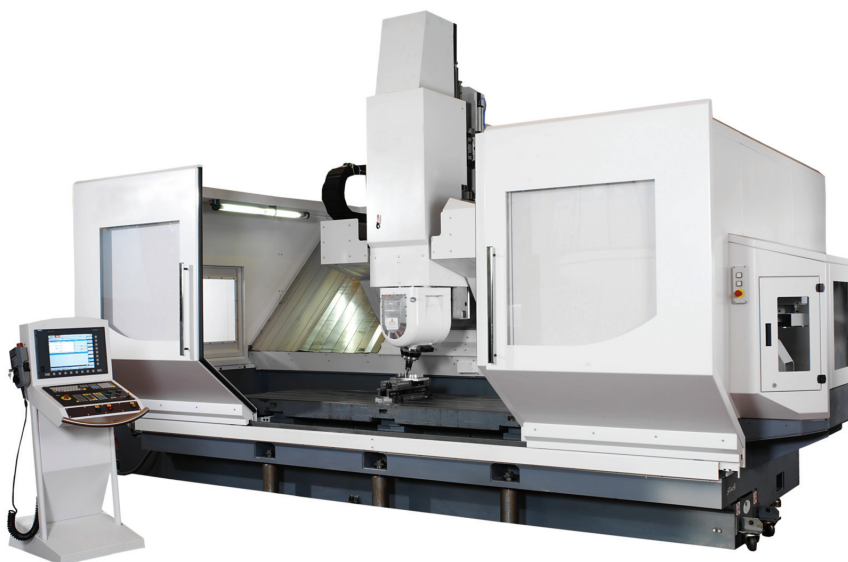


机床自动化系统对比分析

中国工控网 (www.gongkong.com)

随着科学技术的发展,机电产品日趋精密复杂,产品的精度要求越来越高、更新换代的周期也在缩短,科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的性能、质量、生产率和成本提出了越来越高的要求。尤其是宇航、军工、造船、汽车和模具加工等行业,用普通机床进行加工已无法满足生产要求,迫切需要一种灵活、通用、能够适用产品频繁变化的柔性自动化机床,从而一种新型的用数字程序控制的机床应运而生。它综合了计算机技术、自动控制、精密测量和机械设计等新技术,加工不同的零件时,不需要改变机床的结构,只需改变加工程序即可。

数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等学科领域最新成果而形成的一门边缘科学技术。在现代机械制造领域中,数控技术已成为核心技术之一,是实现柔性制造(FM)、计算机集成制造(CIM)、工厂自动化(FA)的重



要基础技术之一,数控机床的基本组成见图1所示。

受制造业迅速发展的拉动,对大型自动机床,复合机床,多头机床等中高端制造设备的需求逐步增多。它能够逻辑地处理编码指令,把数字化了的刀具移动轨迹的信息输入到数控装置,经过译码、运算,从而实现控制刀具与工件相对运动,可以完成

各种回转表面进行车削加工,如内外圆柱面、圆锥面、成形回转面、螺纹面、高精度的曲面以及端面螺纹等,从而加工出所需要的零件。

作为集多种技术于一体的机床控制系统,一直都是业界讨论和关注的热点。本文将从数控系统发展、

CNC系统、主传动系统、进给系统、自动换刀装置、常用CAD/CAM软件、DNC网络等方面探讨数控技术发展现状和趋势,为广大机床设计、使用人员提供参考。

数控系统发展

1952年,美国诞生了第一台数控机床,1968年我国由北京第一机床厂研制出第一台数控机床。从此,传统机床产生了质的变化,半个世纪以来,数控系统经历了两个发展阶段。

1. 数控(NC)阶段(1952~1970年)

早期计算机的运算速度低,对当时的科学计算和数据处理影响还不大,不能适应机床实时控制的要求。人们不得不采用数字逻辑电路“搭”成一台机床专用计算机作

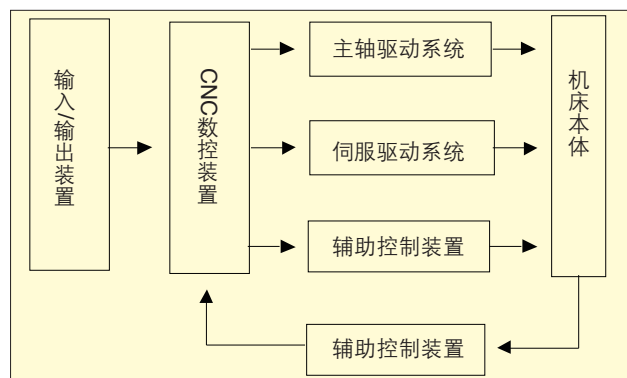


图1 数控机床的基本组成

为数控系统，被称为硬件连接数控（HARD-WIRED NC），简称为数控（NC）。随着元器件的发展，这个阶段历经了三代，即1952年的第一代--电子管；1959年的第二代--晶体管；1965年的第三代--小规模集成电路。

