

目 录

第一章 绪 论	001
第一节 数控机床概述	001
第二节 数控机床控制系统	009
第三节 数控机床伺服系统	013
第四节 典型数控机床	021
第五节 数控机床的维护	041
第二章 数控加工工艺	045
第一节 金属切削运动	045
第二节 金属切削刀具	048
第三节 数控机床的夹具	056
第三章 数控车床编程与加工	062
第一节 数控车床加工特点及其工艺系统组成	062
第二节 数控加工编程基础知识	064
第三节 数控车床程序的编制	078
第四章 数控铣床编程与加工	107
第一节 数控铣床简介	107
第二节 数控铣削加工工艺分析	110
第三节 数控铣床常用编程指令	122
第四节 孔加工固定循环指令	128
第五节 子 程 序	135
第六节 宏 程 序	136
第七节 数控铣床加工实例	139
第五章 加工中心编程与加工	152
第一节 加工中心简介	152
第二节 加工中心编程指令	158
第三节 加工中心编程中应注意的问题	165
第四节 多轴加工技术	167
第六章 数控电火花编程与加工	171
第一节 电火花加工原理	171

第二节	电火花加工精度与电极的制作·····	174
第三节	数控电火花机床的编程与机床基本操作·····	185
第七章	数控机床加工操作·····	193
第一节	数控车削加工操作·····	193
第二节	数控铣削加工操作·····	203
第三节	数控加工中心加工操作·····	213
参考文献 ·····		218

西北工业大学出版社

第一章 绪 论

第一节 数控机床概述

一、数控技术

数字控制 (Numerical Control, NC) 是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种自动化控制技术, 它与传统的手工控制有很大的差别。

数控技术应用的关键, 是数控系统的研制。

所谓的“数控系统”, 就是能逻辑处理输入到系统中的数控程序并将其译码, 从而使机床自动运行并加工出合格零件的一种程序控制系统。数控系统是数字控制装置、可编程序控制器、进给驱动与主轴驱动装置等相关设备的总称。有时仅仅指其中的数字控制装置。

自 1952 年美国研制成功第一台三坐标数控铣床以来, 随着微电子技术、计算机技术、自动控制 and 精密测量等相关技术的发展, 数控系统也在迅速地发展和不断地更新换代, 先后大致经历了 5 个发展阶段。

第 1 代数控系统: 1952 — 1959 年采用的电子管元件构成的专用数控装置。

第 2 代数控系统: 从 1959 年开始采用的晶体管电路 NC 系统。

第 3 代数控系统: 从 1965 年开始采用的小、中规模集成电路 NC 系统。

第 4 代数控系统: 从 1970 年开始采用的小型通用电子计算机控制的系统 (CNC)。

第 5 代数控系统: 从 1974 年开始采用的微型计算机控制系统 (MNC)。

第 1, 2, 3 代数控系统是逻辑数字控制系统, 其特点是数控系统的所有功能均由硬件 (数控装置) 来实现, 故又称为硬件数控。自 1970 年小型计算机开始用于数控系统后, 数控系统的发展进入了计算机数字控制 (CNC) 阶段。

现代数控技术是综合了微电子、计算机、自动控制、电气传动、测量、监控、精密机械制造等技术学科领域最新成果而形成的一门复合性科学技术。数控技术是柔性制造系统 (FMS)、计算机集成制造系统 (CIMS) 和工厂自动化 (FA) 的基础技术, 是现代机械制造业中的高新技术之一。

二、数控机床

国际信息处理联盟对数控机床做了如下定义: 数控机床是一种装有程序控制系统的机床, 该系统能逻辑地处理具有特定代码和其他符号编码指令规定的程序。简单地说, 数控机床 (NC Machine) 就是采用了数控技术的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。

现代数控机床利用计算机技术, 将机床加工中的位移、工艺参数、辅助功能等操作命令

数字化,从而实现加工过程的自动化控制。

采用普通机床进行加工时,操作人员操纵机床手轮,使刀具沿着工件表面移动而进行零件的加工;而采用数控机床进行加工时,凡是以前需要操作人员操作机床手轮的工作,现在都可以由数控系统在程序控制下自动完成。

数控机床的特点如下:

①加工精度高,加工稳定可靠。数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的,不需人工干预,这就消除了操作者人为造成的误差;数控机床本身的刚度好,精度高,精度保持性好,零件的加工一致性好,质量稳定可靠;数控机床还可利用软件进行误差补偿和校正,这也保证了数控加工的高精度。

②适合于复杂异形零件的加工。数控机床可以完成普通机床难以完成或根本不能加工的复杂零件的加工,因此在宇航、造船、模具等加工业中得到广泛应用。

③加工柔性高。工件改变时,一般只需要更改数控程序,体现出很好的适应性,可大大节省生产准备时间。在数控机床的基础上,可以组成具有更高柔性的自动化制造系统 FMS、CIMS 等。

④生产率高。数控机床本身的精度高、刚性大,可选择有利的加工用量,生产率高,一般为普通机床的 3 ~ 5 倍,对某些复杂零件的加工,生产效率可以提高十几倍甚至几十倍。

⑤劳动条件好。机床自动化程度高,操作人员劳动强度大大降低。另外,数控机床一般都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,劳动条件大为改善。

⑥有利于管理现代化。采用数控机床有利于向计算机控制与管理生产方面发展,为实现生产过程自动化创造了条件。

⑦生产准备工作复杂。由于整个加工过程采用程序控制,数控加工的前期准备工作较为复杂,包含工艺确定、程序编制等。

⑧维修、维护技术要求高。数控机床是典型的机电一体化产品,技术含量高,对维修人员的技术要求很高。

数控机床的出现,极大地促进了机床行业的技术进步和行业发展,使得产品质量大幅度提高,新产品开发周期明显缩短。目前,数控机床已经遍布军工、航空航天、汽车、造船、机车车辆、机床、建筑、通用机械、纺织、轻工、电子等几乎所有制造行业。

三、数控机床的组成

数控机床一般由数控装置、伺服装置(伺服电动机)、检测反馈装置、PLC 强电控制柜、各类辅助装置和机床本体组成,如图 1-1 所示。

数控装置是数控机床的核心,其作用是,从内部存储器中取出或接收输入装置送来的一段或几段数控加工程序,经过数控装置的逻辑电路或系统软件进行编译、运算处理后,输出几种控制信息和指令,控制机床各部分的工作,使其进行规定的有序运动和动作。

伺服系统是数控装置和机床本体的联系环节,它把来自数控装置的微弱指令信号,放大成控制驱动装置的大功率信号。伺服系统还包括位置检测装置,位置检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移检测出来,经反馈系统反馈到机床的数控系统中。

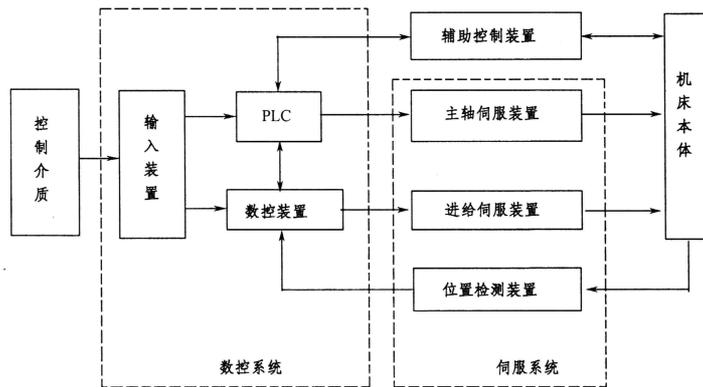


图 1-1 数控机床基本组成

伺服系统是机床执行件工作的动力装置，数控装置的指令要靠伺服系统付诸实施。从某种意义上说，数控机床功能的强弱主要取决于数控装置，而数控机床性能的好坏主要取决于伺服系统。

辅助装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过翻译、逻辑判别和运算，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、润滑装置的启停，工件和机床部件的松开和夹紧，分度工作台的转位分度等开关辅助动作。当今数控机床已广泛采用可编程控制器 (PLC) 作为辅助控制装置。

数控机床的本体指其机械结构实体。数控机床在整体布局、外观造型、传动机构、工具系统及操作机构等方面与普通机床相比，都发生了很大的变化。由于采用了无级变速电动机、电气传动，因此机械结构部分大大简化；它们还普遍采用高性能主轴及主传动部件，采用滚珠丝杠副、直线滚动导轨副等高效进给传动件，具有完善的刀具自动交换和管理系统，机床的动、静刚度，运动精度和生产效率得到很大的提高。

四、数控机床的分类

数控机床的品种规格很多，分类方法也各不相同，一般可按下面 5 种原则进行分类。

(一) 按加工工艺分类

1. 金属切削类指采用车、铣、钻、镗、铰、磨、刨等各种切削工艺和普通数控机床、在普通数控机床上加装刀库和自动换刀装置构成的数控加工中心，如镗铣加工中心、车削中心、钻削中心等。

2. 金属成形类指采用挤、冲、压、拉等成形工艺的数控机床，常用的有数控压力机、数控折弯机、数控弯管机、数控旋压机等。

3. 特种加工类主要有数控电火花线切割机、数控电火花成形机、数控火焰切割机、数控激光加工机等。

(二) 按机床运动的控制轨迹分类

1. 点位控制的数控机床

点位控制只要求控制机床的移动部件从一点移动到另一点的准确定位，在移动过程中不进行加工。具有点位控制功能的机床主要有数控钻床、数控镗床、数控冲床等，图 1-2 为点位控制数控钻床加工示意图。

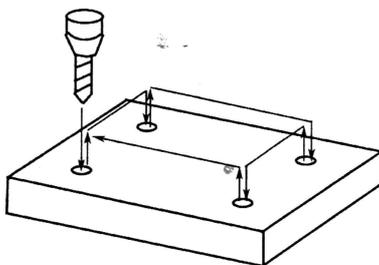


图 1-2 点位控制数控钻床加工示意图

2. 点位直线控制数控机床

这类数控机床的特点是除了控制点与点之间的准确定位外，还要控制两相关点之间的移动速度和路线(轨迹)。其运动路线是与机床坐标轴平行的直线，或两轴同时移动时构成的斜线。点位直线控制功能的机床主要有数控车床、数控铣床、数控磨床等。这种机床的数控系统也称为直线控制数控系统。图 1-3 为点位直线控制数控铣床加工示意图。

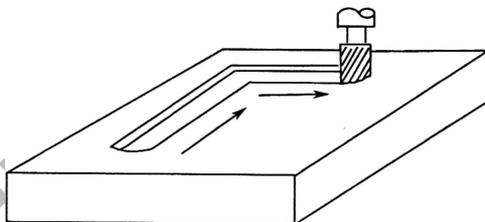


图 1-3 点位直线控制数控铣床加工示意图

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床也称连续控制数控机床，其控制特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移和速度同时进行控制，在运动过程中刀具对工件轮廓表面进行连续切削，加工出各种直线、圆弧、曲线等。图 1-4 为 2 坐标轮廓控制数控铣床加工示意图。这类机床主要有数控铣床、数控线切割机床、加工中心等。

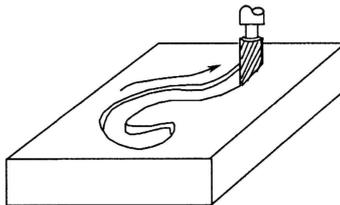


图 1-4 2 坐标轮廓控制

(三) 按联动轴数分类

数控系统控制的几个坐标轴，按需要的函数关系同时协调运动，称为坐标联动。数控系统能够实现的坐标联动的轴的数目，就是联动轴数。联动轴数越多，则机床能加工的零件复杂程度和精度越高，对数控系统的要求也就越高。按照联动轴数的不同，数控机床可以分为以下几种：

1. 两轴联动数控机床

数控机床能同时控制两个坐标轴联动，适于数控车床加工旋转曲面或数控铣床铣削平面轮廓。

2. 两轴半联动数控机床

两轴半联动主要用于3轴以上机床的控制，其中两根轴可以联动，而另外一根轴作周期性进给。两轴半联动加工可以实现分层加工，如图1-5所示。

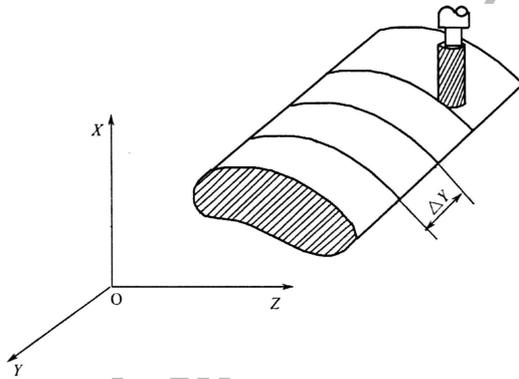


图 1-5 两轴半联动的曲面加工

3.

