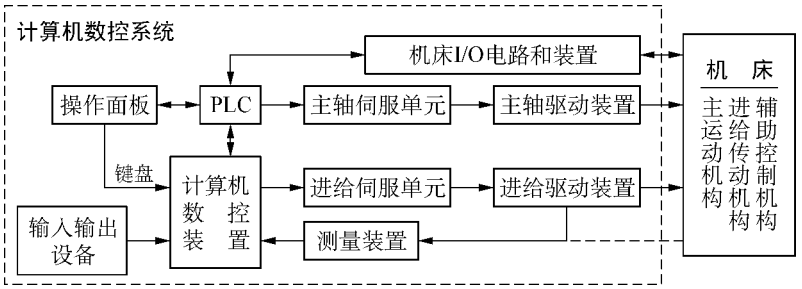


图 1－1　数控机床的组成

(2) 计算机数控装置

数控装置是数控机床的中枢，目前，绝大部分数控机床采用微型计算机控制。数控装置由硬件和软件组成，没有软件，计算机数控装置就无法工作；没有硬件，软件也无法运行。图 1－2 中虚线框内包含的部分是数控装置硬件结构框图，它由运算器、控制器(运算器和控制器构成 CPU)、存储器、输入接口、输出接口等组成。

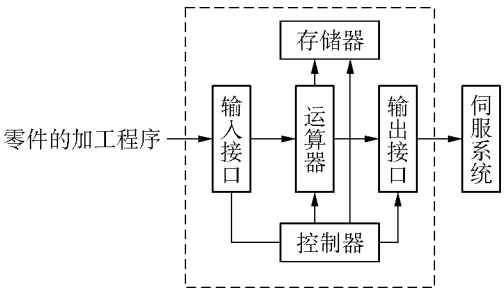


图 1－2　数控装置结构框图

输入接口接收输入的代码信息，经过识别与译码之后送到指定存储区，作为控制与运算的原始数据。简单的加工程序可用手动数据输入方式输入，即在键盘控制程序的控制下，操作人员直接用键盘把工件加工程序输入存储器。数控机床的加工过程可概括为数据处理、插补运算、位置控制 3 个基本部分，整个过程在系统管理程序的控制下有条不紊地进行工作。

(3) 伺服驱动系统

数控机床的伺服驱动系统分为进给伺服驱动系统和主轴驱动系统。进给伺服驱动的作用是把来自数控装置的位置控制移动指令转变成机床工作部件的运动，使工作台按规定轨迹移动或精确定位，加工出符合图样要求的工件。因此，进给伺服驱动系统除是数控装置和机床本体之间的联系环节外，它还必须把数控装置送来的微弱指令信号放大成能驱动伺服电机的大功率信号。

机床的主轴驱动系统和进给伺服驱动系统差别很大，机床主轴的运动是旋转运动，机床进给运动主要是直线运动。现代数控机床对主轴驱动提出了更高的要求，要求主轴具有很高的转速(液压冷却静压主轴可以在 20 000 r/min 的高速下连续运行)和很宽的无级调整范围，能在 1∶100～1∶1 000 内进行恒转矩调整和在 1∶10～1∶30 内进行恒功率调整；主传动电机既要能输出大的功率，又要求主轴结构简单。同时，数控机床的主驱动系统在主轴的正、反方向都可以实现转动和加减速。为了使数控车床进行螺纹车削加工，要求主轴和进给驱动实现同步控制；在加工中心上为了能自动换刀，还要求主轴能实现正、反方向加速、减速控制；为了保证每次自动换刀时刀柄上的键槽对准主轴上的端面键，以及精镗孔后退刀时不

会划伤已加工表面，要求主轴能进行高精度的准停控制。

(4) 反馈系统

反馈系统的作用是通过检测装置将机床移动的实际位置、速度参数检测出来，转换成电信号，并反馈到 CNC 装置中，使 CNC 能随时判断机床的实际位置、速度是否与指令一致，并发出相应指令，纠正产生的误差。

检测装置安装在数控机床的工作台或丝杠上，相当于普通机床的刻度盘和人的眼睛。CNC 系统按有无检测装置，可分为开环与闭环数控系统；而按检测装置安装的位置不同，又可分为闭环与半闭环数控系统。开环数控系统的控制精度取决于步进电机和丝杠的精度，闭环数控系统的精度取决于检测装置的精度。因此，检测装置是高性能数控机床的重要组成部分。