这三代数控系统主要是由硬件联结构成，称为硬件数控；存在着以下局限性：

- 不能自由地从信息网上选取信息；
- 体系结构不开放，用户接口不完善，机械厂家和用户不能自主地根据需要对数控系统进行裁剪，用户自身的技术诀窍不能方便地融入，创造出自己的名牌产品；
- 不能充分地利用已有的通用软件资源；
- 不能自由地获取外部的工况信息；
- 体系结构繁多，不利于批量生产、提高可靠性和降低成本，削弱了市场供应能力和竞争能力，同时限制了数控技术的发展。

2. 计算机数控（CNC）阶段（1970年~现在）

1970年，通用小型计算机业已出现并成批生产，于是开始将它移植过来作为数控系统的核心部件，从此进入了计算机数控（CNC）阶段。1971年，美国INTEL公司第一次将计算机的两个最核心的部件--运算器和控制器，采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上。1974年，微处理器被应用于数控系统。由于微处理器是通用计算机的核心部件，故仍称为计算机数控。1990年，PC机的性能已发展到很高的阶段，可以满足作为数控系统核心部件的要求，数控系统开始进入基于PC的阶段。

总之，计算机数控阶段也经历

了三代。即1970年的第四代--小型计算机；1974年的第五代--微处理器和1990年的第六代--基于PC（国外称为PC-BASED）。后三代称为计算机数控，其功能主要由软件完成。

近年来美国、欧共体、日本等国纷纷采取措施，投入大量的财力，联合各厂，甚至多国进行合作，研究新一代的数控系统，世界的数控技术正处在向全PC开放式体系结构数控平台时代转折，这一转折正是适应了计算机技术、信息技术、网络技术等技术的发展的必然结果。例如国外出现基于微机的、Windows平台的开放式数控系统，采用由两个Intel处理器，通过PCI-PCI桥进行相互通信。一个处理器承担数控运算（NC计算机），另一个作为人机界面计算机。NC计算机中插有NC CPU卡、NC机床卡。NC机床卡与数控驱动装置连接，并通过2块带PCI桥的总线卡与人机界面计算机通信。我国也相继开发出了几种型号的开放式数控系统，包括有华中等企业生产的数控系统，这些数控系统的大部分产品基本都采用16位或32位的工业PC机，以

DOS、WINDOWS为其操作系统，支持在Windows平台上进行二次开发。

数控机床的分类

数控机床的品种规格繁多，分类方法不一。根据数控机床的功能、结构、组成不同，可从控制方式、伺服系统类型、功能水平、工艺方法、按控制系统类型几个方面进行分类，如表1所示。

按功能水平分类的方法目前并无明确的定义和确切的分类界限，不同国家分类的含义也不同，不同时期的含义也在不断发展变化。经济型数控机床、中档型数控机床、高档型数控机床的主要技术指标见表2所示。

按控制系统类型可以分为传统数控系统、PC嵌入NC或NC嵌入PC的开放式数控系统、SOFT型开放式数控系统。其中传统数控系统，如FANUC 0系统、MITSUBISHI M50系统、SINUMERIK 810M/T/G系统等。这是一种专用的封闭体系结构的数控系统。目前，这类系统还是占领了制造业的大部分市场。但由于开放

表1 数控机床的分类

| 分类方法 | 数控机床类型 | | |
|-----------|----------|-----------------------|--------------|
| 按运动控制方式分类 | 点位控制数控机床 | 直线控制数控机床 | 轮廓控制数控机床 |
| 按伺服系统类型分类 | 开环数控系统 | 半闭环数控系统 | 闭环数控系统 |
| 按功能水平分类 | 经济型数控机床 | 中档型数控机床 | 高档型数控机床 |
| 按工艺方法分类 | 金属切削数控机床 | 金属成形数控机床 | 特种加工数控机床 |
| 按控制系统类型分类 | 传统数控系统 | PC嵌入NC或NC嵌入PC的开放式数控系统 | 基于软件的开放式数控系统 |

表2 机床的主要技术指标

| 功能水平指标 | 低档 | 中档 | 高档 |
|-----------------------|------------|---------------------|----------------|
| 分辨率 (μm) | 10 | 1 | 0.1~0.001 |
| 进给速度 (m/min) | 8~15 | 15~24 | 15~100 |
| 伺服系统类型 | 开环、步进电机 | 半闭环或闭环、直流或交流伺服系统 | |
| 联轴功能 | ≤ 2 轴 | 3~5 轴 | |
| 通信能力 | 无 | RS-232C或直接数控接口 | 遵循自动化协议，具有联网功能 |
| 显示功能 | 数码管显或单显CRT | 较齐全的CRT显示（文字、二维图象等） | 三维图显，图形编程等 |
| 内装PLC与否 | 无 | 有 | |
| 主CPU | 8bit | 16bit、32bit | |

体系结构数控系统的发展，传统数控系统的市场正在受到挑战，已逐渐减小。

“PC嵌入NC”结构的开放式数控系统，如FANUC18i、16i系统、SINUMERIK 840D系统、Num1060系统、AB 9/360等数控系统。这是一些数控系统制造商将多年来积累的数控软件技术和当今计算机丰富的软件资源相结合开发的产品。它具有一定的开放性，但由于它的NC部分仍然是传统的数控系统，用户无法介入数控系统的核心。这类系统结构复杂、功能强大，价格昂贵。“NC嵌入PC”结构的开放式数控系统 它由开放体系结构运动控制卡和PC机共同构成。这种运动控制卡通常选用高速DSP作为CPU，具有很强的运动控制和PLC控制能力。它本身就是一个数控系统，可以单独使用。它开放的函数库供用户在WINDOWS平台下自行开发构造所需的控制系统。因而这种开放结构运