3轴联动数控机床一般分为两类，一类是 X 、 Y 、 Z 三个直线坐标轴联动，比较多地用于数控铣床、加工中心等。如图1-6所示为用球头铣刀铣切三维空间曲面。另一类是除了同时控制 X 、 Y 、 Z 中两个直线坐标外，还同时控制围绕其中某一直线坐标轴旋转的旋转坐标轴。如车削加工中心，它除了纵向(Z 轴)、横向(X 轴)两个直线坐标轴联动外，还需同时控制围绕 Z 轴旋转的主轴(O 轴)联动。

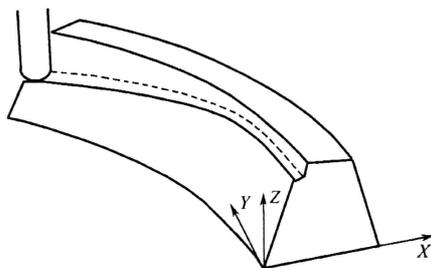


图 1-6 3轴联动的曲面加工

4. 多坐标联动

数控机床能同时控制四个以上坐标轴的联动，如 4 轴联动、5 轴联动等。

多坐标数控机床的结构复杂，精度要求高，程序编制复杂，适于加工形状复杂的零件，如叶轮叶片类零件。图 1-7 所示为 5 轴联动加工中心，除了可以实现 X、Y、Z 三根直线轴联动外，还控制了 A、B 两个旋转轴，实现了 5 轴联动。

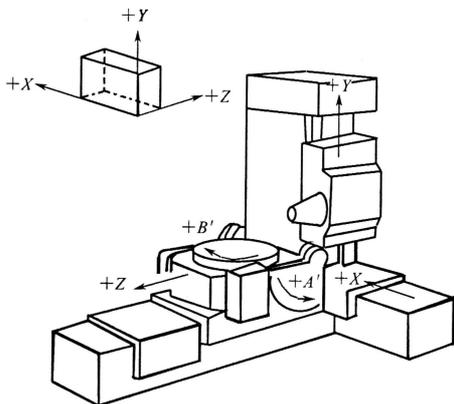


图 1-7 5 轴联动加工中心

(四) 按伺服控制的方式分类

1. 开环控制数控机床

这类机床的特点是其控制系统不带位置检测反馈装置，它的驱动电动机为步进电机，如图 1-8 所示。开环系统仅适用于加工精度要求不高的中小型数控机床。在我国，一般经济型数控系统和旧设备的数控改造多采用这种控制方式。

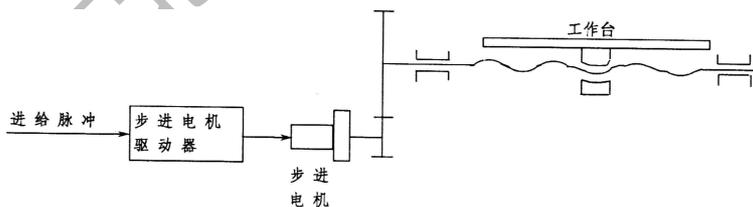


图 1-8 开环控制系统框图

2. 半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床的特点是在伺服电动机轴上或丝杠端部直接安装了编码器等转角检测元件，如图 1-9 所示。通过检测元件检测丝杠的转角，间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。目前，采用半闭环控制方式的数控机床应用十分广泛。

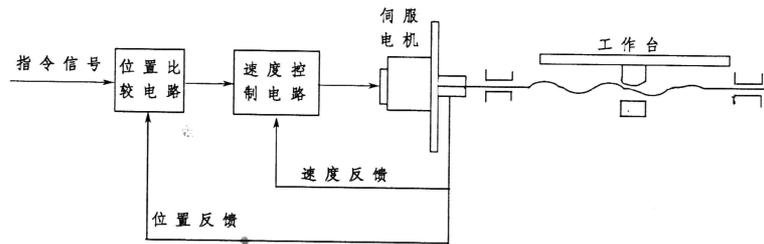


图 1-9 半闭环控制系统框图

3. 闭环控制数控机床

这类数控机床的进给伺服驱动是按闭环反馈控制方式工作的。位置反馈装置采用直线位移检测元件(如光栅尺等),安装在机床的移动部件上,直接检测机床移动部件的直线位移量,通过反馈可以消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链中的传动误差,从而得到很高的机床静态定位精度。但是,由于在整个控制环内,许多机械传动环节的摩擦特性、刚性和间隙均为非线性,并且整个机械传动链的动态响应时间与电气响应时间相比又非常大,这为整个闭环系统的稳定性校正带来很大困难,系统的设计和调整也都相当复杂。因此,这种闭环控制方式主要用于精度要求很高的数控坐标镗床、数控超精车床、数控精密磨床等。其控制系统的框图如图 1-10 所示。

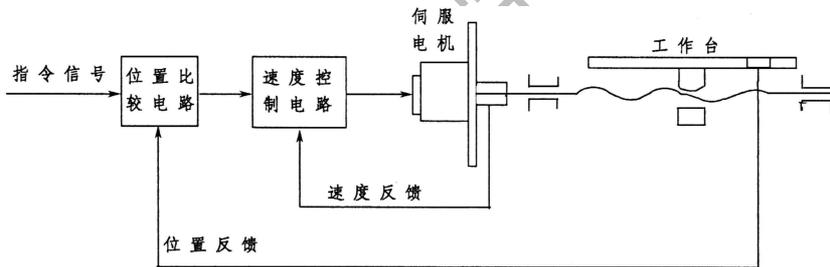


图 1-10 闭环控制系统框图

4. 混合控制数控机床

开环控制方式稳定性好、成本低、精度差;全闭环精度高、稳定性差;而半闭环介于两者之间。因此采用混合控制方式,可以较好地将其特点结合起来,以满足一些大型或重型机床的要求。混合控制方式中采用较多的有开环补偿型和半闭环补偿型两种方式。

(五) 按数控系统的功能水平分类

通常可以分为低、中、高三档,其中低档数控机床又称为经济型数控机床,中档数控机床也称为普及型数控机床。这种分类方式在我国用得较多,如表 1-1 所示。

表 1-1 不同档次数控机床的性能及指标

项目	低档	中档	高档
分辨率和进给速度	10 μm , 8 ~ 15 m/min	1 μm , 15 ~ 24 m/min	0.1 μm , 15 ~ 100 m/min

伺服进给类型	开环、步进电机系统	半闭环直流或交流伺服系统	闭环直流或交流伺服系统
联动轴数	2 轴	3 ~ 5 轴	3 ~ 5 轴
主轴功能	不能自动变速	自动无级变速	自动无级变速、C 轴功能
通信能力	无	RS-232C 或 DNC 接口	MAP 通信接口、联网功能
显示功能	数码管显示、CRT 字符	CRT 显示字符、图形	三维图形显示、图形编程
内装 PLC	无	有	有
主 CPU	8 bit CPU	16 或 32 bit CPU	64 bit CPU

五、数控机床的发展趋势

随着科学技术、先进制造技术的兴起和不断成熟，对数控技术提出了更高的要求，引导着数控技术向以下方向发展。

（一）高速高精度化

高速化是指数控机床的高速切削和高速插补进给；高精度是指数控机床能够达到高的分辨率、定位精度、重复定位精度等。近年来，电主轴、直线电机以及新型刀具的应用，使数控车削和铣削的切削速度已达到 5 000 ~ 8 000 m/min 以上；主轴转数在 30 000 r/min(有的高达 100 000 r/min) 以上；进给速度，在分辨率为 1 μm 时，在 100 m/min(有的到 200 m/min) 以上；分辨率为 0.1 μm 时，在 24 m/min 以上；自动换刀速度在 1s 以内；加工精度方面，已经由 10 μm 提高到 5 μm ，精密级加工中心则由 3 ~ 5 μm 提高到 1 ~ 1.5 μm ，超精密加工精度已经开始进入纳米级 (0.001 μm)。

（二）智能化

数控机床的智能化是使数控机床具有一定的人工智能，在数控技术中融入自适应控制、模糊控制、神经网络控制、专家控制、学习控制、前馈控制等技术，从而使数控机床的控制系统逐步具备自我诊断、自我控制、逻辑分析判断等功能，使数控机床成为智能型生产机床。

（三）复合化

即在一台机床上，工件一次装夹便可完成多工种、多工序的加工，实现一机多能，最大限度地提高机床的开机率和利用率，使用户相对减少了设备投入和车间厂房的占地面积，而且大大提高了生产效率和加工精度。

（四）网络化

为了满足柔性制造单元 (FMC)、柔性制造系统 (FMS) 以及计算机集成制造系统 (CIMS) 的要求，以及构建敏捷制造 (Agile Manufacturing, AM)、虚拟制造 (Virtual Manufacturing, VM) 等先进制造系统的基础，数控机床需要实现网络化。目前，先进的数控系统为用户提供了

强大的联网能力, 除有 RS - 232C 串行接口、RS - 422 等接口外, 还带有远程缓冲功能的 DNC(Distributed Numerical Control) 接口, 可以实现几台数控机床之间的数据通信和直接对几台数控机床进行控制。

(五) 开放性

开放式数控系统的本质是指数控系统的开发可以在统一的运行平台上, 面向机床厂家和最终用户, 形成系列化, 并可将其用户的特殊应用集成到控制系统中, 实现不同品种、不同档次的开放式数控系统。理想的开放式数控系统应为数控软、硬件均可选择、可重组、可添加, 这就要求具有统一的软硬件规范化标准。

(六) 并联机床

并联机床 (Parallel Machine T001) 又称为虚拟轴机床, 它是以 Stewart 平台型机器人机构为原型构成的。世界上首台并联机床是美国的 Giddings & Lewis 公司在 1994 年美国芝加哥国际机床展览会上展出的 Variax 型并联机床。它是一台以 Stewart 平台为基础的 5 坐标立式加工中心, 标志着机床设计开始采用并联机构, 是机床结构重大改革的里程碑。

去除外罩后的该并联机床结构如图 1-11 所示, 图 1-12 是 Stewart 平台示意图。



图 1-11 Variax 型加工中心

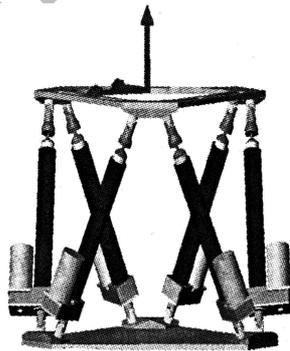


图 1-12 Stewart 平台示意图

并联机床具有结构简单、制造容易、功能强大、质量轻、刚度高、动态性能好等优点, 已经成为各国机床行业研究开发的前沿和热点。

第二节 数控机床控制系统

一、数控机床控制系统的组成

数控机床控制系统由数控装置、主轴驱动伺服装置、进给伺服装置、机床强电控制系统 (包括普通交流电机驱动和 PLC 装置等) 等部分组成, 如图 1-13 所示。

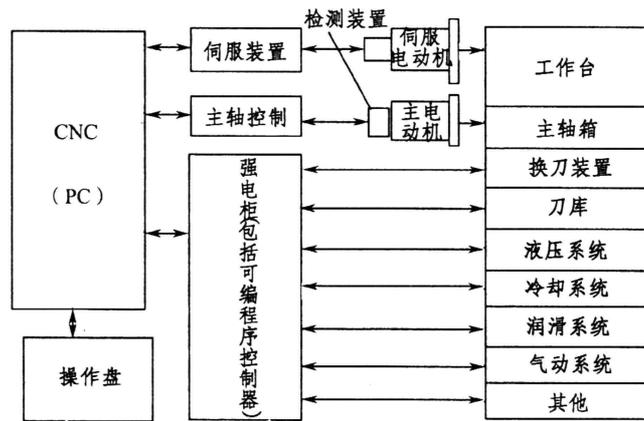


图 1-13 数控机床控制系统的组成

数控装置是数控机床控制系统的核心部分，它接收各类信息和指令，经处理后指挥和驱动机床各部分的运动，完成加工零件所需的各类运动之控制。

早期的数控装置是由硬件逻辑电路构成的，不同的控制要求必须要设计不同的硬件逻辑控制电路，专机专用。现代数控机床普遍采用计算机数字控制系统。

计算机数控 (CNC) 系统是用计算机实现数值控制，从而控制机床加工功能的系统。CNC 系统采用了计算机作为控制部件，通常由常驻在其内部的数控软件实现以前数控装置的部分或全部硬件数控功能，并对机床运动进行实时控制。现在大多数 CNC 装置都采用微处理器构成的计算机装置，故也称为微处理器数控系统 (MNC)。

主轴驱动伺服装置控制主轴的运动，现代数控机床主轴一般采用变频无级调速控制，以满足不同零件切削工艺要求。进给伺服驱动装置包括伺服电动机、运动转换机构 (如滚珠丝杠副等) 和运动检测反馈机构，实现机床各坐标轴的切削进给运动。

二、计算机数控系统的硬件结构

CNC 系统的硬件由数控装置、输入 / 输出装置、驱动装置和机床电器逻辑控制装置 PLC 等组成，如图 1-14 所示。

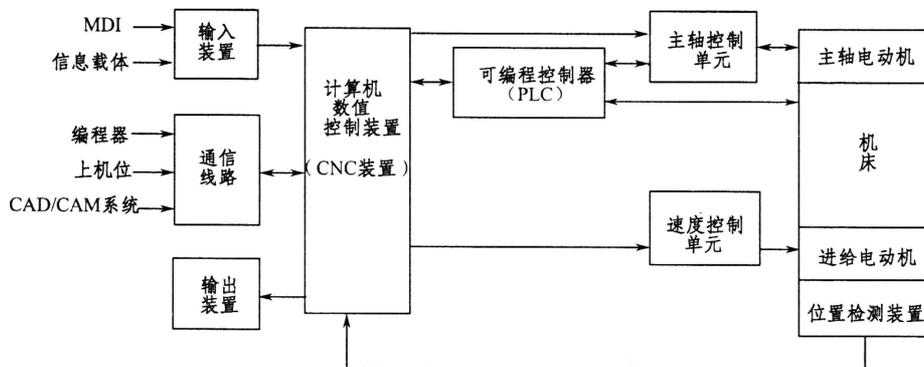


图 1-14 CNC(MNC) 系统的硬件结构框图

数控装置的硬件结构可以分为大板结构和功能模块(小板)结构。

大板结构 CNC 系统的 CNC 装置由主电路板、位置控制板、PC 板、图形控制板、附加 I/O 板和电源单元等组成。主电路板是大印制电路板,其他电路板是小板,插在大印制电路板上的插槽内。这种结构类似于微型计算机的结构,具有结构紧凑、可靠性高、价格低的优点,但是它的硬件功能不易变动,不利于组织生产。

功能模块结构的 CNC 系统中,整个 CNC 装置按功能模块划分为若干个模块,硬件和软件的设计都采用模块化设计,每一个功能模块做成尺寸相同的印制电路板,相应功能模块的控制软件也模块化。用户根据需要选用各种控制单元母板及所需功能模板,将各功能模板插入控制单元母板的槽内,就组成了自己需要的 CNC 系统的控制装置。常用的功能模板有 CNC 控制板、位置控制板、PC 板、存储器板、图形板和通信板等。

三、计算机数控系统的软件结构

CNC 系统的软件可分为管理软件和控制软件两部分。管理软件包括零件程序的输入、输出、显示、诊断和通信功能软件;控制软件包括译码、刀具补偿、速度处理、插补运算和位置控制等功能软件,如图 1-15 所示。



图 1-15 CNC 系统软件的组成

CNC 系统输入程序的功能有两个:一是把输入的程序或数据从阅读机、键盘等输入到零件程序存储器;二是从零件存储器将输入的程序或数据取出送入缓冲器。输入内容包括零件的加工程序、控制参数和补偿数据,一般是通过键盘、磁盘或纸带阅读机的外部设备输入 CNC 系统的。现代 CNC 装置也可以通过通信接口由上级中心计算机或其他设备输入。

译码就是将输入的零件加工程序或数据按一定的语法规则解释成系统计算机能识别的形式,并以一定的格式存放在指定的存储空间中。在译码过程中还要完成对程序段的语法检查,若发现错误,立即报警。