(5) 机床本体

数控机床的机械部件包括主运动部件、进给运动执行部件，如工作台、拖板及其传动部件和床身、立柱等支承部件；此外，还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。

(6) 辅助控制系统

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，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。

2. 数控机床的加工过程

数控机床可以通过控制面板上的键盘用手动方式直接输入加工程序，还可以通过 CAD/CAM 软件在计算机上进行自动编程；然后通过数控机床与计算机直接通信的方式，将程序传输到数控机床。其具体工作过程如图 1-3 所示。

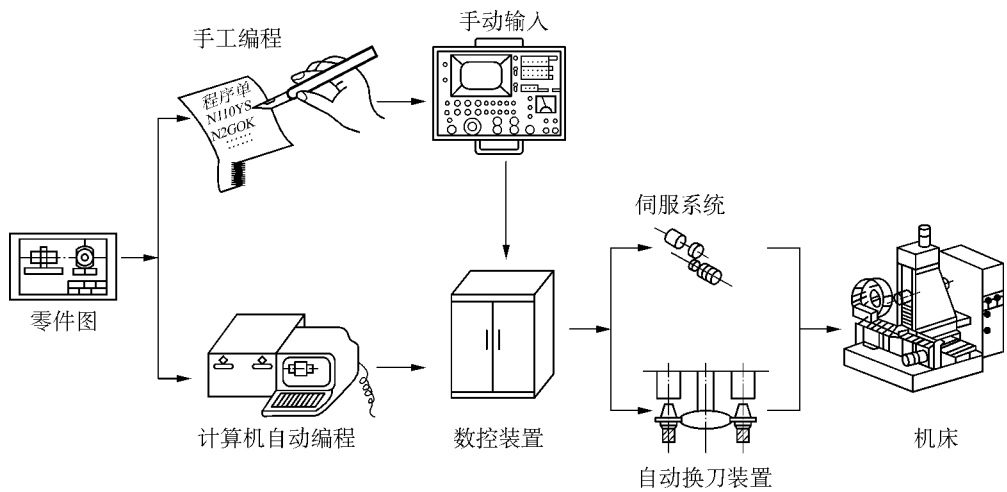


图 **1-3** 数控加工的过程

3. 数控机床的分类

(1) 按用途分类

1) 金属切削类数控机床　金属切削类数控机床有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控镗铣床等。加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。

2) 金属成形类数控机床　金属成形类数控机床有数控折弯机、数控弯管机和数控压力机等。

3) 数控特种加工机床　数控特种加工机床有数控电火花线切割机床、数控电火花加工机床、数控激光加工机床等。

(2) 按控制方式分类

1) 点位控制系统　这类控制系统只控制刀具相对工件从某一加工点移到另一个加工点之间的精确坐标位置,如图 1-4(a)所示。而不对点与点之间移动的轨迹进行控制,且移动过程中不作任何加工。通常采用这一类系统的设备有数控钻床、镗床、冲床等。

2) 直线控制系统　这类系统不仅要控制点与点的精确位置,还要控制两点之间的移动轨迹是一条直线,且在移动中能以给定的进给速度进行加工,如图 1-4(b)所示。采用此类控制方式的设备有早期数控车床、数控铣床等。

3) 连续控制系统　又称为轮廓控制系统或轨迹控制系统。这类系统能够对两个或两个以上坐标方向进行严格控制,即不仅控制每个坐标的行程位置,同时还控制每个坐标的运动速度。各坐标的运动按规定的比例关系相互配合,精确地协调起来连续进行加工,以形成所需要的直线、斜线或曲线、曲面,如图 1-4(c)所示。采用此类控制方式的设备有数控车床、铣床、加工中心、电加工机床、特种加工机床等。

