

实验一 认识数控机床

一、实验目的与要求

- (1) 认识数控机床的机械结构,特别是传动机构。
- (2) 认识数控机床控制系统的组成和功能。

二、主要实验设备

- (1) 工业用数控车床(可以结合认识实习,借助工厂设备)。
- (2) 数控铣床。

三、预习要求

《数控机床》的有关内容。

四、实验指导

数控机床是一种机电液一体化的产品。从大方面分,一台数控机床一般由机械部分、电气部分和液压部分组成,如图 1-1 所示。

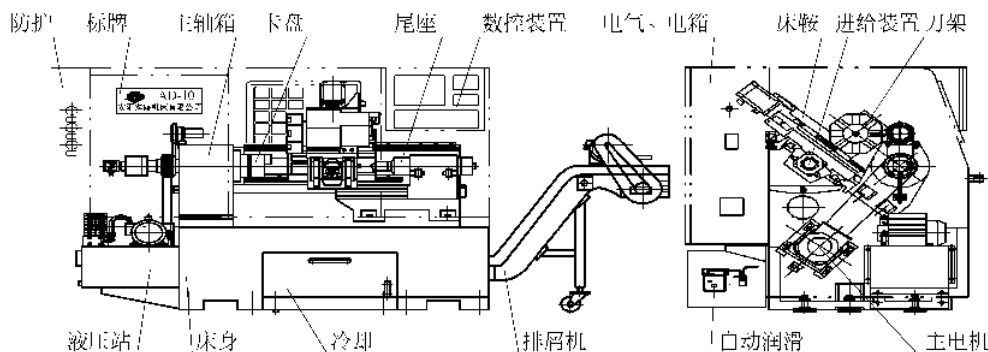


图 1-1 数控车床的组成

1. 机械部分

机械部分是整个机床的基础,主要包括床身、主轴箱、进给装置、刀架、尾座、卡盘、安全防护、托架及其他辅助装置等。

- 床身：是整个机床的基础的基础。床身部分最关键的部位是导轨，导轨一般要经过两次时效、中频淬火和精密磨削后才能使用。常用的导轨形式有滑动导轨、滚动导轨和直线导轨。导轨是关系到机床精度和稳定性的部件。
- 主轴：是车床输出动力的主要部件。随着科技的发展，主轴的结构形式越来越简单，由原来的齿轮传动逐步发展成了电动主轴、主轴单元等多种形式。转速也越来越高，由原来的几千转/分，发展到几万转/分甚至几十万转/分。
- 进给装置：一般车床有两个方向的进给：横向(X轴)和纵向(Z轴)。伺服电机带动滚珠丝杠拖动床鞍等实现数控车床的自动加工。
- 刀架：一般数控车床都配有电动(气动或液压或伺服)刀架。刀架是数控车床最重要的辅助装置之一，刀架的档次是评估数控车床性能的依据之一。
- 尾座：为了满足重型切削和较长工件的加工要求，一般车床都配有尾座。尾座分手动、电动、气动和液压尾座等。
- 卡盘：卡盘安装在主轴上，用来夹持工件，分为手动三爪自定心卡盘、电动卡盘、气动卡盘、液压卡盘和四爪卡盘等。数控车床的标准配置一般为三爪自定心卡盘。
- 安全防护：数控车床一般都有全封闭防护或半封闭防护，来满足劳动生产要求。机床的防护和外观越来越受到用户的关注。
- 托架：托架一般包含中心架和跟刀架。数控车床的标准配置一般不含托架，托架是满足特殊加工要求而配备。

2. 电气部分

数控车床的电气系统有计算机数字控制设备(CNC)、可编程序控制器(PLC)、进给驱动装置、主轴驱动装置、外围执行机构控制元件等部分组成。

(1) 计算机数字控制设备(CNC)：CNC装置是数控车床的核心，包括硬件(EP印刷电路板、显示器、键盘等)以及相应的软件。目前市场主流的车床CNC装置有德国西门子公司(SIEMENS)的802系列，日本发那科公司(FANUC)的0i系列，国产的有广州数控的980系列，武汉华中数控“世纪星”系列等。

(2) 可编程序控制器(PLC)：PLC在数控车床上是人机进行信息交换的主要途径，也是机床完成各种复杂动作的重要部件。可编程序控制器一般分两类：一类是内装型PLC，内装型PLC作为数控系统基本的或可选择的功能提供给用户，其软件和硬件被作为CNC系统的基本功能而与CNC其他功能一起设计制造。因此具有较强的针对性。另一类是独立型PLC，其独立于CNC装置外，具有完备的硬件和软件，能够独立完成规定的控制任务。