根据译码的方法不同,译码有解释和编译两种方式。解释方式是指数控系统利用处理间隙对后面的程序进行译码,一边译码,一边执行。编译方式是指在正式加工之前,将输入程序一次性翻译完成后再执行。解释方式占用时间较多,但占用内存少;编译方式节省时间,但占用内存较多,CNC 系统通常用解释方式。

刀具补偿程序通常包括刀具长度补偿、刀具半径补偿、进给速度换算及辅助功能处理等。

插补计算是 CNC 系统中最重要的一项计算工作之一，它的任务是在轮廓轨迹经过刀具补偿处理后，在刀具中心轨迹曲线的起点和终点之间进行“数据点密化”工作。

插补精度直接影响工件的加工精度，而插补速度决定了工件的表面粗糙度和加工速度。在实际的 CNC 系统中，通常采用粗、精插补相结合的方法，即控制软件把刀具轨迹分割成若干段，而硬件电路再在各段的起点和终点之间进行数据的“密化”，使刀具轨迹控制在允许的误差之内。一般的 CNC 系统均可对直线、圆弧和螺旋线进行插补，一些高级的 CNC 系统还可完成椭圆、抛物线、正弦线的插补任务。

位置控制软件的主要功能是在每个采样周期内对插补值进行处理：将计算出的理论位置值和采集到的实际位置反馈值相比较，计算两者的差值，将差值乘上增益系数，并加上补偿量，从而得到实际伺服指令的输出。

CNC 系统的管理软件主要包括 CPU 的管理和外设的管理。在 CNC 系统中为数据输入、处理及切削加工过程服务的各程序均由管理程序进行调度。另外，管理程序还要对面板命令、时钟信号、故障信号等引起的中断进行处理。

诊断包括启动诊断、在线诊断、停机诊断和远程通信诊断等。完善的故障诊断程序可以防止故障的发生或扩大，故障发生后还可以迅速查明故障的类型和部位，减少故障停机时间。

四、常用数控系统及选用

(一) 日本 FANUC 系列数控系统

FANUC 公司生产的 CNC 产品主要有 FS3, FS6, FS0, FS10/11/12, FS15, FS16, FS18, FS21/210 等系列。目前，国内用户主要使用的有 FS0, FS15, FS16, FS18, FS21/210 等系列。

FS0 系列可组成面板装配式的 CNC 系统，易于组成机电一体化系统。FS0 系列 CNC 有许多规格，如 FS0-T, FS0-TT, FS0-M, FS0-ME, FS0-G, FS0-F 等型号。T 型 CNC 系统用于单刀架单主轴的数控车床，TT 型 CNC 系统用于单主轴双刀架或双主轴双刀架的数控车床，M 型 CNC 系统用于数控铣床或加工中心，G 型 CNC 系统用于磨床，F 型是对话型 CNC 系统。

FS15 系列是 FANUC 公司较新的 32 位 CNC 系统，被称为 AI(人工智能)CNC 系统。该系列 CNC 系统是按功能模块结构构成的，可以根据不同的需要组合成最小至最大系统，控制轴数为 2 ~ 15 根，同时还有 PMC 的轴控制功能，可配置备有 7, 9, 11 和 13 个槽的控制单元母板，在控制单元母板上插入各种印制电路板，采用了通信专用微处理器和 RS422 接口，并有远距离缓冲功能。该系列 CNC 系统适用于大型机床、复合机床的多轴控制和多系统控制。

FS21/210 系列 CNC 系统是 FANUC 公司最新推出的系统。该系列的 CNC 系统适用于中小型数控机床。

(二) 德国 SIEMENS 公司的 SINUMERIK 系列数控系统

SINUMERIK 系列主要有 SINUMERIK3, SINUMERIK8, SINUMERIK810/820, SINUMERIK850/880 和 SINUMERIK840 等产品。

SINUMERIK8 系列生产于 20 世纪 70 年代末，主要用于钻床、镗床和加工中心等机床。

SINUMERIK810/820 系列的产品生产于 20 世纪 80 年代中期。SINUMERIK810 和 820 在体系结构和功能上相近。SINUMERIK 810D 系列产品生产于 1996 年。810D 数控系统是在

840D 数控系统的基础上开发的新 CNC 系统, 该系统配备了功能强大的软件。

SINUMERIK840D 系列生产于 1994 年, 是新设计的全数字化数控系统。具有高度模块化及规范化的结构, 它将 CNC 和驱动控制集成在一块板上, 将闭环控制的全部硬件和软件集成在 1 cm^2 的空间中, 便于操作、编程和监控。

近几年 SIEMENS 公司又推出了 SINUMERIK802 系列 CNC 系统。该系列 CNC 系统有 802S, 802C, 802D 等型号, 其中 802S 主要用于经济型车床。

(三) 华中数控系统 (HNC)

HNC 系统是我国武汉华中数控系统有限公司生产的数控系统。

1. 华中 I 型数控系统

华中 I 型数控系统的主要产品有 HNC-I M 铣床、加工中心数控系统, HNC-I T 车床数控系统, HNC-I Y 齿轮加工数控系统, HNC-I P 数字化仿形加工数控系统, HNC-I L 激光加工数控系统, HNC-I G 5 轴联动工具磨床数控系统, HNC-I FP 锻压、冲压加工数控系统, HNC-I ME 多功能小型铣床数控系统, HNC-I TE 多功能小型车床数控系统, HNC-I S 高速绗缝机数控系统等。

2. 华中 2000(HNC-2000) 型数控系统

HNC-2000 型数控系统是在 HNC-I 型数控系统的基础上开发的高档数控系统。该系统采用通用工业 PC 机、TFT 真彩色液晶显示器, 具有多轴多通道控制功能和内装式 PC, 可与多种伺服驱动单元配套使用。具有开放性好、结构紧凑、集成度高、可靠性好、性能价格比高、操作维护方便的优点。

HNC-2000 型数控系统已开发和派生的数控系统产品主要有 HNC-2000M 铣床、加工中心数控系统, HNC-2000T 车床数控系统, HNC-2000Y 齿轮加工数控系统, HNC-2000P 数字化仿形加工数控系统, HNC-2000L 激光加工数控系统, HNC-2000G 5 轴联动工具磨床数控系统等。

第三节 数控机床伺服系统

数控机床伺服系统是以机床移动部件的位置和速度为控制量的自动控制系统, 又称随动系统、拖动系统。在数控机床中, 数控系统所发出的控制指令, 是通过伺服系统驱动机械执行部件, 最终实现精确的进给运动。因此, 进给伺服系统也可看成是一种高精度的位置跟踪和定位系统, 它的性能决定了数控机床的许多性能。为了提高数控机床的性能, 对机床用进给伺服系统提出了很高的要求, 大致可概括为以下四个方面:

1. 精度高

为了保证零件加工质量和提高效率, 在位置控制中要求有高的定位精度, 如 $5\ \mu\text{m}$, $1\ \mu\text{m}$ 等; 而在速度控制中, 要求有高的调速精度、强的抗负载扰动的能力, 也即要求静态和动态速降

尽可能小。

2. 快速响应

为了提高生产率和保证加工质量,在启动、制动时,要求加、减加速度足够大,以缩短伺服系统的过渡时间,减小轮廓过渡误差。这就要求跟踪指令信号的响应要快,位置跟踪误差(位置跟踪精度)要小。

3. 调速范围宽

要求伺服系统必须具有足够宽的无级调速范围,通常要大于1:10 000,这是指在额定负载时电动机能提供的最高转速与最低转速之比。对于一般的数控机床而言,要求进给伺服系统能在0~24 m/min下都能正常工作。尤其是在低速情况下要求实现平稳进给,无爬行现象。

4. 低速大转矩

要求在低速时进给伺服系统有大的转矩输出。

一、伺服系统分类

早期的数控机床采用电液伺服驱动的较多,现代数控机床基本上都采用全电气伺服驱动系统,一般可分为步进伺服系统、直流伺服系统、交流伺服系统和直线伺服系统。

步进伺服是一种用脉冲信号进行控制,并将脉冲信号转换成相应的角位移的控制系统。其角位移与脉冲数成正比,转速与脉冲频率成正比,通过改变脉冲频率可调节电动机的转速。步进伺服结构简单,符合系统数字化发展需要,但精度差、能耗高、速度低,且其功率越大移动速度越低。特别是步进伺服易失步,使其主要用于速度与精度要求不高的经济型数控机床及旧设备改造。

20世纪70—80年代,直流伺服系统在数控机床领域占据了主导地位。直流伺服可方便地进行转矩与转速控制,控制简单,调速性能优异。但是,直流伺服电动机使用机械换向装置,造成其成本高,故障多,维护困难,并对其他设备产生电磁干扰。

进入20世纪80年代后,随着矢量控制方法的实用化,使交流伺服系统具有良好的伺服特性。其宽的调速范围、高的稳速精度、快速动态响应及四象限运行等良好的技术性能,使其动、静态特性已完全可与直流伺服系统相媲美。

自1993年起,在机床进给上开始应用直线电机直接驱动,它是高速高精加工机床,特别是其中的大型机床更理想的驱动方式。直线伺服系统与传统的旋转传动方式相比,最大特点是取消了电动机到工作台面的一切机械中间传动环节,即把机床进给传动链的长度缩短为零。这种“零传动”方式,带来了旋转驱动方式无法达到的性能指标,如加速度可达3g以上,为传统驱动装置的10~20倍,进给速度是传统的4~5倍。直线伺服是高速高精数控机床的理想驱动模式,受到机床厂家的重视,技术发展迅速。

二、伺服电动机

在数控系统中,伺服电动机是一个执行元件,它的作用是把信号(控制电压或相位)变换成机械位移,也就是把接收到的电信号变为电机的一定转速或角位移。伺服系统中常用的驱动电动机有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机和直线电动机。

(一) 步进电动机

步进电动机是一种将输入的脉冲转换成相应的角位移的执行元件, 又称为脉冲电动机。和一般电动机通电后连续旋转不同, 每输入一个脉冲, 电动机转动一个固定的角度, 这个角度称为步进电动机的步距角。这个角度通过传动系统, 又对应于机床工作台的一个位移, 该位移值称为脉冲当量。从理论上说, 步进电动机的输出角位移和输入脉冲个数成正比, 转速和脉冲频率成正比。因此, 通过控制输入脉冲的数量、频率和电动机各相绕组的通电顺序, 就可以得到所需的运动特性。步进电动机种类繁多, 按产生力矩的原理, 可以将步进电动机分成反应式和永磁反应式(也称混合式)两类。数控机床上常用三相至六相反应式步进电动机。

步进电机有两种通电控制方式: 单拍或双拍控制(m 相 m 拍)、单双拍混合控制(m 相 $2m$ 拍)。以三相步进电机为例, 对应的通电方式分别是三相三拍和三相六拍两种。其中三相三拍又分为三相单三拍和三相双三拍。在不同的通电方式下, 步进电机的步距角可以用下式计算:

$$\alpha = \frac{360^\circ}{kmz}$$

式中, 在单拍或双拍控制时 $k=1$, 单双拍混合控制时 $k=2$; m 是步进电机定子的相数; z 是步进电机转子的齿数。

(二) 直流伺服电动机

直流伺服电动机的基本结构与普通他励直流电动机一样, 所不同的是直流伺服电动机的电枢电流很小, 换向并不困难, 因此不用装换向磁极。数控机床常用的直流伺服电机主要有小惯量直流伺服电动机、大惯量宽调速直流伺服电动机和无刷直流伺服电动机。

直流伺服电动机有三种方法可以调速:

①改变电动机电枢控制电压, 此方法可得到调速范围较宽的恒转矩特性, 适合于进给驱动及主轴驱动的低速段。

②改变磁通量, 即改变励磁回路电流, 此方法可以得到恒功率特性。

③改变电枢电路的电阻。此方法得到的机械特性较软, 因此, 在数控机床中较少使用。实际中较多地采用第一种调速方法。

(三) 交流伺服电动机

交流伺服电动机的工作原理和结构与异步电动机相似, 它的定子铁芯也是由冲有槽和齿的硅钢片叠压而成的。转子的结构有笼形转子和空心杯形转子两种。

交流伺服电动机也有三种转速控制方式:

①幅值控制。控制电流与励磁电流的相位差保持 90° 不变, 改变控制电压的大小。

②相位控制。控制电压与励磁电压的大小, 保持额定值不变, 改变控制电压的相位。

③幅值—相位控制。同时改变控制电压幅值和相位。交流伺服电动机转轴的转向随控制电压相位的反相而改变。

不同类型的交流伺服电动机具有不同的特点。笼形转子交流伺服电动机具有励磁电流较小、体积较小、机械强度高特点; 但是低速运行不够平稳, 有抖动现象。空心杯形转子交流伺服电动机具有结构简单、维护方便、转动惯量小、运行平滑、噪声小、没有无线电干扰、

无抖动现象等优点；但是励磁电流较大，体积也较大，转子易变形。

(四) 直线电动机

直线电动机是直接产生直线运动的电动机。它可以看成是由旋转电机演化而来的。直线电动机的结构如图 1-16 所示，定子由磁钢和导磁铁芯构成，转子是一个空芯线圈。

与旋转电机相对应，直线电动机按机种分类可分为直线感应电动机、直线同步电动机、直线直流电动机和其他直线电动机（如直线步进电动机等）。其中直线感应电动机应用最广泛。

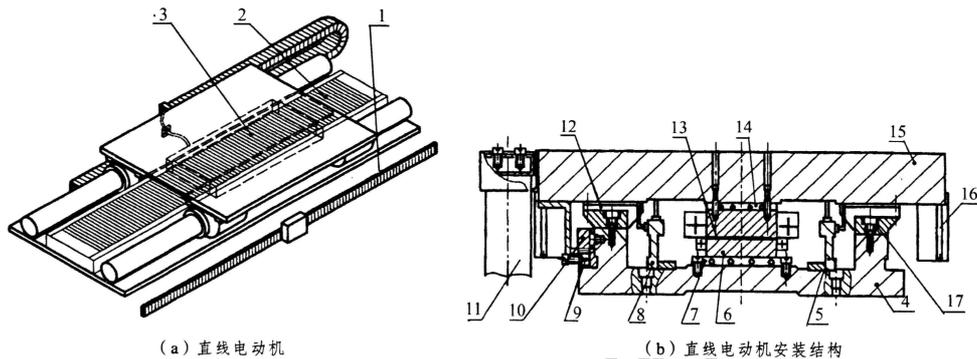


图 1-16 直线电动机及结构

1—位置检测器；2—转子；3—定子；4—床身；5、8—辅助导轨；7、14—冷却板；
6、13—次级；9、10—测量系统；11—托链；12、17—导轨；15—工作台；16—防护