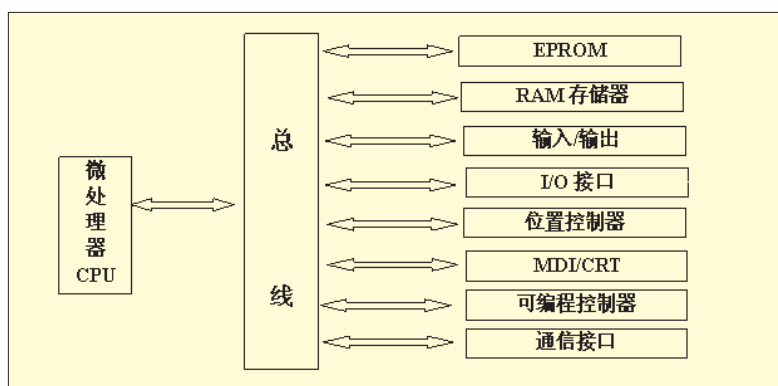


图2

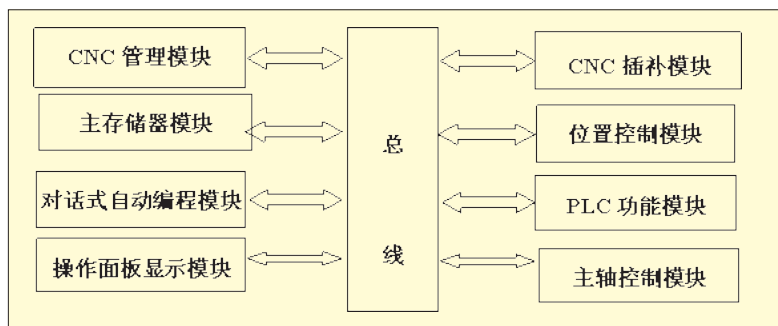


图3

动控制卡被广泛应用于制造业自动化控制各个领域。如美国Delta Tau公司用PMAC多轴运动控制卡构造的PMAC-NC数控系统、日本MAZAK

公司用三菱电机的MELDASMAGIC 64构造的MAZATROL 640 CNC等。

基于软件的开放式数控系统是一种最新开放体系结构的数控系统。它提供给用户最大的选择和灵活性，它的CNC软件全部装在计算机中，而硬件部分仅是计算机与伺服驱动和外部I/O之间的标准化通用接口。用户可以在WINDOWS NT平台上，利用开放的CNC内核，开发所需的各种功能，构成各种类型的高性能数控系统，与前几种数控系统相比，SOFT型开放式数控系统具有最高的性能价格比，因而最有生命力。通过软件智能替代复杂的硬件，正在成为当代数控系统发展的重要趋势。其典型产品有美国MDSI公司的Open CNC、德国Power Automation公司的PA8000 NT等。

表3 数控车床与普通车床在结构上的主要区别

| 结构 | 驱动、变速 | 主运动与进给运动 |
|------|--|---|
| 数控车床 | 主轴运动有三种驱动方式，分别是分段无级变速、带传动变速以及电机直接驱动变速；进给运动常采用步进电机、交流或直流电机通过有限级的传动副传给进给运动机构实现工作台的直线运动或回转运动。主运动和进给运动均是无级变速方式，驱动装置后串联变速箱主要是为了使驱动电机与工作轴的功率——转矩特性相匹配。 | 主运动和进给运动之间没有直接的机械联系，主运动、横向进给运动、纵向进给运动分别由独立的电机驱动，每条传动链较短，结构简单。 进给运动采用滚珠丝杠螺母副，摩擦力小，刚性高；刀架移动导轨常采用贴塑导轨或滚动导轨块，快速响应能力强。传动副有消除措施，加上数控系统对误差的修正，有效的保证了反向运动精度。 |
| 普通车床 | 主运动由电机经过皮带传动、离合器及滑移齿轮变速使得主轴获得正反方向的多级转速，而机床纵横运动的实现是主轴通过交换齿轮架、进给箱、溜板箱传到刀架，而纵横向不同进给量的实现主要通过进给箱中基本组、增倍组的不同组合。 | 运动和进给运动由一台电机驱动，主运动和进给运动之间存在直接的机械联系，传动链长，结构复杂，变速时需要人工干预。 采用普通丝杠螺母副，一般来说传动副之间没有误差消除措施。 |