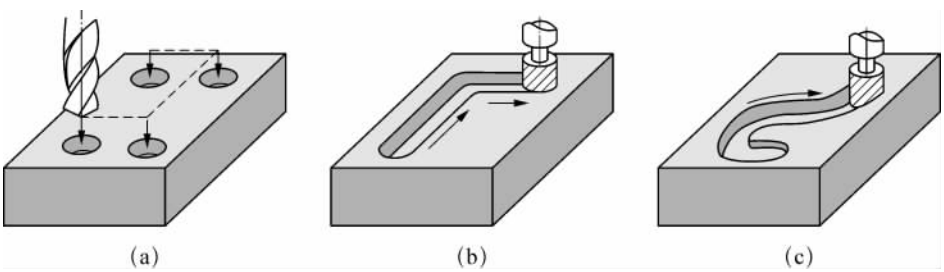


图 **1-4**　按控制方式分类

(3) 按进给伺服控制原理分类

数控机床的进给伺服系统由伺服电机、伺服驱动装置、机械传动机构及执行部件组成。它的作用是:接受数控系统发出的进给速度和位移指令信号,由伺服驱动电路作一定的转换和放大后,经伺服驱动装置(直流、交流伺服电机、电液动脉冲马达、功率步进电机等)和机械传动机构,驱动机床的工作台等执行部件实现工作进给和快速运动。

1) 开环伺服系统　如图 1-5 所示,其伺服驱动装置主要是步进电机、功率步进电机、电液脉冲马达等。由数控系统送出的进给指令脉冲,通过环形分配器,按步进电机的通电方式

进行分配，并经功率放大后送给步进电机的各相绕组，使之按规定的方式通、断电，从而驱动步进电机旋转，再经同步齿形带、滚珠丝杠螺母副去驱动执行部件。每给一脉冲信号，步进电机就转过一定的角度，工作台就走过一个脉冲当量的距离。数控装置按程序加工要求控制指令脉冲的数量、频率及通电顺序，达到控制执行部件运动的位移量、速度和运动方向的目的。由于它没有检测和反馈系统，故称之为开环。其特点是结构简单、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。

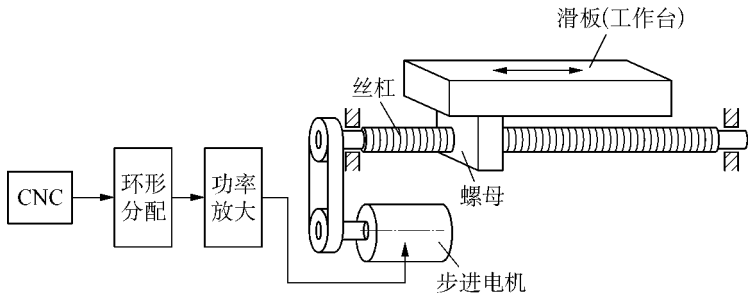


图 **1－5**　开环伺服系统

2）半闭环伺服系统　半闭环伺服系统有检测和反馈系统。如图 1－6 所示，测量元件（脉冲编码器、旋转变压器、圆感应同步器等）装在丝杠或伺服电机的轴端部，通过检测丝杠或电机的回转角，间接测出机床运动部件的位移，经反馈回路送回控制系统和伺服系统，并与控制指令值相比较。如果两者存在偏差，便将此差值信号放大，继续控制电机带动移动部件向着减小偏差的方向移动，直至偏差为零。由于只对中间环节进行反馈控制，丝杠和螺母副部分还在控制环节之外，故称半闭环。对丝杠螺母副的机械误差，需要在数控装置中用传动间隙补偿和螺距误差补偿来减小。

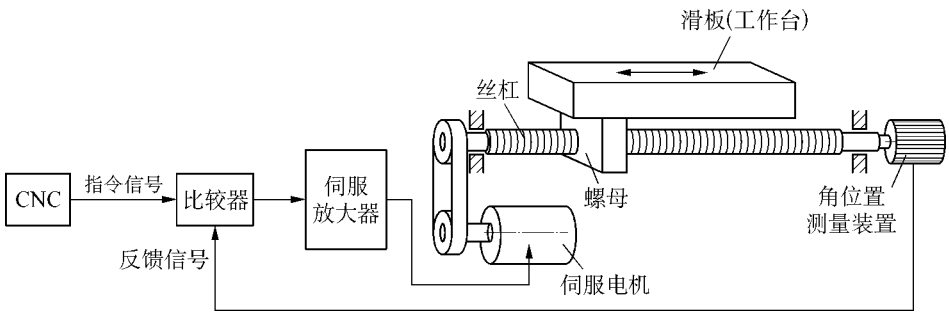


图 **1－6**　半闭环伺服系统

3）闭环伺服系统　如图 1－7 所示，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。该系统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。