直线电动机具有以下优点：

- ①结构简单，反应速度快，灵敏度高，随动性好。
- ②容易密封，不怕污染，适应性强。由于直线电机本身结构简单，又可做到无接触运行，因此容易密封。
- ③工作稳定可靠，寿命长。
- ④有精密定位和自锁的能力。通过和控制系统相配合，可做到 0.001 nm 的位移精度和自锁能力。

三、位置检测装置

(一) 位置检测装置的分类和要求

在闭环、半闭环控制系统中，位置检测装置的主要作用是检测位移和速度，并发出反馈信号，构成闭环或半闭环控制。位置检测装置按工作条件和测量要求不同，有下面几种分类方法：

1. 直接测量和间接测量

直接测量是将直线型检测装置安装在移动部件上，用来直接测量工作台的直线位移，作为全闭环伺服系统的位置反馈信号，而构成位置闭环控制。其优点是准确性高、可靠性好，缺点是测量装置要和工作台行程等长，因此在大型数控机床上的应用受到一定限制。

间接测量是将旋转型检测装置安装在驱动电机轴或滚珠丝杠上，通过检测转动件的角位

移来间接测量机床工作台的直线位移,作为半闭环伺服系统的位置反应用。其优点是测量方便、无长度限制。缺点是测量信号中增加了由回转运动转变为直线运动的传动链误差,从而影响了测量精度。

2. 数字式测量和模拟式测量

数字式测量是将被测的量以数字形式来表示,测量信号一般为脉冲,可以直接把它送到数控装置进行比较、处理。信号抗干扰能力强、处理简单。模拟量测量是将被测的量用连续变量来表示,如电压变化、相位变化等。它对信号处理的方法相对来说比较复杂。

3. 增量式测量和绝对式测量

增量式测量只测相对位移量,如测量单位为 0.001 mm,则每移动 0.001 mm 就发出一个脉冲信号,其优点是测量装置较简单。绝对式测量对于被测量的任意一点位置均由固定的零点标起,每一个被测点都有一个相应的测量值,测量装置的结构较增量式复杂。

(二) 光电编码器

光电编码器也叫脉冲编码器,是一种通过光电转换将输出轴上的机械几何位移量转换成脉冲或数字量的传感器。这是目前在机床上应用最多的位置检测装置。根据它产生脉冲方式的不同,可分为增量式、绝对式以及混合式三种。

图 1-17 是一种光电式增量编码器的结构示意图。光电式增量编码器主要由光源、光电盘、光阑板、光电元件和信号处理电路组成。

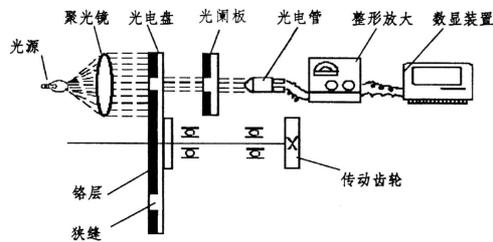


图 1-17 光电式增量编码器结构

其中,光电盘是在一块玻璃圆盘上用真空镀膜的方法镀上一层不透光的金属薄膜,再涂上一层均匀的感光材料,然后用精密照相腐蚀工艺,制成沿圆周等距分布的透光和不透光相间的条纹,两条纹间距称为节距。在光电盘里圈的不透光圆环上还刻有一条透光条纹 Z,每转产生一个零位脉冲信号。

光阑板固定在底座上,与光电盘间隔一个小距离,其上刻有 A, B 两组条纹,每组条纹节距和光电盘相同,但 A 组和 B 组条纹互相错开 1/4 节距,于是两组条纹对应的电信号相位彼此错开 90°,当电机正转时 A 信号超前 B 信号 90°,电机反转时 B 信号超前 A 信号 90°,这点可以用来分辨电动机转动的方向。

工作时,光电盘随被测轴一同回转,投射到光电元件上的光线将产生明暗交替的变化,相应的输出信号也将产生强弱交替的变化,经放大、整形等处理最终形成输出的方波信号,光电编码器正是利用这个方波数来计算电机的转角的。

上述编码器的测量精度取决于光电盘一圈的条纹数，条纹数越多，测量精度越高。在数控系统中，为了提高光电编码器的测量精度，常常对输出方波信号进行倍频处理。例如，配置了 2 000 脉冲 / 转的光电编码器的伺服电机直接驱动 8 mm 丝杠，则经过四倍频处理后，相当于 8 000 脉冲 / 转的角度分辨率，对应工作台的直线分辨率也由倍频前的 0.004 mm 提高到 0.001 mm。

(三) 光栅尺

光栅有物理光栅和计量光栅之分。物理光栅主要是利用光的衍射现象，应用于光谱分析和光波测定等方面；计量光栅主要应用于位移的精密测量和控制中。数控机床使用的光栅属于计量光栅，用于直接测量工作台的移动。

光栅检测装置主要由光源、透镜、标尺光栅、指示光栅、光敏元件和驱动电路组成，如图 1-18 所示。其中标尺光栅又称长光栅或主光栅，常安装在机床的移动部件上；指示光栅又称短光栅，安装在机床的固定部件上。两光栅平行安装，之间保持 0.05 mm 或 0.1 mm 的间隙。两光栅上的刻线均匀且等距等宽，栅距为 0.004 ~ 0.25 mm。经过电路细分可达到微米级分辨率。

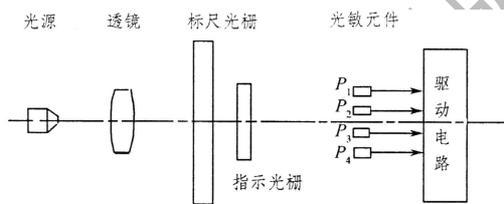


图 1-18 光栅位置检测装置

若标尺光栅和指示光栅平行安装后，指示光栅在其自身平面内相对于标尺光栅倾斜一个很小的角度 θ ，两块光栅的刻线就会相交。在光源的照射下，由于光的衍射或遮光效应，在与两光栅线纹 θ 的平分线相垂直的方向上会出现明暗交替、间隔相等的与光栅刻线几乎垂直的横向粗短条纹，称之为莫尔条纹。莫尔条纹中两条亮纹或暗纹之间的距离称为莫尔条纹的纹距 W ，如图 1-19 所示。

当两光栅的夹角 θ 很小时，莫尔条纹的节距 W 和光栅的栅距 P 之间有如下关系：

$$W = \frac{P}{\sin \theta} \approx \frac{P}{\theta}$$

由上式可知，由于 θ 非常小，所以莫尔条纹的节距 W 比光栅栅距 P 大很多倍。如果栅距 $P=0.01$ mm， $\theta=0.01$ rad，则 $W=1$ mm，即一个 0.01 mm 栅距的移动，转换为 1 mm 宽的莫尔条纹的移动，放大了 100 倍。

光栅对位移方向的确定靠的是 4 个光敏元件 P_1 ， P_2 ， P_3 ， P_4 的检测信号相位差，如图 1-18 所示。光敏元件 P_1 ， P_2 ， P_3 ， P_4 在空间依次错开 1/4 个栅距，所以在各自检测的信号相位上相差 90° 。依据 4 个光敏元件检测信号的相位领先顺序，可得出光栅的移动方向，这点和光电编码器判断电动机转动方向的原理类似。

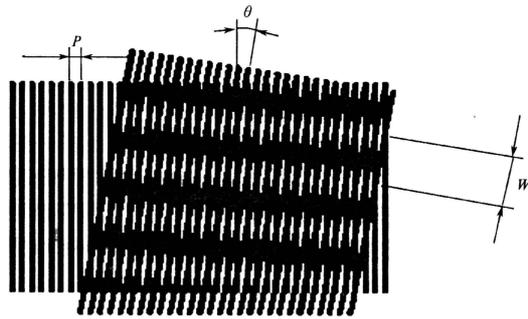


图 1-19 莫尔条纹形成原理

(四) 感应同步器

感应同步器可以测量角位移或直线位移，用于全闭环伺服系统。

感应同步器的特点：①感应同步器有许多极，其输出电压是许多极感应电压的平均值，因此检测装置本身微小的制造误差由于取平均值而得到补偿，其测量精度较高；②测量距离长，感应同步器可以采用拼接的方法，增大测量尺寸；③对环境的适应性较强，抗油、水和灰尘的能力较强；④结构简单，使用寿命长且维护简单。

感应同步器是由旋转变压器演变而来的，相当于一个展开的旋转变压器，分为直线式和旋转式两种。直线式感应同步器由定尺和滑尺两部分组成，如图 1-20 所示。

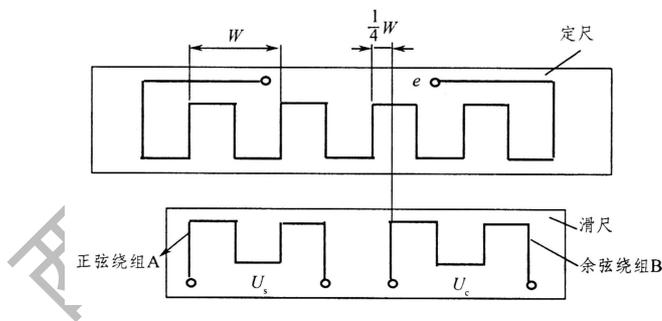


图 1-20 感应同步器的定尺和滑尺

定尺上制有单向均匀连续感应绕组，尺长一般为 250 mm，定尺固定在床身上。

滑尺上有两组励磁绕组，一组是正弦绕组，另一组是余弦绕组，两绕组节距与定尺绕组节距相同，并且相互错开 $1/4$ 节距。当正弦绕组和定尺绕组对准，余弦绕组和定尺绕组相差 $1/4 W$ 的距离（即 $1/4$ 节距），这样两励磁绕组的相位差为 90° 。滑尺安装在机床的移动部件上。

当给滑尺的正弦、余弦绕组加上交流励磁电压时，绕组周围产生交变的磁场。由于电磁感应的原理，在定尺绕组上产生感应电压。当滑尺与定尺之间产生相对位移时，定尺绕组上的感应电压随滑尺的位移变化而变化。

图 1-21 表示了定尺绕组感应电压与定尺、滑尺之间相对位置的关系。

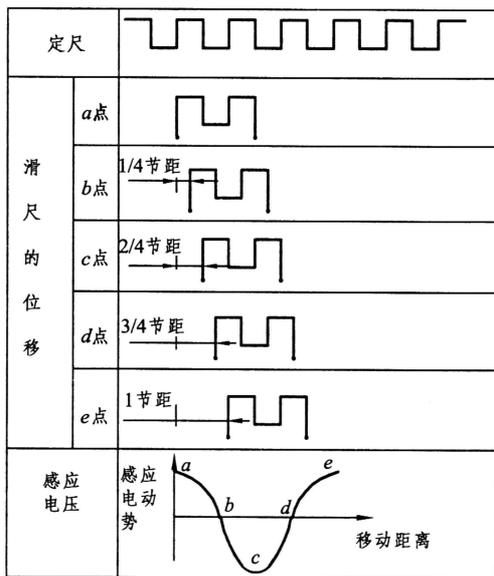


图 1-21 定尺感应电动势和滑尺位置的关系

如果滑尺处于 a 点位置，即滑尺绕组与定尺绕组完全重合，定尺绕组中穿入的磁通最多，此时为最大耦合，则定尺绕组上感应电压为最大。随着滑尺相对定尺向右作平行移动，穿入定尺绕组中的磁通逐渐减少，感应电压慢慢减小；当滑尺相对定尺刚好右移 $1/4$ 节距时（即表中 b 点），定尺绕组中穿入穿出的磁通相等，则感应电压为 0；当滑尺继续向右移动至 $1/2$ 节距位置（即表中 c 点），定尺绕组中穿出的磁通最多，而穿入的磁通为零，此时定尺绕组中的感应电压达到与 a 点位置极性相反的最大感应电压，即最大负值电压。滑尺再右移至 $3/4$ 节距位置时（即表中 d 点），感应电压又变为 0。当滑尺移动至一个节距时（即表中 e 点），又恢复为初始状态（即与 a 点位置完全相同），此时定尺绕组上感应电压为最大。这样，滑尺在移动一个节距的过程中，定尺绕组感应电压的幅值变化规律就是一个周期性的余弦曲线。

四、可编程序控制器 PLC

数控机床控制系统除了对机床主轴和进给轴进行数字控制，确保主运动、进给运动和刀具工件之间的相对运动的精确实现以外，还应该控制下述辅助运动。

- ① 主轴的启动、停止和转动方向变化。
- ② 刀库的换刀动作。
- ③ 液压、冷却、润滑系统的工作。
- ④ 工件的自动装夹。
- ⑤ 行程保护、极限位置保护、过载保护等安全保护系统的工作。

早期采用以继电器为主的硬件逻辑控制可编程序控制器电路来完成上述辅助工作，电路复杂，柔性低，可靠性差。这种控制系统不能满足现代数控机床控制对象多、各运动逻辑关系复杂，工作可靠性高的技术要求。可编程序控制器 PLC 被广泛用来完成机床辅助运动、辅助性工作的控制。

数控机床用可编程序控制器有两大类，一类为内装式可编程序控制器，PLC 在数控装置内，可编程序控制器与数控装置公用一个 CPU，这种类型的可编程序控制器功能有限；另一类为独立式可编程序控制器，带有专用的 CPU，输入/输出点数多，接口规范，程序存储容量大，运算和控制功能强，信息处理速度快，是目前应用较多的可编程序控制器。

可编程序控制器的硬件构成如图 1-22 所示，主要由中央处理单元 CPU、存储器、输入/输出模块和供电电源等组成。CPU 是可编程序控制器的核心部分。编程器用来输入、调试、监视、修改和编辑用户程序，并将编辑好的程序固化在 EPROM 或 ROM 中。编程器还可以通过通信接口访问 CPU，用键盘输入的方式去调用或显示可编程序控制器内部状态或参数。