数控车床系统分析

1. 数控车床与普通车床的区别
数控机床对零件的加工过程，

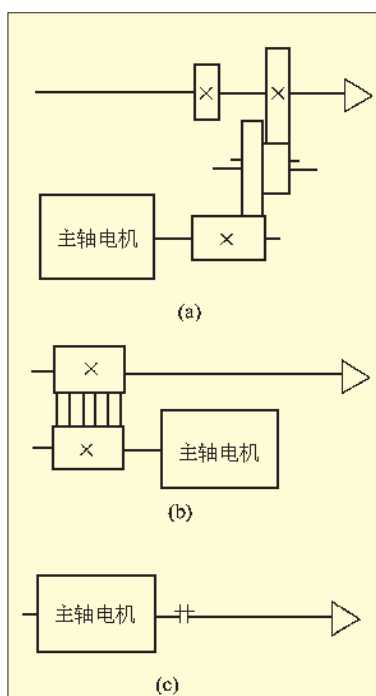


图4 数控机床的主传动方式

是严格按照加工程序所规定的参数及动作执行的。它是一种高效能自动或半自动机床，与普通机床相比，具有自己明显的特点。数控车床与普通车床在结构上的主要区别见表3。

2. 数控机床CNC

数控机床CNC装置的硬件结构一般分为单微处理器结构（CPU）结构和多微处理器（CPU）结构。

单微处理器数控系统以微处理器（CPU）为核心，CPU通过总线与存储器以及各种接口相连接，采用集中控制，分式处理的工作方式，完成数控加工中各个任务，见图2所示。有的CNC装置虽然有两个以上的微处理器，但其中只有一个微处理器能控制总线，其它的CPU只是附属的专用智能部件，不能控制总线，不能访问主存储器。它们之间构成主从结构，也属于单微处理器结构。多采用集中控制，分式处理的工作方式，完成数控加工中各个任务。

多微处理器数控系统由两个或两个以上的CPU构成处理部件，各

处理部件之间通过一组公用地址和数据总线进行连接。每个CPU都可享用系统公用存储器或I/O接口，并分担一部分数控功能，从而将单微处理器的CNC装置中顺序完成的工作，转变为多微处理器并行、同时完成的工作，因而大大增强了整个系统的性能，见图3所示。

多微处理器数控系统可以分为CNC管理模块、CNC插补模块、位置控制模块、PLC模块、数据输入输出和显示模块、存储器模块。具有计算处理速度快、可靠性高、良好的适应性和扩展性等特点。一般硬件是通用的，容易配置，只要开发新软件就可构成不同的CNC装置，便于组织硬件规模生产，形成批量。

3. 数控机床主传动

现代数控机床的主运动系统广泛采用交流调速电机或直流调速电机作为驱动元件，随着电机性能、控制器的日趋完善，可以方便地实现宽范围的无级变速，且传动链短，传动件少，变速的可靠性高。

数控机床的主传动方式主要有三种，如图4所示。

① 带有二级齿轮变速的主传动方式，如图4（a）所示，主轴电机经过二级齿轮变速，使主轴获得低速和高速两种转速系列，这种分段无级变速，确保低速时的大扭矩，满足机床对扭矩特性的要求，是大中型数控机床采用较多的一种配置方式。

② 通过定比传动的主传动方式，如图4（b）所示，主轴电机经定比传动传递给主轴，定比传动采用齿轮传动或带传动。带传动方式主要应用于小型数控机床上，可以避免齿轮传动的噪声与振动。

③ 由主轴电机直接驱动的主传动方式，如图4（c）所示，电机轴与主轴用联轴器同轴连接。这种方式大大简化了主轴结构，有效地提高了主轴刚度。但主轴输出扭矩小，电机的发热对主轴精度影响较大。近年来出现了一种电主轴，该主轴本身就是电机的转子，主轴箱体与电子定子相连。其优点是主轴部件结构更紧凑，质量小，惯性小，可提高启动、停止的响应特性；缺点同样是热变形问题。

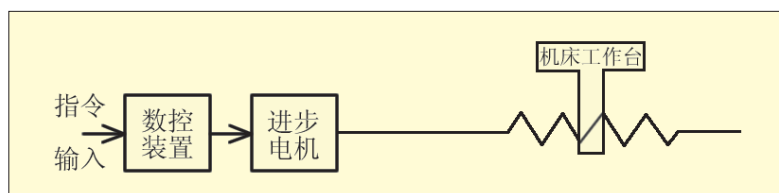


图5

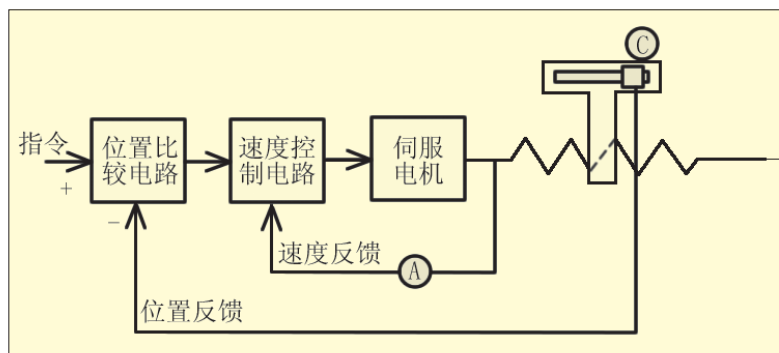


图6

4. 数控机床进给系统

数控机床的进给伺服系统是数控装置与机床本体间电传动联系的环节，也是数控系统的执行部分。数控机床的性能在很大程度上取决于进给伺服系统的性能。完成运动的速度、运动的方向和运动的起停位置的控制。一般对伺服系统的要求是：可逆运行、高精度、调速范围宽、快速响应并无超调、低速大转矩。