(3) 进给驱动装置：进给驱动装置是数控车床两个轴运动的动力装置。进给驱动可以分为以下四大类。

- 步进电机：价格低，无反馈元件，调整简单，但转速较低，无过扭矩能力，有共振区，有步距角要求，控制精度较低。这是一种开环控制装置。
- 直流伺服装置：是发展较早的一种电机调速装置。这种进给装置过扭矩能力大，控制精度较高，但其电机制造成本高，且电机需要日常维护，现在正逐步被淘汰。
- 交流进给伺服装置：是基于交流变频技术发展而发展起来的一种进给装置。它控制精度较高，运行平稳，有一定的过扭矩能力，且价格适中，不用日常维护，所以发展迅猛，特别是现在的全数字交流进给伺服装置，更是备受欢迎。交流伺服装置是现

在进给装置的主导产品。

- 直线电机进给装置：它是将机械、电气和现代科技相结合的一种产物，它改变了现在的机床结构形式，使得速度更快(可达几十米/分)、精度更高、体积更小等，直线电机是进给系统的发展方向。

(4) 主轴驱动装置：主轴驱动装置是数控车床主运动——旋转运动的动力装置，可以分为以下四大类。

- 普通三相异步电动机：这种主轴驱动装置不需要驱动单元，价格低廉，机床主轴的变速一般采用手动变速或电气液压控制的机械变速。
- 用变频器控制三相异步电动机的主轴驱动装置：它的价格为主轴伺服电机价格 $1/3 \sim 1/2$ ，又能满足机床无级变速的要求，随着变频技术的日趋成熟，这种变速装置正在迅速发展。
- 主轴伺服电机：它转速高，响应快，可实现无级调速、恒线速切削、主轴定位等功能，一般用在较高档的数控车床上。
- 电主轴：这是近几年新推出的一种主轴装置，它将电机和主轴结合在一起，具有体积小、转速高(一般几千到几十万转/分)、噪声低等优点，但因价格高和其自身技术等方面的原因，现阶段尚未普及，从长远来看它是主轴的发展方向。

(5) 外围执行机构控制元件主要由开关、按钮、接触器、继电器、电磁阀等组成。

3. 液压部分

一台完整的数控车床，液压部分是必不可少的，它主要用来主轴变速、换刀、夹紧或松开工件等，液压系统由动力元件、执行元件、控制元件和辅助元件组成。

- 动力元件——液压泵，是把机械能转变为液压能的元件。
- 执行元件——液压缸、液压马达等，是把液体的压力能转变为机械能的元件。
- 控制元件——各种控制阀类，用来控制流体的压力、流量和方向，从而控制执行部件的作用力、运动速度和方向，也可用来卸载、过载保护和程序控制等。
- 辅助元件——除上述三部分元件以外的其他元件，这类元件的品种较多，如实现上述三部分连接作用的管道、接头、油箱；保证系统性能用的滤油器、加热器、冷却器；改善系统性能用的蓄能器等。

当然，数控车床除了上述三大部分外还有为了保证能正常加工的冷却系统，为保证机床机械系统正常运转润滑系统，以及排屑系统等。

五、实验内容

(1) 静态观察：按照“实验指导”叙述的顺序，仔细观察数控车床的各个组成部分。电气部分要打开箱体或外罩，尽可能看到电路板和独立器件。

(2) 动态观察：请操作人员讲解演示，开机前准备工作和开机过程，手动操作机床，对刀，加工一个典型的轴类零件。结合观察理解“实验指导”中所述各组成部件的作用。

(3) 在操作人员指导下重复“动态观察”的各项操作。

(4) 用类比的方法进行数控铣床实验。

六、实验报告

- (1) 描述数控铣床的结构和性能。
- (2) 普通机床与数控机床在结构上有何不同？请分析原因。
- (3) 总结一下数控机床的开机程序和加工过程。

实验二 拆装数控机床的传动部件

一、实验目的与要求

- (1) 认识数控机床进给传动部件的工作原理及其特性。
- (2) 了解电主轴的工作原理及其特性。

二、主要实验设备

- (1) 滚珠丝杠螺母副一套。
- (2) 滚动导轨副一套。
- (3) 贴塑导轨模型一副,塑料带(50mm×100mm)一条。
- (4) 消除间隙双片齿轮装置一套。
- (5) 变齿厚蜗杆涡轮一副(或变齿厚蜗杆一件)。
- (6) 联轴器(无间隙传动)一套。
- (7) 同步齿形带及带轮一套。
- (8) 60°角接触滚珠轴承一个。
- (9) 电动机内藏式电主轴一件。
- (10) 通用工具:活动扳手两个,木柄起子两个,内六角扳手一套,紫铜棒或木质手锤一个,齿厚卡尺一个。