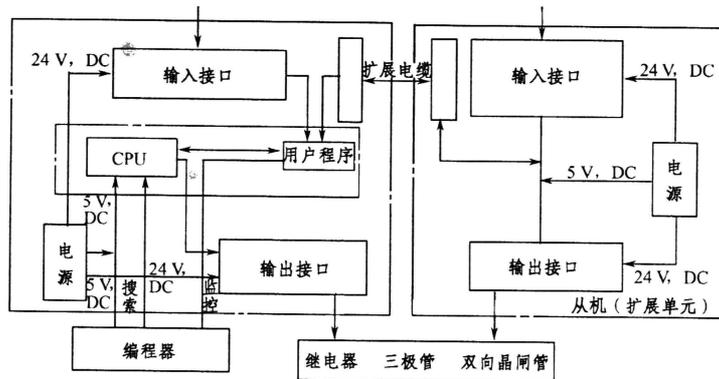


图 1-22 可编程序控制器结构

可编程序控制器的软件由系统程序软件 and 用户程序软件组成。

系统程序软件控制可编程序控制器的整个循环过程：接收和存储编程器送来的用户程序和相关数据；用循环扫描方式接收现场输入装置的状态和数据；顺序逐条读取用户程序，经过解释、编译后产生相应的控制信号；用循环扫描的方式输出信号，控制外部设备；诊断可编程序控制器内部电路工作状态和编程过程中的语法错误，等等。

用户程序软件是面向现场控制要求，为解决实际问题而编写的控制软件。其执行过程也是循环扫描执行方式，即输入采样、程序执行和输出刷新过程。

第四节 典型数控机床

一、数控车床

(一) 数控车床的应用及分类

数控车床主要用于加工各种回转表面和回转体的端面，如车削内外圆柱面、圆锥面、环槽及成形回转表面，车削端面及各种常用的螺纹，钻孔、扩孔、铰孔、滚花等，配上特殊工

艺装备还可加工各种特殊形面。它是目前国内使用极为广泛的一种数控机床，约占数控机床总数的25%。

普通车床主轴的运动经过挂轮架、进给箱、溜板箱传到刀架，实现纵向和横向进给运动。而数控车床普遍采用伺服电动机经滚珠丝杠螺母副、传动滑板和刀架，实现纵向(Z向)和横向(X向)进给运动，使数控车床传动系统的结构大为简化。

数控车床品种繁多，规格不一，可按如下方法进行分类：

①按车床主轴的位置可分为立式数控车床和卧式数控车床。立式数控车床简称数控立车，其车床主轴垂直于水平面，有一个直径很大的圆形工作台，用来装夹工件。卧式数控车床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床，其倾斜导轨结构可以使车床具有更大的刚性，并易于排除切屑。

②按功能可分为经济型数控车床、普通数控车床和车削加工中心。经济型数控车床是采用步进电动机和单片机对普通车床的进给系统进行改造后形成的简易型数控车床，成本较低，自动化程度和功能都比较差，加工精度也不高，适用于要求不高的回转类零件的车削加工。普通数控车床是根据车削加工要求在结构上进行专门设计并配备通用数控系统而形成的数控车床，数控系统功能较强，自动化程度和加工精度也比较高，适用于一般回转类零件的车削加工。这种数控车床可同时控制两个坐标轴，即X轴和Z轴。

车削加工中心在普通数控车床的基础上，增加了C轴和动力头。更高级的数控车床带有刀库，可控制X、Z和C三个坐标轴，联动控制轴可以是(X、Z)、(X、C)或(Z、C)。C轴和铣削动力头使这种数控车床的加工功能大大增强，除可以进行一般车削外，还可以进行径向和轴向铣削、曲面铣削、中心线不在零件回转中心的孔和径向孔的钻削等加工。

(二) 数控车床的组成及布局

1. 数控车床的组成

图1-23所示为一种全功能型数控车床的外观图，图1-24所示为该数控车床的传动系统图。

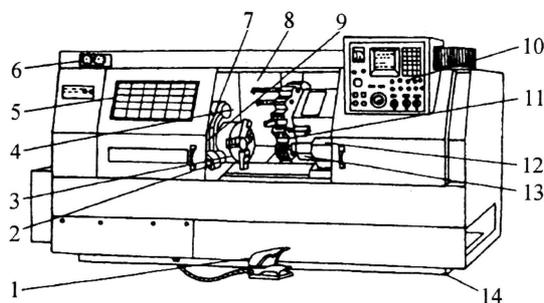


图 1-23 数控车床的组成

1—脚踏开关；2—对刀仪；3—液压卡盘；4—主轴箱；5—防护门；6—压力表；

7—对刀仪防护罩；8—防护罩；9—对刀仪转臂；10—操作面板；11—回转刀架；12—尾座

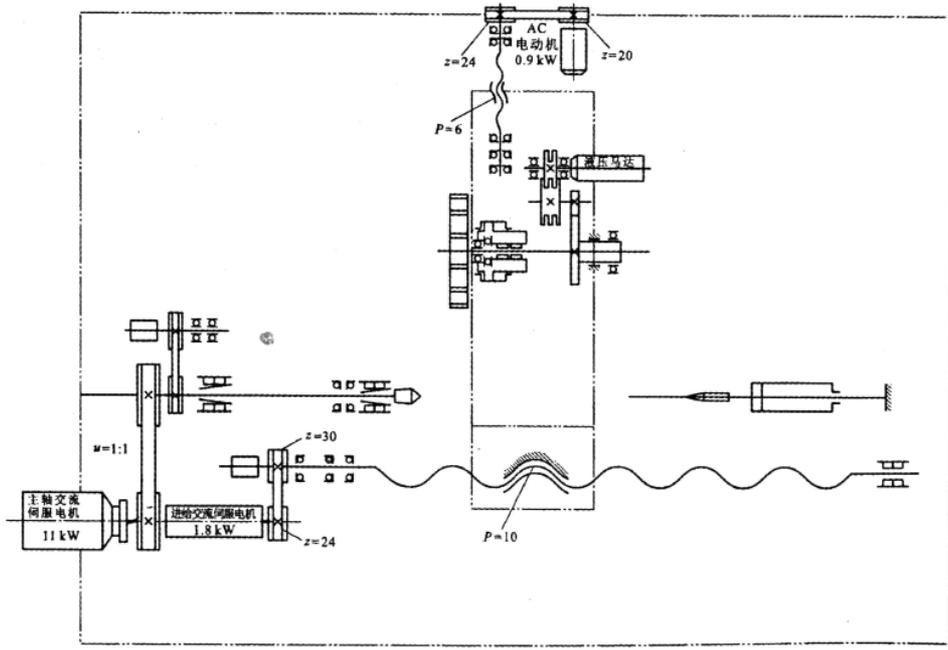


图 1-24 数控车床的传动系统

数控车床一般由以下几个部分组成：

- ①机床主体。它是数控车床的机械部件，包括床身、主轴、刀架尾座、进给机构等。
- ②数控装置。它是数控车床的控制核心。
- ③伺服驱动系统。它是数控车床切削工作的动力部分，主要实现主运动和进给运动，由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成。数控车床的进给系统直接用伺服电机通过滚珠丝杠驱动溜板和刀架，实现进给运动，因而进给系统的结构大为简化。
- ④辅助装置。辅助装置是指数控车床的一些配套部件，包括液压、气压装置及冷却系统、润滑系统和排屑装置等。

2. 数控车床的布局

数控车床的布局形式与普通车床基本一致，但一些功能完善、使用性能优异的数控机床，其刀架和导轨的布局形式发生了根本的变化。图 1-25 所示为数控车床床身导轨的几种布置形式。

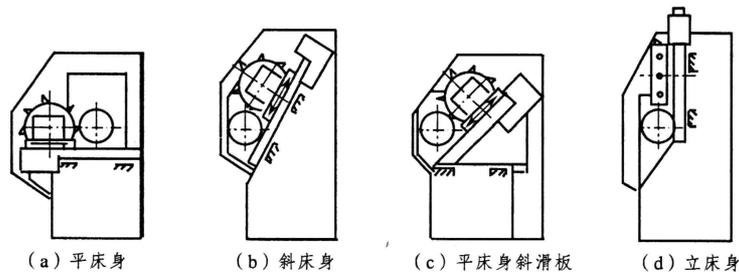


图 1-25 数控车床床身导轨布置形式

刀架是数控车床的重要部件之一，它对机床整体布局及工作性能影响很大。常用刀架有排式刀架和回转式刀架（见图 1-26 和图 1-27）。

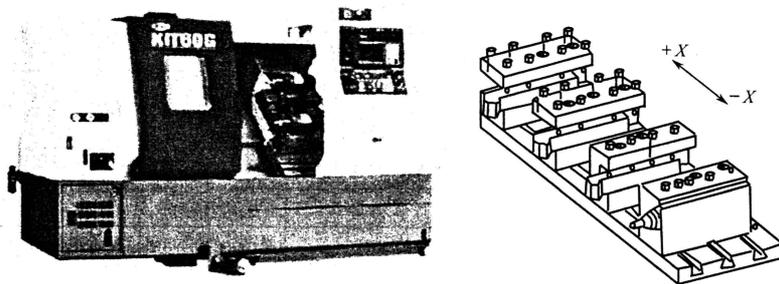


图 1-26 排式刀架



图 1-27 卧式回转刀架

排式刀架一般用于小规格数控车床，以加工棒料或盘类零件为主。

回转刀架是数控车床最常用的一种典型换刀刀架，通过刀架的旋转分度定位来实现机床的自动换刀动作，根据加工要求可设计成四方、六方刀架或圆盘式刀架，并相应地安装 4 把、6 把或更多的刀架。回转刀架的换刀动作可分为刀架抬起、刀架转位和刀架锁紧等几个步骤，它的动作是由数控系统发出指令完成的。回转刀架的刀架回转轴与主轴轴线的相对位置可以平行，也可以垂直。

（三）数控车床的主要技术参数

数控车床的主要技术参数包括最大回转直径、最大车削长度、各坐标轴行程、主轴转速范围、切削进给速度范围、定位精度、刀架定位精度等，其具体内容及作用详见表 1-2。

表 1-2 数控车床主要技术参数

类别	主要内容	作用
尺寸参数	X, Z 轴最大行程	影响加工工件的尺寸范围（质量）、编程范围及刀具、工件、机床之间干涉
	卡盘尺寸	
	最大回转直径	
	最大车削直径	
	尾座套筒移动距离	
	最大车削长度	

接口参数	刀位数, 刀具装夹尺寸	影响工件及刀具安装
	主轴头形式	
	主轴孔及尾座孔锥度、直径	
运动参数	主轴转速范围	影响加工性能及编程参数
	刀架快进速度、切削进给速度范围	
动力参数	主轴电机功率	影响切削负荷
	伺服电机额定转矩	
精度参数	定位精度、重复定位精度	影响加工精度及其一致性
	刀架定位精度、重复定位精度	
其他参数	外形尺寸(长×宽×高)、重量	影响使用环境

(四) 数控卧式车床的主要结构

数控卧式车床的主要部件为主传动系统、进给传动系统和滚珠丝杠副机构。

1. 主传动系统

为适应单件、中小批量的零件加工, 选用出经济合理的切削用量, 数控机床的主传动应该具有较宽的调速范围。经济型数控车床采用机械变速或分段无级变速主传动系统; 全功能型数控车床一般采用交流主轴电动机或直流主轴电动机无级调速系统。为扩大调速范围、适应低速大转矩要求, 有些数控车床也采用齿轮有级调速与电动机无级调速相结合的方式。

常见的数控机床主传动系统有 4 种配置方式, 如图 1-28 所示。

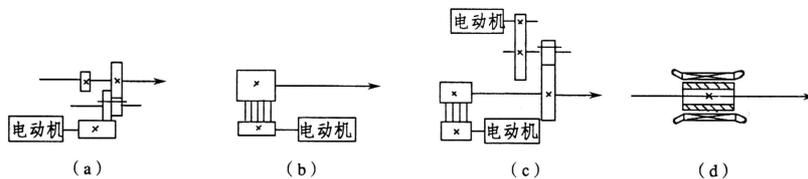


图 1-28 数控车床主传动系统的 4 种配置

数控车床的主传动系统由于采用了电气控制, 因而比普通车床的主传动系统结构简单。

图 1-29 为 CK6136 数控卧式车床主轴箱展开图。主轴电动机采用直流电动机无级变速; 主轴电动机的运动通过同步齿型带传给花键轴, 花键轴再通过液压拨叉控制的双联滑移齿轮将运动传递给主轴。主轴变速范围为 35 ~ 4 000 r/min。

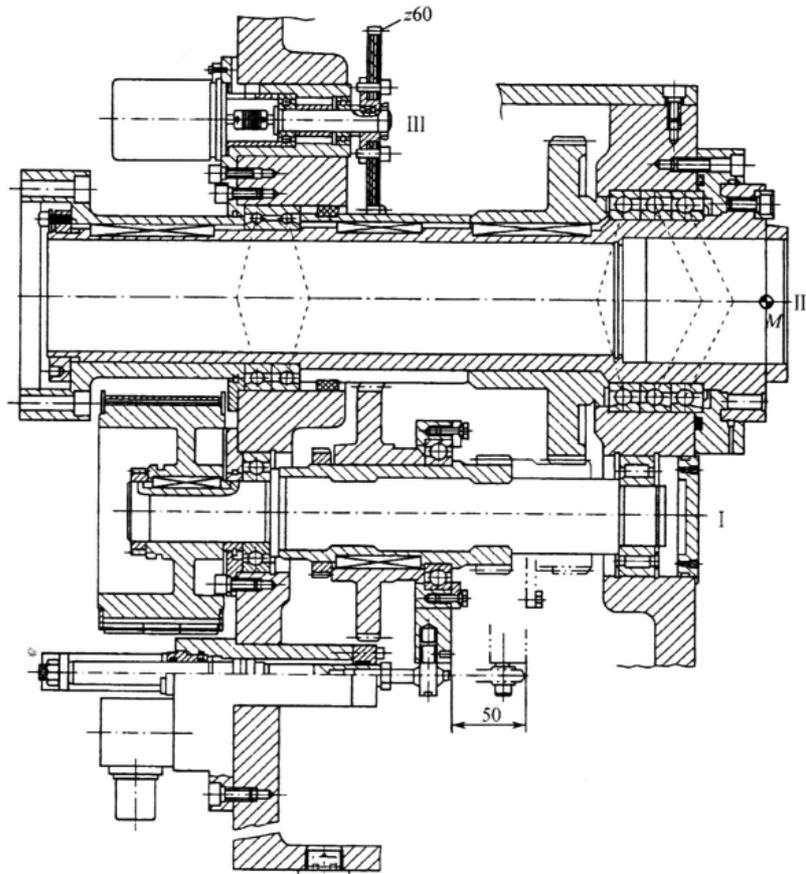


图 1-29 CK6136 数控机床的主轴箱展开图

2. 进给传动系统

CK6136 数控车床进给传动系统由横向滑板和纵向滑板两个部分组成。

纵向滑板 (见图 1-30) 装在床身导轨上, 可以沿着导轨作纵向移动。导轨的截面形状为三角形导轨和平面导轨的组合, 动导轨表面一般作贴塑处理。

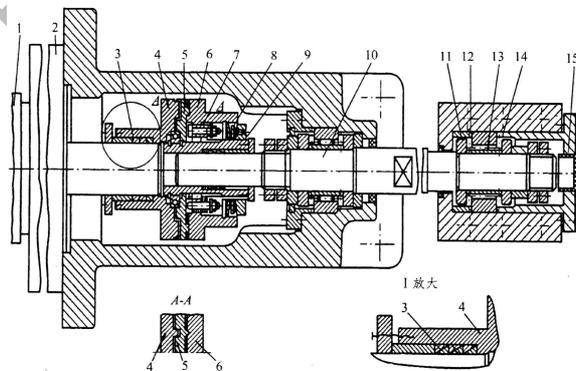


图 1-30 纵向滑板的传动系统

- 1—旋转变压器和测速发电机; 2—直流伺服电机; 3—锥环; 4、6—半联轴器; 5—滑块; 7—钢片;
8—蝶形弹簧; 9—轴套; 10—滚珠丝杠; 11—垫圈; 12、13、14—滚针轴承; 15—堵头