数控机床的进给系统的运动多采用无级调速的伺服驱动方式，可以大大简化驱动变速箱的结构。通常进给系统是由一到两级齿轮或带轮传动副和滚珠丝杠螺母副、或齿

度、灵敏度和稳定性密切相关。

数控机床进给伺服系统的分类分为开环、半闭环、闭环三种：

① 开环伺服系统是最简单的进给伺服系统，无位置反馈环节。

伺服驱动装置主要是步进电机、功率步进电机、电液脉冲电机等。由数控系统发出的指令脉冲，经驱动电路控制和功率放大后，使步进电机转动，通过齿轮副与滚珠丝杠螺母副驱动执行部件，见图5所示。

系统的位移精度主要取决于步进电机的角位移精度、齿轮丝杠等传动元件的节距精度以及系统的摩擦阻

闭环伺服系统所用的伺服驱动装置主要是直流或交流伺服电机以及电液伺服阀—液压马达。

与开环进给系统最主要的区别是：安装在执行部件上的位置检测装置，测量执行部件的实际位移量并转换成电脉冲，反馈到输入端并与输入位置指令信号进行比较，求得误差，依此构成闭环位置控制，见图6所示。由于采用了位置检测反馈装置，所以闭环伺服系统的位移精度主要取决于检测装置的精度。闭环伺服系统的定位精度一般可达 $\pm 0.01\text{mm} \sim \pm 0.005\text{mm}$ 。

③ 半闭环伺服系统是将检测元件安装在中间传动件上，间接测量执行部件的位置。

闭环系统可以消除机械传动机构的全部误差，而半闭环系统只能补偿系统环路内部分元件的误差，半闭环系统的精度比闭环系统的精度要低一些，但是它的结构与调试都比较简单，见图7所示。

采用直流或交流伺服电机的闭环和半闭环伺服系统，具有较高的精度、速度和动态特性，在数控机床中得到广泛应用。闭环伺服系统的设计和调试都较开环系统困难。目前数控机床上使用半闭环伺服系统较多，只有在高精度数控机床上使用全闭环伺服系统。

④ 全数字伺服系统

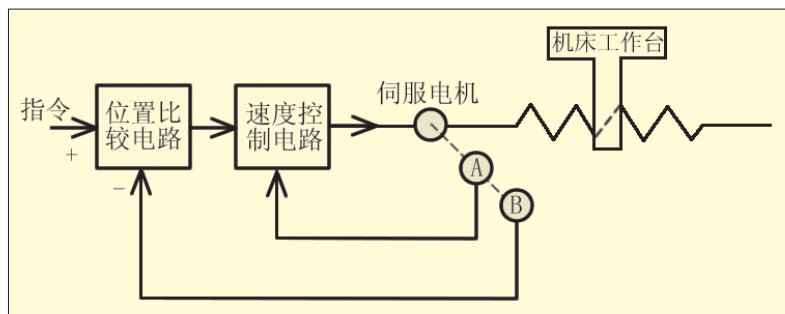


图7

轮齿条副、或蜗轮蜗杆副所组成。数控机床要求进给系统具有高精度、高稳定性和快速响应等能力。为了满足这样的要求，首先需要高性能的伺服驱动电机，同时还要高质量的机械机构。由于数控机床的进给运动是完全由数字控制的，工件的加工精度与进给系统的传动精

尼特性等。开环伺服系统的结构简单，调试、维修方便，成本低廉，但精度差，一般用于经济型数控机床。

② 闭环伺服系统通过速度检测器和安装在工作台上的位置检测器完成反馈任务，对工作台实际位移量进行自动检测并与指令值进行比较，用差值进行控制。

表4

| 类型 | 特点 | 适用范围 |
|-------------|--|---|
| 转塔刀架 | 回转刀架 多为顺序换刀，换刀时间短，结构简单紧凑，容纳刀具较少 | 各种数控车床，车削中心 |
| | 转塔头 顺序换刀，换刀时间短，刀具主轴都集中在转塔头上，结构紧凑，但刚性较差，刀具主轴数受限制 | 数控钻床、镗床、铣床 |
| 刀库式 | 刀库与主轴之间直接换刀 换刀运动集中，运动部件少。但刀库运动多，布局不灵活，适应性差 | 各种类型的自动换刀数控机床，尤其是对使用回转类刀具的数控镗铣，钻镗类立式、卧式加工中心机床。要根据工艺范围和机床特点，确定刀库容量和自动换刀装置类型。也用于加工工艺范围广泛的立、卧式车削中心机床 |
| | 用机械手配合刀库进行换刀 刀库只有选刀运动，机械手进行换刀，比刀库换刀运动惯性小，速度快 | |
| | 用机械手、运输装置配合刀库换刀 换刀运动分散，由多个部件实现，运动部件多，但布局灵活，适应性好 | |
| 有刀库的转塔头换刀装置 | 弥补转塔换刀数量不足的缺点，换刀时间短 | 扩大工艺范围各类转塔式数控机床 |