三、预习要求

- (1) 实验一。
- (2) 普通机床结构。
- (3) 钳工安装知识。

四、实验指导

高刚度、高精度的数控机床要求简化机械传动系统,主传动系统一般采用变频调速电动机,以便在额定转速以下时保证恒扭矩输出,在额定转速以上时保持恒功率输出。选用足够大的电动机,取消主轴变速机械,保证主轴有足够大的输出扭矩,大大简化了主传动系统。电主轴就是将主轴与电动机合为一体,是主轴电动机和主轴合成一个部件,进一步简化了机床的主轴箱。进给传动系统一般采用交流伺服电动机或步进电动机,直接驱动滚珠丝杠螺

母结构,实现直线进给运动。当前在数控机床中有出现了用直线电动机来直接驱动工作台移动的设计:数控机床的工作台相当于直径无穷大的电动机转子,底座就是定子,这样就取消了滚珠丝杠螺母副,大大简化了进给传动机构,提高了传动系统的刚度。

除了简化进给传动装置外,数控机床还要求传动机构无间隙、低摩擦、低惯量、高刚度、高谐振以及适宜的阻尼比的要求。

以下介绍几种典型传动部件的结构特点。

1. 滚珠丝杠螺母副

滚珠丝杠螺母副是数控机床传动系统的核心部件之一,它将伺服电动机的旋转运动转换为拖板或工作台的直线运动。滚珠丝杠螺母与普通的丝杠螺母一样,是一种增力机械,将高速转动下的扭矩转换为低速移动下较大的推力。

滚珠丝杠螺母副与普通丝杠螺母副不同的是:前者通过循环钢球将滑动摩擦改变为滚动摩擦,由此减少了摩擦损失并提高传动效率。由于滚珠丝杠螺母副之间的运动时滚动摩擦,在螺母、钢球和丝杠之间允许施加预紧力,可以消除正反向传动的间隙并提高传动刚度;使静、动态摩擦系数变化减少,从而改善进给传动系统的动态特性。

由图 2-1 可以看出,滚珠丝杠螺母副由滚珠、丝杠、回珠器、螺母等组成。在图 2-1(a)中,采用插管在螺母外实现滚珠循环,称为外循环式;在图 2-1(b)中,回珠器在螺母内实现滚珠循环,称为内循环式。前者使用滚珠较多,效率低。目前多采用内循环式滚珠丝杠螺母副。