纵向直流或交流伺服电动机经同步齿型带传动或安全联轴器直接驱动滚珠丝杠螺母副，传动纵向滑板。在直流或交流伺服电动机的尾部同轴安装旋转变压器或测速发电机，进行位置反馈和速度反馈，实现半闭环伺服控制。

横向滑板通过矩形导轨安装在纵向滑板的上面，横向滑板上安装电动多工位刀架，实现横向进给运动。横向滑板的传动与纵向滑板的传动系统相似，也是由单独的直流或交流伺服电动机直接驱动滚珠丝杠螺母副，最终传动横向滑板的。

横向滑板的传动系统如图 1-31 所示。

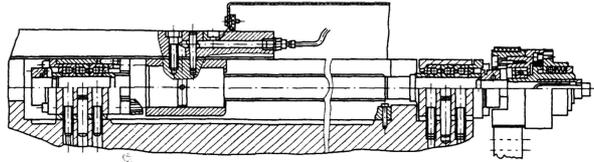


图 1-31 横向滑板的传动系统

3. 滚珠丝杠螺母副

滚珠丝杠螺母副在丝杠和丝杠螺母之间用钢球滚动体将滑移变成了滚动，是一种新型传动机构。它能够将伺服电动机的转动转换为滑板的直线运动，也能将滑板的直线运动转换为丝杠的直线运动。与传统的滑移丝杠副相比，它具有摩擦因数小、传动效率高、不会低速爬行、传动精度高等优点，在数控机床进给传动系统中得到广泛应用。

滚珠丝杠螺母副由滚珠、丝杠、螺母和反向器组成，如图 1-32 所示。当伺服电动机带动丝杠转动时，滚珠被迫沿螺旋形滚道滚动，并驱使螺母作直线移动。滚珠在螺旋形滚道的端部被反向器推入回珠滚道，形成滚珠流动的闭环通道。

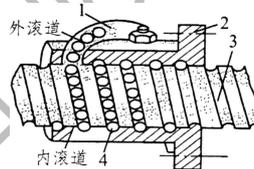


图 1-32 滚珠丝杠螺母副

1—反向器；2—螺母；3—丝杠；4—滚珠

滚珠循环方式分为外循环和内循环两种。图 1-33 所示为外循环的两种结构：如图 1-33(a) 所示，在螺母的外圆柱面上铣出螺旋槽，并在端部装上挡珠器。挡珠器的舌部切入滚道，强迫滚珠流入螺旋槽而完成滚珠的循环。图 1-33(b) 所示为插管式外循环，弯管的两端分别插入螺纹滚道的两个孔中，弯管的端部切入丝杠滚道，引导滚珠进入弯管，实现滚珠的循环。

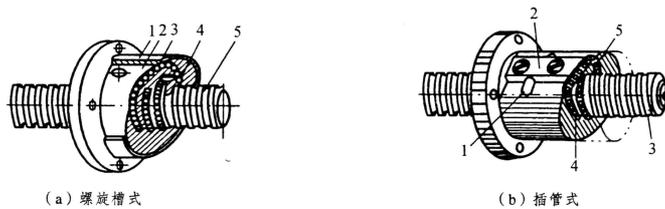


图 1-33 滚珠丝杠副外循环

(a) 1—套筒；2—螺母；3—滚珠；4—挡珠器；5—丝杠

(b) 1—弯管；2—压板；3—丝杠；4—滚珠；5—滚道

图 1-34 所示为内循环结构，在螺母圆柱体中，接通相邻滚道的反向器，迫使滚珠翻越丝杠的齿顶而进入相邻滚道完成循环。

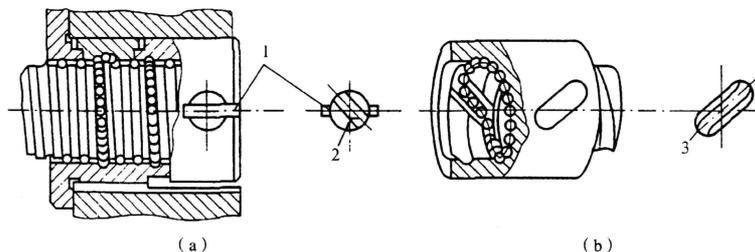


图 1-34 滚珠丝杠螺母副内循环

1—凸键；2、3—反向键

二、数控铣床

(一) 数控铣床的应用及分类

数控铣床是一种用途广泛的数控机床，不仅能够进行外形轮廓铣削、各种平面或曲面型铣削及三维复杂型面的铣削，若再添加数控回转工作台等附件（此时变为 4 坐标），则应用范围将更广，还可用于加工螺旋桨、叶片等空间曲面零件。数控铣床特别适用于各种凸轮、模具、板类和箱体类零件的加工。

数控铣床按通用铣床的分类方法分类，可分为以下几类：

1. 数控立式铣床

数控立式铣床主要用于水平面内的型面、沟槽加工，添加数控分度头后，还可以加工圆柱表面上的螺旋沟槽，其应用范围最广。从机床数控系统控制的坐标数量来看，目前 3 坐标数控立铣仍占大多数；一般可进行 3 坐标联动加工，但也有部分机床只能进行 3 个坐标中的任意 2 个坐标联动加工（常称为 2.5 轴加工）。此外，还有机床主轴可以绕坐标轴中 X 、 Y 、 Z 的其中一个或两个轴作数控摆角运动的 4 坐标和 5 坐标数控立铣。

2. 数控卧式铣床

数控卧式铣床主轴轴线平行于水平面，主要用于垂直平面内的各种型面加工。为了扩大加工范围和扩充功能，卧式数控铣床通常采用增加数控转盘或万能数控转盘来实现 4、5 坐标控制，因此，不但工件侧面上的连续回转轮廓可以加工出来，而且可以实现一次安装中，通过转盘改变工位，进行“多面加工”。

3. 立卧两用数控铣床

立卧两用数控铣床既可以进行立式加工，又可以调整机床后进行卧式加工，一机两用，扩大了机床使用范围，增强了功能，特别适用于中小型企业。

4. 数控龙门铣床

这类数控铣床主轴可以在龙门架的横向与纵向溜板上运动，而龙门架则沿床身作纵向运动。大型数控铣床，因要考虑到扩大行程、缩小占地面积及刚性等技术上的问题，往往采用龙门架移动式。

(二) 数控铣床的组成

如图 1-35 所示, 数控铣床一般包括数控系统、主传动系统、进给伺服系统和冷却润滑系统等几大部分。

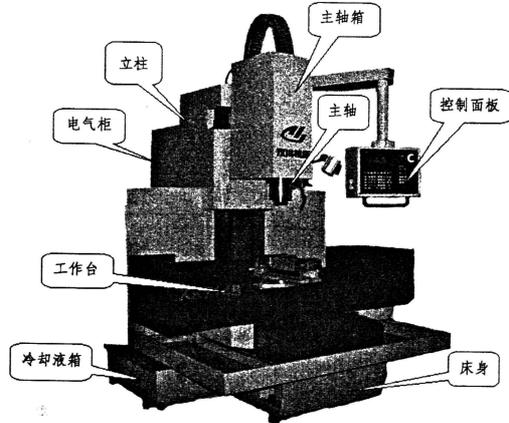


图 1-35 数控铣床的组成

主轴箱: 包括主轴箱体和主轴传动系统, 用于装夹刀具并带动刀具旋转, 主轴转速范围和输出扭矩对加工有直接的影响。

进给伺服系统: 由进给电机和进给执行机构组成, 按照程序设定的进给速度实现刀具和工件之间的相对运动, 包括直线进给运动和旋转运动。

控制系统: 数控铣床运动控制的中心, 执行数控加工程序控制机床进行加工。

辅助装置: 如液压、气动、润滑、冷却系统和排屑、防护等装置。

机床基础件: 通常是指底座、立柱、横梁等, 它是整个机床的基础和框架。

数控铣床传动系统有各种各样的设计。图 1-36 所示为 XKA5750 立卧两用数控铣床的传动系统图。主运动由装在滑枕后部的交流主轴伺服电动机驱动。电动机的运动经弧齿同步齿形带轮传递给水平轴, 再经过万能铣头的两对弧齿锥齿轮副将运动传递给主轴。

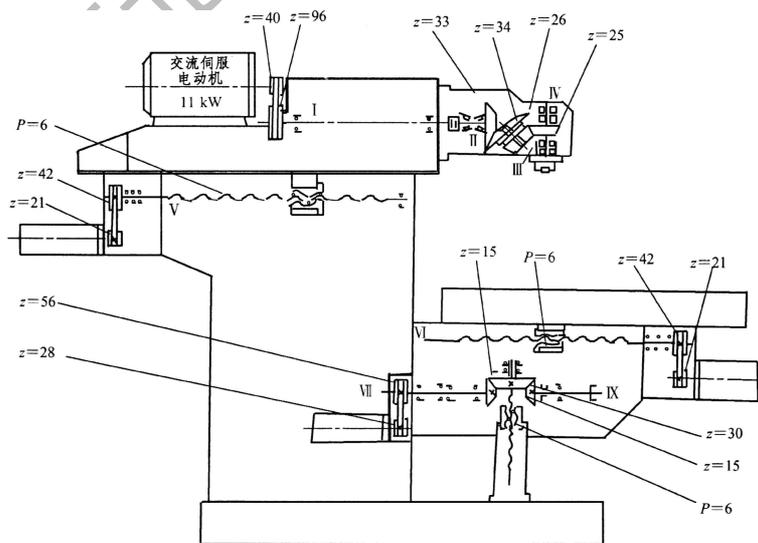


图 1-36 XKA5750 立卧两用数控铣床的传动系统图

工作台的纵向进给运动(X 方向)和滑枕的横向进给运动(Y 方向),均由交流伺服电动机经过一对圆弧同步齿形带传动滚珠丝杠来实现。工作台的垂直进给运动(Z 方向)也是由单独的交流伺服电动机经过圆弧同步齿形带传动、弧齿锥齿轮副传动,最后驱动垂直滚珠丝杠副来实现的。

(三) 数控铣床的主要技术参数

数控铣床的主要技术参数包括工作台面积、各坐标轴行程、主轴转速范围、切削进给速度范围、定位精度、重复定位精度等,其具体内容及作用详见表 1-3。

表 1-3 数控铣床的主要技术参数

类别	主要内容	作用
尺寸参数	工作台面积(长×宽)、承重	影响加工工件的尺寸范围(质量)、
	各坐标最大行程	编程范围及刀具、工件、机床
	主轴套筒移动距离	之间干涉
	主轴端面到工作台距离	
接口参数	工作台 T 形槽数、槽宽、槽间距	影响工件及刀具安装
	主轴孔锥度、直径	
运动参数	主轴转速范围	影响加工性能及编程参数
	工作台快速速度、切削进给速度范围	
动力参数	主轴电机功率	影响切削负荷
	伺服电机额定转矩	
精度参数	定位精度、重复定位精度	影响加工精度及其一致性
	分度精度(回转工作台)	
其他参数	外形尺寸、质量	影响使用环境

三、数控加工中心

数控加工中心是目前世界上产量最高、应用最广泛的数控机床之一。加工中心就是具有自动换刀功能(刀库)的数控机床。它的综合加工能力较强,工件一次装夹后能完成较多的加工内容,其效率是普通设备的 5 ~ 10 倍。特别是它能完成许多普通设备不能完成的加工,对形状较复杂,精度要求高的单件加工或中小批量多品种生产更为适用。

数控加工中心是构建柔性制造系统和自动化工厂必不可少的重要设备。

(一) 数控加工中心的应用

1. 加工中心的主要功能

加工中心与同类数控机床相比,结构较复杂,控制系统功能较多。加工中心最少有 3 个运动坐标,多的达十几个;其控制功能最少可实现 3 轴联动控制,多的可实现 5 轴联动、6 轴联动。

加工中心还具有不同的辅助功能,各种加工固定循环,中心冷却,自动对刀,刀具破损检测报警,刀具寿命管理,过载,超行程自动保护,丝杠螺距误差补偿,丝杠间隙补偿,故障自动诊断,工件与加工过程图形显示,人机对话,工件在线检测和加工自动补偿,离线编程等,

这对于提高机床的加工效率，保证产品的加工精度和质量等都是普通加工设备无法相比的。

2. 加工中心的主要加工对象

加工中心适用于复杂、工序多、精度要求较高、需用多种类型普通机床和繁多刀具、工装，经过多次装夹和调整才能完成加工的零件。其主要加工对象有以下4类：

①箱体类零件。如图1-37所示，箱体类零件一般是指具有多个孔系，内部有型腔或空腔，在长、宽、高方向有一定比例的零件。这类零件在机床、汽车和飞机等行业较多，如汽车的发动机缸体，变速箱体，机床的床头箱、主轴箱，柴油机缸体，齿轮泵壳体等。