随着微电子技术、计算机技术和伺服控制技术的发展，数控机床的伺服系统已经开始采用高速、高精度

的全数字伺服系统，见图8所示。

由位置、速度和电流构成的三环反馈全部数字化，应用数字PID算法，用PID程序来代替PID调节器的硬件，使用灵活，柔性好。数字伺服系统采用了许多新的控制技术和改进伺服性能的措施，使控制精度和品质大大提高。

5. 数控机床自动换刀装置

高端数控加工中心均配有刀库，是具有自动换刀功能的数控机床，它将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能组合在一起，对工件一次装夹后进行多工序加工的数控机床，如铣、镗、钻、扩、铰及攻螺纹等多工序加工。加工中心是高度机电一体化的产品，工件装夹后，数控系统能控制机床按不同工序自动选择、更换刀具，自动对刀、自动改变主轴转速、进给量等，可连续完成钻、镗、铣、铰、攻丝等多种工序。因而大大减少了工件装夹时间，测量和机床调整等辅助工序时间，对加工形状比较复杂，精度要求较高，品种更换频繁的零件具有良好的经济效果。它适用于产品更换频繁、零件形状复杂、精度要求高、生产批量不大而生产周期短的产品。

数控机床自动换刀装置的主要类型、特点及适用范围见表4。

采用机械手进行刀具交换的方式应用最广泛。这是因为机械手换刀灵活，机械手能够完成抓刀——拔刀——回转——插刀——返回等一系列动作，动作快，而且结构简单。

6. 数控机床常用CAD/CAM软件

根据加工对象对数控机床进行编程，通常使用利用宏程序、CAD/CAM软件。两者相比，各有优缺点，相对来说宏程序比较精炼、误差较小，可以最大限度地使用数控

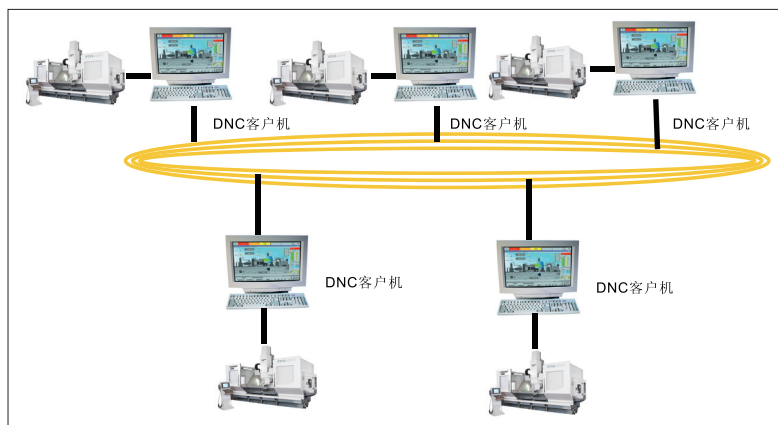


图8

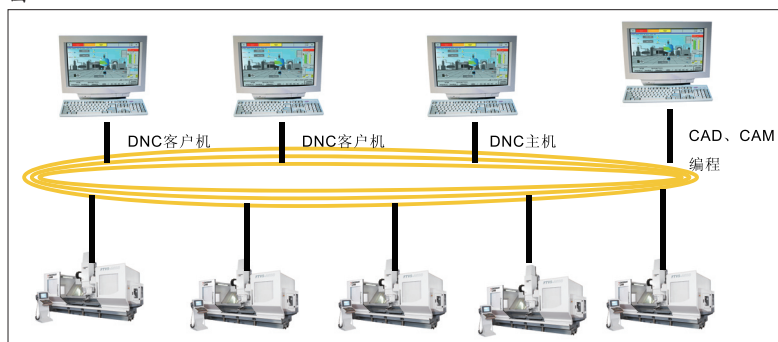


图9

系统内部的各种指令代码，而对于CAD/CAM软件生成的程序，情况则要复杂得多，软件生成的程序通常都比较大，存在着计算的误差和处理。不过CAD/CAM由于具有使用方便、编程速度快、修改容易、便于信息化管理等优点，目前在数控加工中已经有了相当多的应用。以下对常见的CAD/CAM软件进行比较：

① 高档CAD/CAM软件

高档CAD/CAM软件的代表有Unigraphics、I-DEAS、Pro/Engineer、CATIA等。这类软件的特点是优越的参数化设计、变量化设计及特征造型技术与传统的实体和曲面造型功能结合在一起，加工方式完备，计算准确，实用性强，可以从简单的二轴加工到以五轴五联动方式来加工极为复杂的工件表面，并可以对数控加工过程进行自动控制和优化，同时提供了二次开发工具允许用户扩

展UG的功能。这类软件是航空、汽车、船舶制造行业首选的CAD/CAM软件。

② 中档CAD/CAM软件

CIMATRON是中档CAD/CAM软件的代表。这类软件实用性强，提供了比较灵活的用户界面，优良的三维造型、工程绘图，全面的数控加工，以及各种通用、专用数据接口和集成化的产品数据管理。