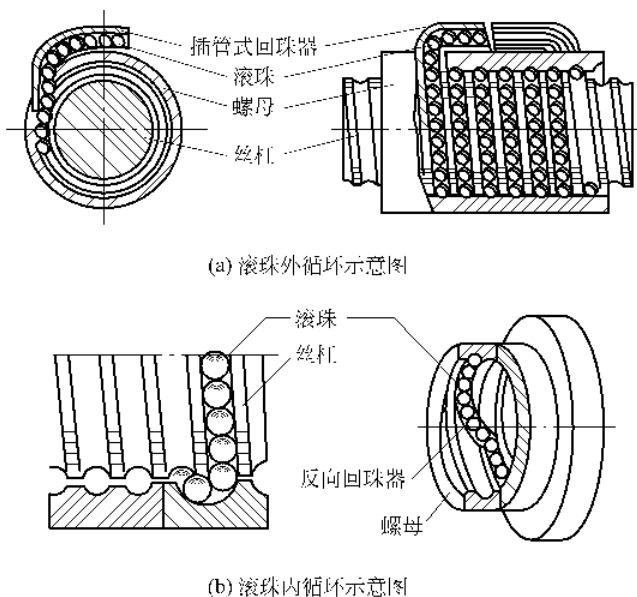


图 2-1 滚珠丝杠螺母副

消除丝杠、螺母之间的传动间隙并施加预紧力是提高定位精度、消除反向间隙的重要措施,图 2-2 给出了几种消除传动间隙、加预载的方式,除此之外还有其他不同的方式。

滚珠丝杠螺母副的结构种类很多,在拆装实验中要仔细观察钢球的循环方式和消除传动间隙的原理和方法以及螺母、钢球、丝杠之间施加预紧力的方法。

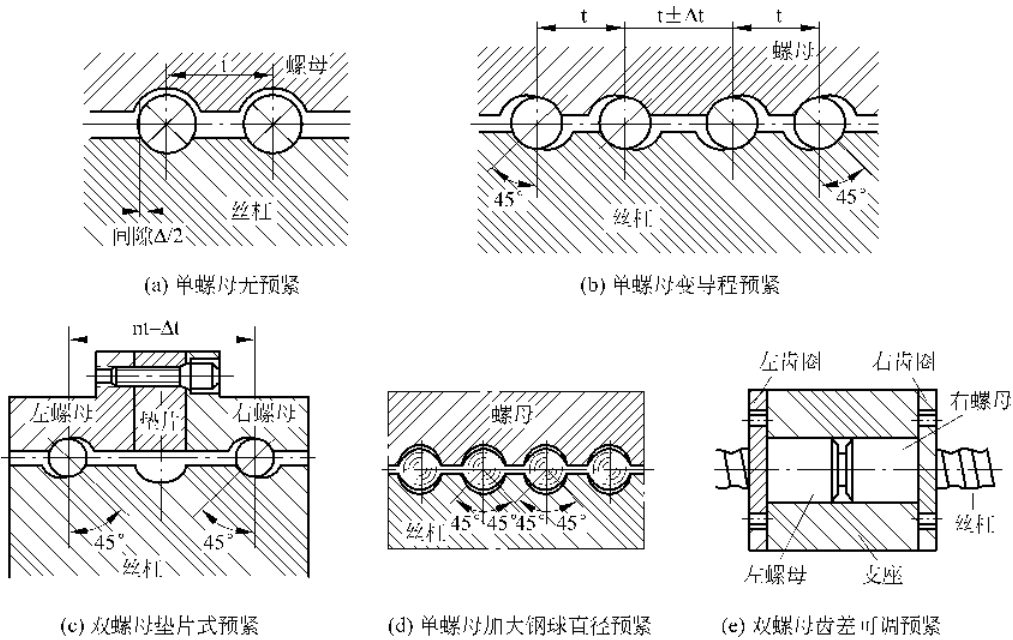


图 2-2 滚珠丝杠消除传动间隙、加预载的方式

2. 滚动导轨副

滚动导轨副的功能是支承和引导机床的拖板或工作台完成直线运动并承受切削负荷。数控机床要求拖板或工作台在导轨上实现无间隙往复运动。

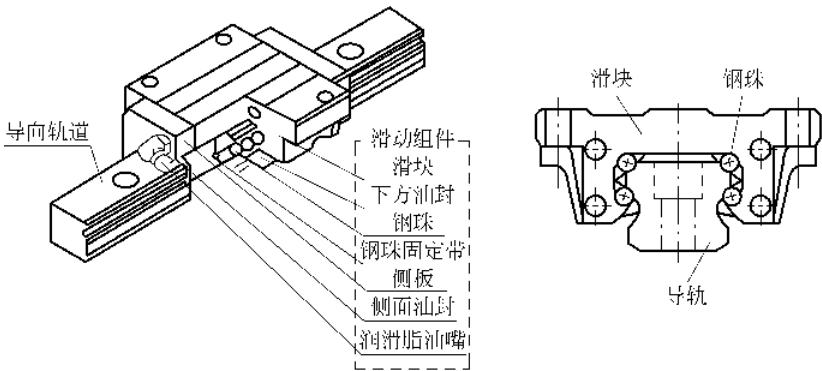
滚动导轨副的结构形式很多,其共同特点是利用滚动体(钢球或钢柱)的滚动将导轨副的滑动摩擦改变为滚动摩擦(摩擦系数一般在 0.003 左右),以减少摩擦阻力。滚动导轨允许施加预紧力,这就可以消除运动副之间的传动间隙,同时也可以提高传动刚度。由于滚动导轨副之间的运动是滚动摩擦,所以它的静、动摩擦系数变化小,可以改善运动副的动态特性。滚动导轨的运行速度可达到 60m/min。