箱体类零件在加工中心上加工，一次装夹可以完成普通机床60%~95%的工序内容，零件各项精度一致性好，质量稳定，同时可缩短生产周期，降低成本。对于加工工位较多，工作台需多次旋转角度才能完成的零件，一般选用卧式加工中心；当加工的工位较少、且跨距不大时，可选立式加工中心，从一端进行加工。

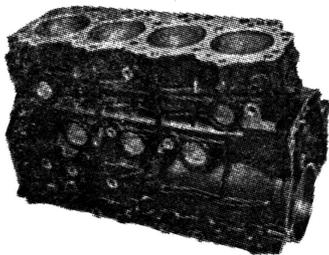


图 1-37 箱体类零件

②复杂曲面。加工中心适合加工复杂曲面，如飞机、汽车零件型面，叶轮，螺旋桨和各种曲面成形模具等。

③异形件。异形件是外形不规则的零件，大多数需要进行点、线、面多工位混合加工，如支架、基座、样板、靠模等。异形件的刚性一般较差，夹压及切削变形难以控制，加工精度也难以保证。这时可充分发挥加工中心工序集中的特点，采用合理的工艺措施，一次或两次装夹，完成多道工序或全部的加工内容。

④盘、套、板类零件。带有键槽或径向孔，或端面有分布孔系以及有曲面的盘套或轴类零件，如带法兰的轴套、带有键槽或方头的轴类零件等；具有较多孔加工的板类零件，如各种电机盖等。

（二）数控加工中心的分类

1. 按照结构特征分类

按照结构特征可以分为立式加工中心和卧式加工中心两类，图1-38为立式加工中心和卧式加工中心的结构示意图。

①立式加工中心指主轴轴线为垂直状态设置的加工中心。其结构形式多为固定立柱式，工作台为长方形，无分度回转功能，适合加工盘、套、板类零件。立式加工中心装夹工件方便，便于操作，易于观察加工情况，但加工时切屑不易排除，且受立柱高度和换刀装置的限制，不能加工太高的零件。立式加工中心的结构简单，占地面积小，价格相对较低，应用广泛。

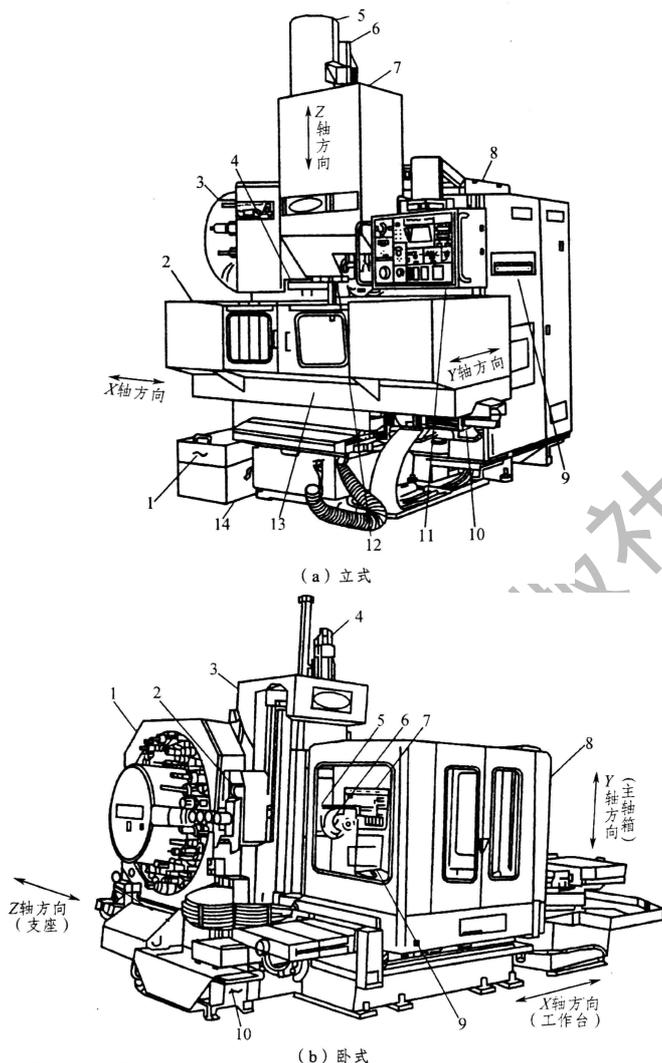


图 1-38 加工中心的结构示意图

- (a) 1—切屑槽；2—防溅挡板；3—刀库；4—换刀装置；5—主轴电动机；
 6—Z轴伺服电动机；7—主轴箱；8—支座；9—数控柜；10—X轴伺服电动机；
 11—操作盘；12—主轴；13—工作台；14—切屑液槽
- (b) 1—刀库；2—换刀装置；3—支座；4—Y轴伺服电动机；5—主轴箱；
 6—主轴；7—数控装置；8—防溅挡板；9—回转工作台；10—切屑槽

②卧式加工中心指主轴轴线为水平状态设置的加工中心。卧式加工中心一般都有 3 ~ 5 个运动坐标，通常都带有可进行分度回转运动的工作台。它能够使工件在一次装夹后完成除安装面和顶面以外的其余 4 个面的加工，最适合加工箱体类零件。与立式加工中心相比，卧式加工中心的结构复杂，占地面积大，价格也较高。

③龙门式加工中心。龙门式加工中心的形状与龙门铣床相似，主轴多为垂直设置，除自动换刀装置外，还带有可更换的主轴附件，尤其适用于加工大型或形状复杂的零件，如飞机上的梁、框、壁板等，如图 1-39 所示。

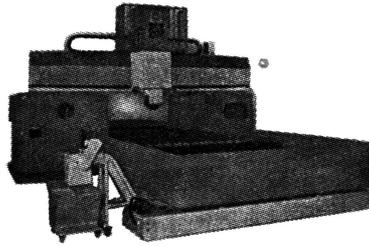


图 1-39 龙门式加工中心

④ 5 轴加工中心。该类机床具有立式加工中心和卧式加工中心的功能，是多轴联动控制数控设备之一。工件一次安装后能完成除安装面外的所有侧面和顶面等 5 个面的加工，也称为万能加工中心或复合加工中心。这类加工中心可以最大限度地减少工件的装夹次数，减小工件的形位误差，从而提高生产效率，降低加工成本。但是 5 轴加工中心存在着结构复杂、造价高等缺点。

图 1-40 所示为 5 轴加工中心照片。图 1-41 所示为 5 轴联动数控加工中心设备示意图。

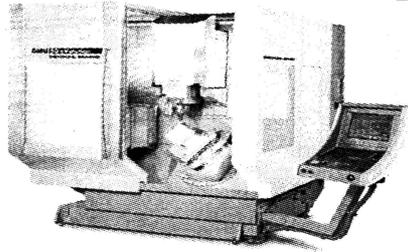
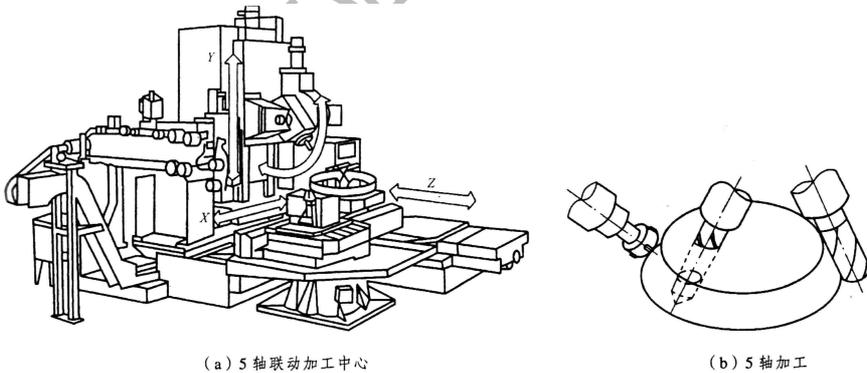


图 1-40 5 轴加工中心



(a) 5 轴联动加工中心

(b) 5 轴加工

图 1-41 5 轴联动数控加工中心设备示意图

⑤ 并联加工中心。并联加工中心是并联机器人机构与机床结合的产物，是空间机构学、机械制造、数控技术、计算机软硬件技术和 CAD/CAM 技术高度结合的高科技产品。其中 6 自由度并联机床由固定平台及通过球铰链连接两平台的 6 根变长杆组成，当分别改变变长杆的长度时，活动平台即可实现 6 个自由度的运动，从而使安装在活动平台上的刀具，达到任意位置和姿态，如图 1-42 所示。

并联加工中心改变了以往传统机床的结构，通过连杆的运动，实现主轴多自由度的运动，完成对工件复杂曲面的加工。具有结构简单、制造容易、功能强大、质量轻、刚度高、动态

性能好、加工精度高、使用寿命长等优点。

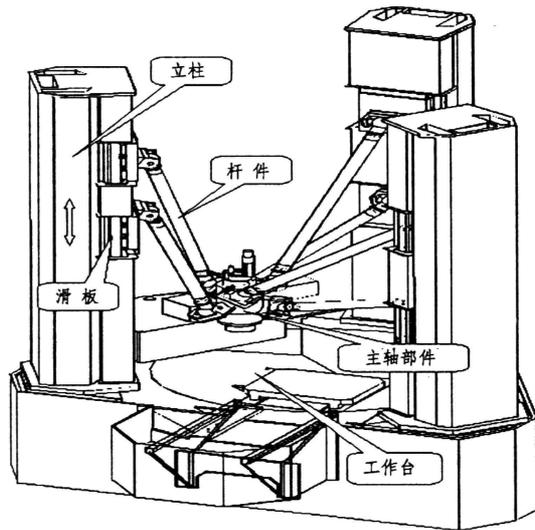


图 1-42 立式并联加工中心

2. 按照运动坐标数和联动坐标数分类

加工中心可分为 3 轴 2 联动, 3 轴 3 联动, 4 轴 3 联动, 5 轴 4 联动, 6 轴 5 联动加工中心等。图 1-43 为一种 5 坐标联动加工中心的示意图。

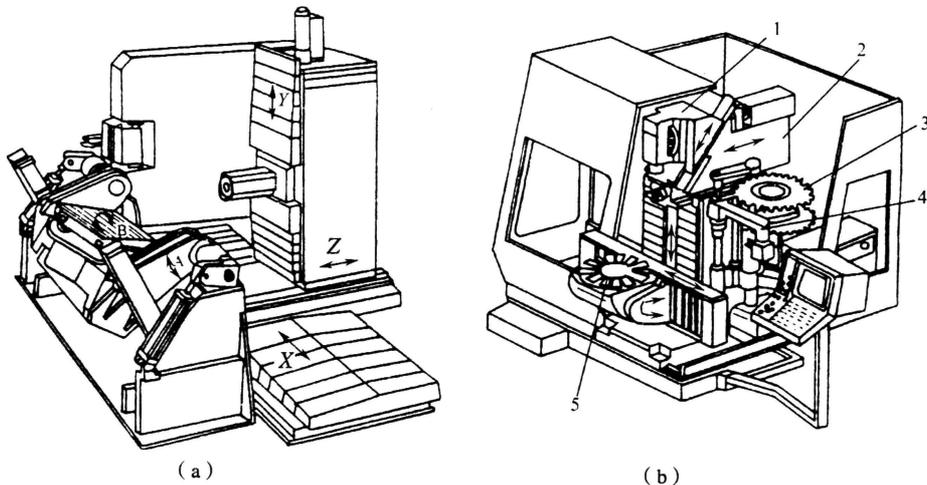


图 1-43 5 坐标联动加工中心示意图。

1—立轴主轴箱；2—卧轴主轴箱；3—刀库；4—机械手；5—工作台

3. 按工作台数量和功能分类

加工中心可分为单工作台加工中心、双工作台加工中心和多工作台加工中心。图 1-44 为多工位加工的加工中心示意图，图 1-45 为可换工作台的加工中心示意图。

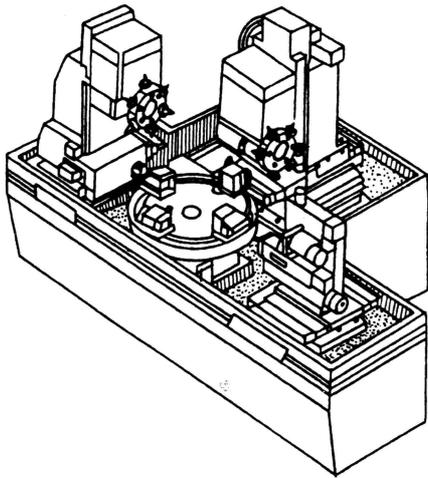


图 1-44 多工位加工的加工中心

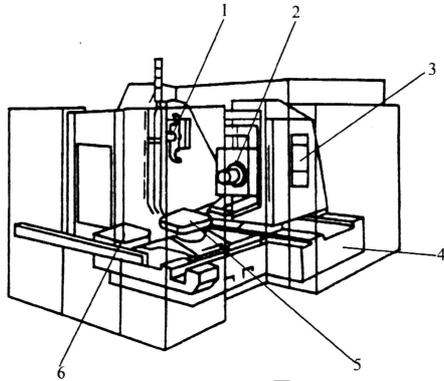


图 1-45 可换工作台的加工中心示意图

1—机械手；2—主轴头；3—操作面板；4—底座；5、6—托板

（三）数控加工中心的组成及布局

同类型的加工中心与数控铣床的结构布局相似，主要在刀库结构的有无上有区别。总体上加工中心由以下几大部分组成。

1. 基础部件

基础部件由床身、立柱和工作台等几大部分组成。这些大件有铸铁件，也有焊接的钢结构件，它们要承受加工中心的静载荷和加工时的切削负载，因此必须具备更高的静、动刚度，它们也是加工中心中质量和体积最大的部件。

2. 主轴部件

主轴部件由主轴箱、主轴电动机、主轴和主轴轴承等零件组成。主轴的启动、停止等动作和转速均由数控系统控制。主轴部件是切削加工的功率输出部件，是加工中心的关键部件，其结构的好坏，对加工中心的性能有很大影响。

3. 数控系统

数控系统由 CNC 装置、PLC、伺服驱动装置和电动机等部分组成，是加工中心执行顺序控制动作和控制加工过程的中心。

4. 自动换刀装置 (ATC)

加工中心与一般数控机床的显著区别是具有对零件进行多工序加工的能力，拥有一套自动换刀装置。

（四）数控加工中心的主要技术参数

加工中心的主要技术参数包括工作台面积、各坐标轴行程、摆角范围、主轴转速范围、切削进给速度范围、刀库容量、换刀时间、定位精度、重复定位精度等，其具体内容及作用详见表 1-4。