③ 相对独立的CAM软件

相对独立的CAM软件有Mastercam、Surfcam等。这类软件主要通过中性文件从其他CAD系统获取产品几何模型。系统主要有交互工艺参数输入模块、刀具轨迹生成模块、刀具轨迹编辑模块、三维加工动态仿真模块和后置处理模块。这类软件主要应用于中小企业的模具制造业。

④ 国内CAD/CAM软件

CAXA制造工程师是国内CAD/

CAM软件的代表。这类软件是面向我国机械制造业而自主开发的中文界面三维复杂形面CAD/CAM软件,具备机械产品设计、工艺规划设计和数控加工程序自动生成等功能。这些软件价格便宜,主要面向中小企业,符合我国国情和标准,所以受到了广泛的欢迎,赢得了越来越大的市场份额。

7. 数控机床网络DNC结构

随着计算机技术、网络技术的发展,数控机床在线加工成为可能。DNC数控机床网络控制系统是一套通过电脑控制数控设备进行在线数控加工的系统,它为数控程序的存储、调用、编辑、仿真提供完整的解决方案,甚至可以与CAD/CAM实现无缝集成。目前,DNC数控机床网络控制系统主要存在着两种结构,一种是采用单台计算机对应单台机床的方式,这些计算机再通过局域网联结,其结构如图9所示;另一种是采用单台计算机对应多台机床的方式,其结构见图10所示。

单机对单机模式是早期数控机床网络DNC(主要是在九十年代初)的普遍采用的方式,基本相当于单机通讯模式,只是在单机通讯

的基础上将计算机进行了联网。当时计算机技术和网络技术,特别是串口通讯技术不是很发达,在软件和硬件等方面都无法解决单台PC满足多台机床同时进行DNC加工的要求,采用单台PC控制单台机床就是很自然的设想。

单机对单机模式的优点:单独控制、网络结构简单、软件要求简单、系统建设成本低。缺点:计算机布置比较分散,不易管理、对环境要求高、系统升级维护困难、难以实现规范化的管理、系统的集成度太低。

随着串口通讯技术不断发展,九十年代中期,在软硬件方面已经可以完善地解决单台PC满足多台机床同时进行DNC加工的要求,于是数控机床网络技术就发展了由单台计算机来控制多台机床的通讯模式,并且以此为基点,各DNC开发商开发了很多其它更加完善的DNC功能。

单机对多机模式的优点:系统高度集成化管理、PC运行环境良好、软件兼容性好、规范化的流程化管理、网络版软件功能强大。例如NC程序的双向传输、客户/服务器结构、数量与距离扩展、支持多种

通讯协议、数据共享等。缺点:集成度太高造成维护困难、系统造价较高等。

数控技术发展趋势

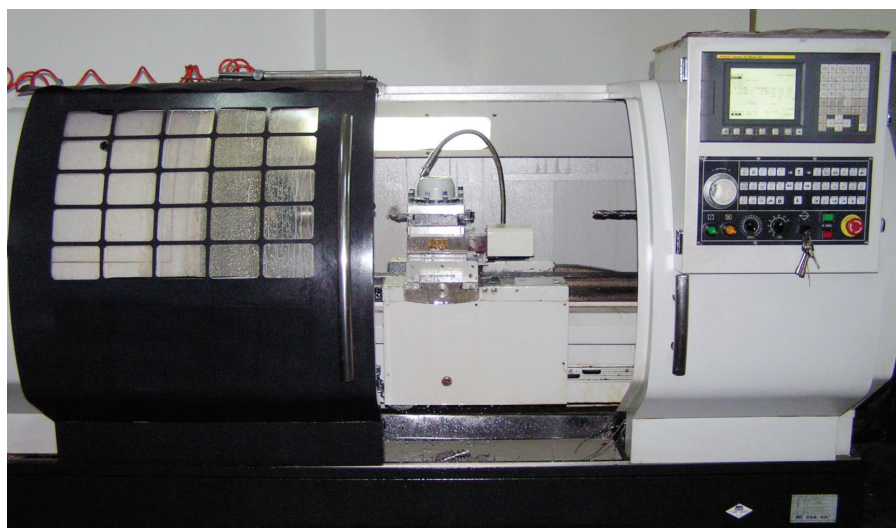
近20年来,随着科学技术的发展,先进制造技术的兴起和不断发展,对数控技术提出了更高的要求。目前,数控技术的发展具有以下特点:

1. 高速度、高精度

速度和精度是数控机床的两个重要指标,直接关系到产品的质量和档次、产品的生产周期和在市场中的竞争能力。在加工精度方面,由于滚珠丝杠副、静压导轨、直线滚动导轨、塑料滑动导轨等使用,近10年来,普通级数控机床的加工精度已由 $10\mu\text{m}$ 提高到 $5\mu\text{m}$,精密级加工中心则从 $3\sim 5\mu\text{m}$ 提高到 $1\sim 1.5\mu\text{m}$,并且超精密加工精度已开始进入纳米级($0.001\mu\text{m}$)。在加工速度方面,高速数控加工源于20世纪90年代初,以电主轴和直线电机的应用为特征,使主轴转速大大提高,进给速度达 $60\text{m}/\text{min}$ 以上,进给加速度和减速度达到 $1\sim 2\text{g}$,主轴转速达 $100000\text{r}/\text{min}$ 以上。例如,美国Cincinnati公司的HyperMach机床进给速度最大达 $60\text{m}/\text{min}$,快速为 $100\text{m}/\text{min}$,加速度达 2g ,主轴转速达 $60000\text{r}/\text{min}$ 。