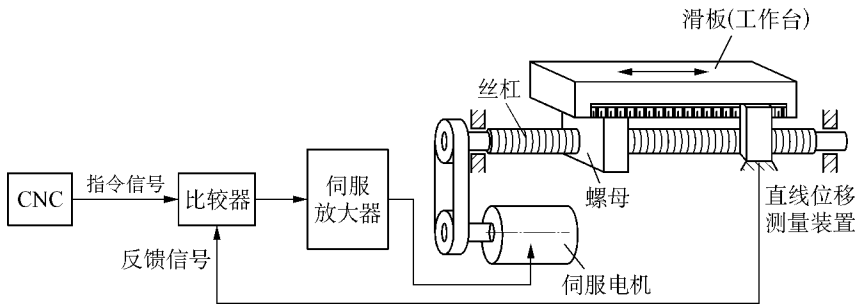


图 **1－7**　闭环伺服系统

(4) 按功能分类

1) 经济型数控机床　在控制系统中一般用一个微处理器作为主控单元，伺服系统大多使用步进电机驱动，采用开环控制方式。其脉冲当量为 0.01～0.005 mm/P，机床快速移动速度为 5～8 m/min，精度较低，功能较简单，用数码管或简单的 CRT 字符显示，基本具备了计算机控制数控机床的主要功能。

2) 全功能型数控机床　控制系统中采用 2～4 个微处理器控制，其中一个是主控微处理器，其余为从属微处理器。主控微处理器完成用户程序的数据处理、粗插补运算、文本和图形显示等；从属微处理器在主控微处理器管理下，完成对外部设备，主要是伺服控制系统的控制和管理，实现同时对各坐标轴的连续控制。

全功能型数控机床允许最大速度一般为 8～24 m/min，脉冲当量为 0.01～0.001 mm/P，采用交、直流伺服电机，广泛用于加工形状复杂或精度要求较高的工件。

3) 精密型数控机床　精密型数控机床采用闭环控制，不仅具有全功能型数控机床的全部功能，而且机械系统的动态响应较快。其脉冲当量一般小于 0.001 mm/P，适用于精密和超精密加工。

习题与思考

1－1　什么是机床数控技术？什么是数控机床？

1－2　数控机床由哪几部分组成？各有什么作用？

1－3　什么是脉冲当量？

1－4　点位控制和连续控制有什么区别？

1－5　开环控制与闭环控制有什么区别？各适用于什么场合？

项目二

· 数 控 机 床 与 应 用 ·

计算机数控系统认知

本项目学习数控装置组成和工作过程、数控装置软硬件结构、数控系统的插补原理，目的是掌握数控系统的工作原理。

任务一　熟悉 CNC 装置的组成和工作过程

1. CNC 装置的组成

CNC 装置主要由硬件和软件两大部分组成。硬件和软件的关系密不可分，硬件为软件提供了活动舞台，是软件的肌体，而软件则是整个系统的灵魂。数控系统是在软件的控制下，有条不紊地进行工作。

图 2－1 所示是 CNC 装置硬件组成框图。CNC 装置硬件除了一般计算机具有的微处理

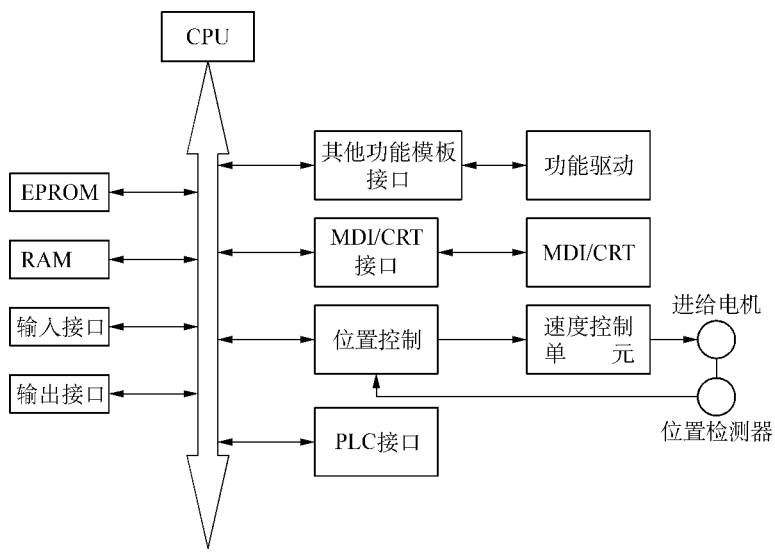


图 **2－1**　CNC 装置硬件组成框图

需要全本请访问 www.ertongbook.com