表 1-4 数控加工中心主要技术参数

类别	主要内容	作用
尺寸参数	工作台面积（长 × 宽）、承重	影响加工工件的尺寸范围（质量）、编程范围及刀具、工件、机床之间干涉
	主轴端面到工作台的距离	
	交换工作台尺寸、数量及交换时间	
接口参数	工作台 T 形槽数、槽宽、槽间距	影响工件、刀具安装及加工适应性和效率
	主轴孔锥度、直径	
	最大刀具尺寸及质量	
	刀库容量、换刀时间	
运动参数	主轴转速范围	影响加工性能及编程参数
	各坐标行程及摆角范围	
	各坐标轴快进速度、切削进给速度范围	
动力参数	主轴电机功率	影响切削负荷
	伺服电机额定转矩	
精度参数	定位精度、重复定位精度	影响加工精度及其一致性
	分度精度（回转工作台）	
其他参数	外形尺寸、质量	影响使用环境

（五）数控加工中心的换刀系统

加工中心和一般数控机床的主要区别就是加工中心带有刀库和自动换刀机构。根据不同的用途，刀库可以有多种形式。主要有盘式刀库，如图 1-46(a) ~ (d) 所示；鼓轮弹仓式刀库，如图 1-46(e) 所示；链式刀库，如图 1-46(f) 所示；格子式刀库，如图 1-46(g)、(h) 所示。

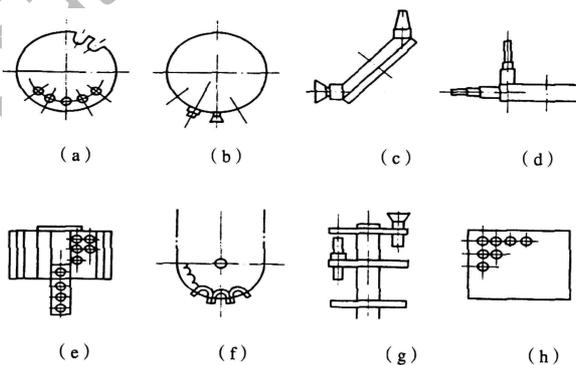


图 1-46 加工中心刀库结构示意图

刀具的交换通常分为无机械手换刀和有机械手换刀。无机械手换刀的特点是利用刀库与主轴箱之间的相对运动来实现刀具交换。图 1-47 为无机械手直接换刀的立式加工中心示意图。图 1-48 为 XH754 卧式加工中心无机械手换刀过程示意图。

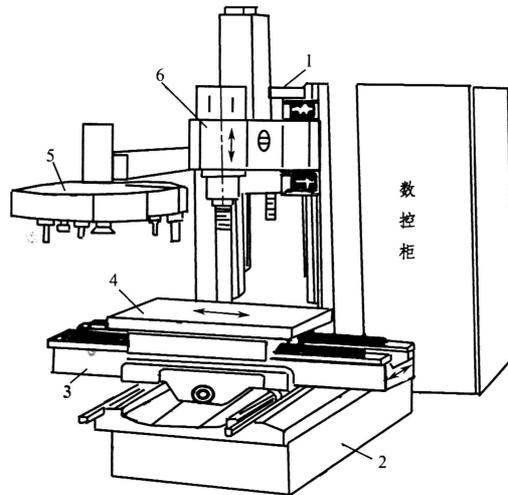


图 1-47 无机械手直接换刀的立式加工中心示意图

1—立轴；2—底座；3—横向工作台；4—纵向工作台；5—刀库；6—主轴箱

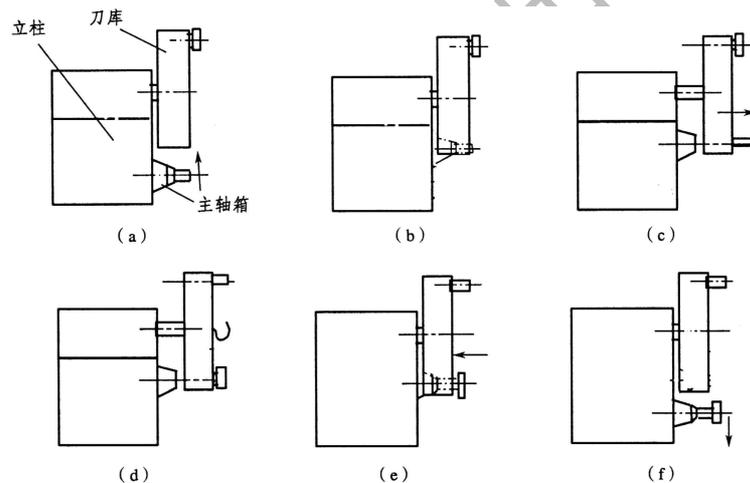


图 1-48 无机械手换刀过程示意图

有机械手换刀的换刀系统中，由机械手具体执行换刀动作。

常见的机械手有：单臂单爪回转式机械手；单臂双爪回转式机械手；双臂回转式机械手；双机械手；双臂往复交叉式机械手；双臂端面夹紧式机械手。

图 1-49 为 JCS013 卧式加工中心双臂往复交叉式机械手换刀过程示意图。该机床的自动换刀装置由一个 4 排链式刀库和双臂往复交叉式机械手组成。链式刀库独立安装在机床左侧，双臂往复交叉式机械手位于刀库和机床主轴之间。机械手的滑座可以沿着导柱上下移动，停留在任意一排刀库位置。每排上面的刀具或空刀位根据指令旋转到换刀位置，配合机械手取刀或放回刀具。

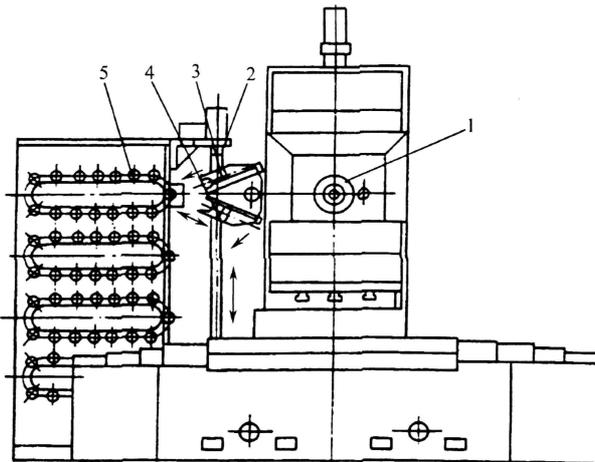


图 1-49 JCS013 卧式加工中心自动换刀装置示意图

1—主轴；2—升降丝杠；3—装刀机械手；4—卸刀机械手；5—刀库

图 1-50 是 JCS013 卧式加工中心的换刀过程示意图。

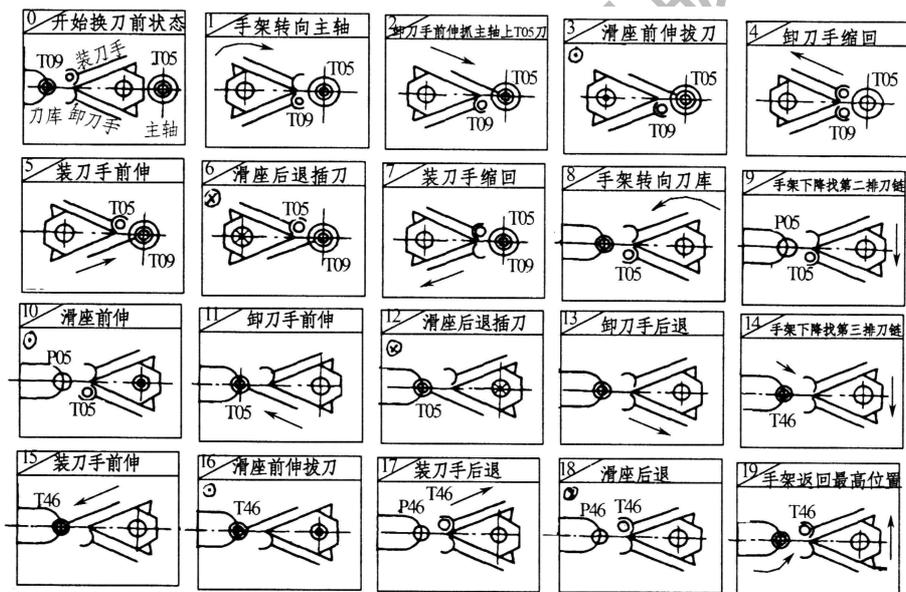


图 1-50 JCS013 卧式加工中心换刀过程

四、数控电火花线切割机床

(一) 数控电火花线切割机床的应用及分类

数控电火花线切割加工已在生产中获得广泛应用，目前国内外的数控电火花线切割机床已占电加工机床的 60% 以上。数控电火花线切割加工适用于加工各种形状的冲模、注塑模、挤压模、粉末冶金模、弯曲模等模具，还可加工材料试验样品、各种型孔、特殊齿轮凸轮、样板、成形刀具等复杂形状零件及高硬度材料的零件，并可进行微细结构、异形槽的加工。

根据电极丝运动的方式, 数控电火花线切割加工机床可分成快速走丝数控线切割加工机床和慢速走丝数控切割机床两大类。

1. 快速走丝数控电火花线切割机床

这种机床采用钼丝 [直径 $\phi=(0.08 \sim 0.2)\text{mm}$] 或铜丝 ($\phi 0.3 \text{ mm}$ 左右) 做电极。电极丝在贮丝筒的带动下通过加工缝隙作往复循环运动, 一直使用到断线为止。其走丝速度快, 为 $8 \sim 10 \text{ m/s}$ 。目前能达到的加工精度为 $\pm 0.01 \text{ mm}$, 表面粗糙度为 $Ra=0.63 \sim 1.25 \mu\text{m}$, 最大切割速度可达到 $50 \text{ mm}^2/\text{min}$ 以上, 切割厚度最大可达 500 mm , 可满足一般的加工要求。

2. 慢走丝数控电火花线切割机床

这种机床的走丝速度一般为 3 m/min , 最高为 15 m/min 。可采用紫铜、黄铜、钨、钼等做丝电极, 其直径约为 $\phi(0.03 \sim 0.35)\text{mm}$ 。丝电极单方向通过加工缝隙, 不重复使用, 以避免电极丝损耗, 影响工件加工精度。加工精度可达 $\pm 0.001 \text{ mm}$, 粗糙度可达 $R_a < 0.32 \mu\text{m}$ 。

相对慢走丝线切割机床而言, 快走丝线切割机床结构简单, 价格低廉, 且加工生产率较高, 精度能满足一般要求, 目前我国生产、使用较为广泛。慢走丝线切割机床是国外生产公司使用的主流机种, 属于精密加工设备, 代表着线切割机床的发展方向。

(二) 数控电火花线切割机床的加工原理及组成

图 1-51 所示为数控电火花线切割机床的加工原理图, 图 1-52 所示为两种线切割机床的外观。

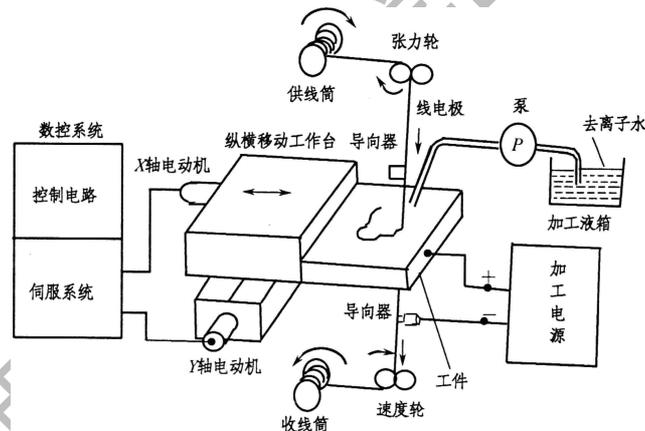
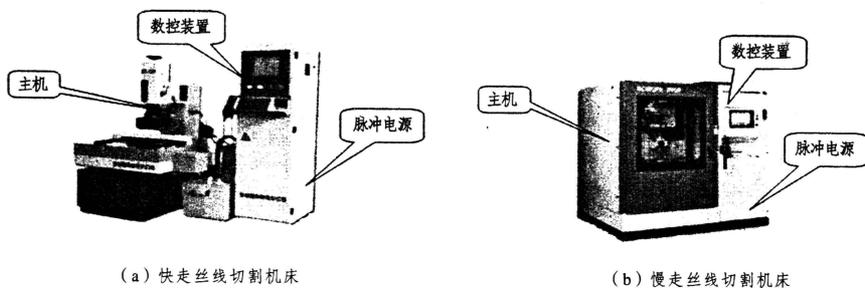


图 1-51 数控线切割机床的加工原理图



(a) 快走丝线切割机床

(b) 慢走丝线切割机床

图 1-52 数控线切割机床

各种线切割机床的结构大同小异, 主要由机械装置、脉冲电源、工作液供给装置、数控装置等部分组成。

1. 机械装置

数控线切割机床的机械装置主要由床身、坐标工作台、丝电极驱动装置、工作液箱、附件和夹具等几部分组成。

2. 脉冲电源

数控线切割机床的脉冲电源是数控电火花线切割加工机床最重要的组成部分之一，脉冲电源的形式很多，如晶体管矩形波脉冲电源、高频分组脉冲电源、并联电容型脉冲电源和低损耗电源等。

3. 数控装置

数控装置按照加工程序进行插补运算，发出各种进给指令，通过步进电动机控制线切割机床实现加工运动。

4. 工作液供给装置

工作液供给装置由工作液箱、工作液泵、过滤器、流量控制阀和管道等组成。

(三) 数控线切割机床的主要技术参数

线切割机床的品种规格较多，主要技术参数包括机床尺寸参数及加工范围参数、加工精度参数、电参数、运动参数等。表 1-5 所示为线切割机床的常见尺寸参数及加工范围参数。

表 1-5 数控线切割机床的主要技术参数

技术参数名称	常见规格
坐标工作台行程 ($X \times Y$, mm)	160×125, 200×160, 250×200, 300×200, 320×250, 500×300
坐标工作台尺寸 (宽 × 长, mm)	125×200, 200×320, 320×500, 500×800
最大切割锥度 / ($^{\circ}$)	$\pm 3, \pm 6, \pm 9, \pm 12, \pm 15, \pm 18, \pm 30$
工件最大质量 / kg	20, 40, 60, 80, 120, 200, 320, 400, 500