2. 柔性化、功能集成化

数控机床在提高单机柔性化的同时,朝着单元柔性化和系统化方向发展,如出现了数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心等具有柔性的高效加工设备,随着5轴联动数控系统和编程软件的普及,5轴联动控制的加工中心和数控铣床已经成为当前的一个开发热点;出现了由多台数控机床组成底层加工



设备的柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS)、介于传统自动线与FMS之间的柔性加工线 (FML)。

在现代数控机床上,自动换刀装置、自动工作台交换装置等已成为基本装置。随着数控机床向柔性化、无人化方向的发展,功能集成化更多地体现在:工件自动装卸,工件自动定位,刀具自动对刀,工件自动测量与补偿,集钻、车、镗、铣、磨为一体的“万能加工机床”等。

3. 智能化

随着人工智能在计算机领域不断渗透和发展,数控系统向智能化发展。在新一代的数控系统和伺服装置中,由于采用“进化计算”(Evolutionary Computation)、“模糊系统”(Fuzzy System)和“神经网络”(Neural Network)等三个方面新的控制机理,性能大大提高。这种高性能的智能化的数控系统不但具有加工过程的自适应控制、负载自动识别、工艺参数自动生成、运动参数动态补偿、智能诊断、智能监控等功能,更具特色的是考虑到操作使用的因素而呈现的极为友好的人机界面。

① 引进自适应控制技术。由于在实际加工过程中,影响加工精度因素较多,如工件毛坯余量不均匀、材料硬度不均匀、刀具磨损、工件变形、机床热变形等。这些因素事先难以预知,以致在实际加工中,很难用最佳参数进行切削。自适应控制技术的目的是根据切削条件的变化自动调节切削用量等参数,使加工过程中能保持最佳工作状态,从而得到较高的加工精度和较小的表面粗糙度,同时也能提高刀具的使用寿命和设备的生产效率。

② 采用故障自诊断、自修复功能。在系统整个工作状态中,利用数控系统内装程序随时对数控系统本身以及与其相连的各种设备进行自诊断、检查。一旦出现故障,立即采用停机等措施,并通过CRT进行故障报警,提示发生故障的部位、原因等,并利用“冗余”技术,自动使故障模块脱机,接通备用模块。

③ 刀具寿命自动检测和自动换刀功能。利用红外、声发射、激光等检测手段,对刀具和工件进行检测。发现工件超差、刀具磨损、破损等,及时进行报警、自动补偿或更换刀具,确保产品质量。

④ 模式识别技术。应用图像识别和声控技术,使机器自己辨识图样,按照自然语言命令进行加工。

⑤ 智能化交流伺服驱动技术。目前已开始研究能自动识别负载并自动调整参数的智能化伺服系统,包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置,使驱动系统获得最佳运行。

例如,日本Mazak公司推出新一代的加工中心不仅实现了加工过程和刀具交换的自动化,还配备一个称为信息塔(e-Tower)外部设备,包括计算机、手机、机外和机内摄像头等,能够实现语音、图形、视像和文本的通信功能。该机床与生产计划调度联网,实时反映机床工作状态和加工进度。操作者需指纹确认权限,在屏幕上观察加工过程、故障报警显示、在线帮助排除。它是独立的、自主管理的制造单元。

4. 可靠性

数控机床的可靠性一直是用户最关心的主要指标,它取决于数控系统各伺服驱动单元的可靠性。为提高可靠性,目前主要采取以下措施:

① 数控系统将采用更高集成度的电路芯片,采用大规模或超大规模的专用及混合式集成电路,以减少元器件的数量,提高可靠性。

② 通过硬件功能软件化,以适应各种控制功能的要求。同时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。

③ 增强故障自诊断、自恢复和保护功能,实现对系统内硬件、软件和各种外部设备进行故障诊断、报警。当发生加工超程、刀损、干扰、断电等各种意外时,自动进行相应的保护。

5. 网络化

数控机床的网络化将极大地满足柔性生产线、柔性制造系统、制造企业信息集成的需求,也是实现新的制造模式,如敏捷制造AM、虚拟企业VE、全球制造GM的基础单元。目前先进的数控系统为用户提供了强大的联网能力,除有RS232C串行接口、RS422等接口外,还带有远程缓冲功能的DNC接口,可以实现多台数控机床之间的数据通信和直接对多台数控机床可以进行控制。有的已配备与工业局域网(LAN)通信功能,促进系统集成化和信息综合化,使远程操作和监控、遥控及远程故障诊断成为可能。

随着自动控制理论、电子技术、计算机技术、精密测量技术和机械制造技术的进一步发展,数控技术正向高速度、高精度、智能化、开放型以及高可靠性等方向迅速发展。电子技术、信息技术、网络技术、模糊控制技术的发展使新一代数控系统技术水平大大提高,促进了数控机床产业的蓬勃发展,也促进了现代制造技术的快速发展,我国制造业也因此正在迎来一场技术革命。■