滚动导轨副是由导轨、滚动体和滑块三个主要零件组成的。目前数控机床上使用最多的滚动导轨副是双 V 形(或称矩形)直线滚动导轨副,如图 2-3(a)所示。受力较小时也可以使用圆柱形直线滚动导轨副(见图 2-3(b)和图 2-3(c))。

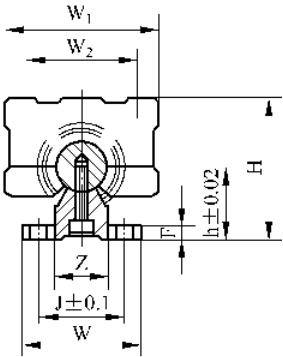
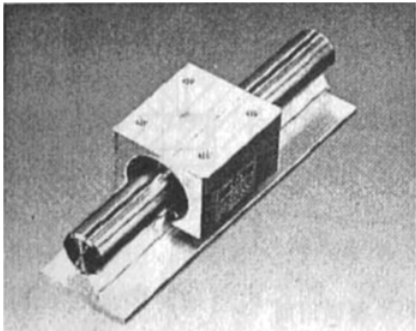
以上三种形式的直线滚动导轨的滚动体都是钢球。还有一种直线滚动导轨,它的滚动体是圆柱体,称为子导轨块,如图 2-4 所示。

3. 贴塑导轨

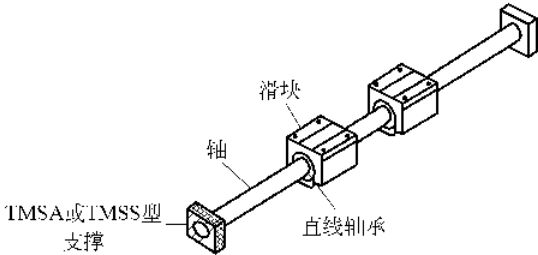
它是在两个金属滑动面之间粘贴了一层特制的复合工程塑料带,这样将导轨的金属与金属的摩擦副改变为金属与塑料的摩擦副,因而改变了数控机床导轨的摩擦特性,如图 2-5 所示。主要原因是贴塑导轨的摩擦系数(0.03~0.05)低于金属与金属摩擦副的摩擦系数,更重要的原因是贴塑导轨的静、动摩擦系数相差很小。此外,贴塑导轨副是面接触,在运动副之间没有滚动体,它的阻尼比大于滚动导轨的阻尼比。两种导轨相比,贴塑导轨的抗震性优于滚动导轨。



(a) 双V形直线滚动导轨副



(b) 底部支承的圆柱形直线滚动导轨副



(c) 两端支承的圆柱形直线滚动导轨副

图 2-3 滚动导轨副

贴塑导轨用的复合工程塑料是以聚四氟乙烯为基体添加青铜粉、二氧化钨和石墨等混合材料烧结而成的,使用时一般做成带状。生产厂家不同,添加的材料不同,摩擦特性也有差别。

塑料导轨副的加工方法是:从生产厂家购入导轨用塑料带后粘贴在一个粗加工的导轨面上,固化后再与另一个已磨削好的金属导轨面配刮,刮研着点要深,以便存储润滑油。

通过认识实验对照实物,理解贴塑导轨的摩擦特性和加工方法及选用原则。

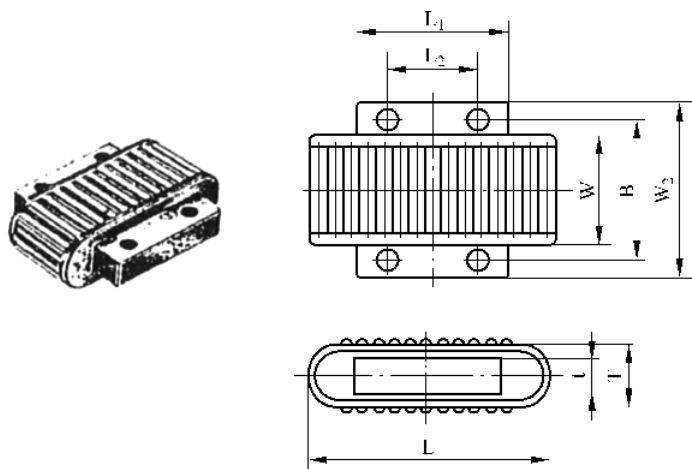


图 2-4 直线滚动导轨

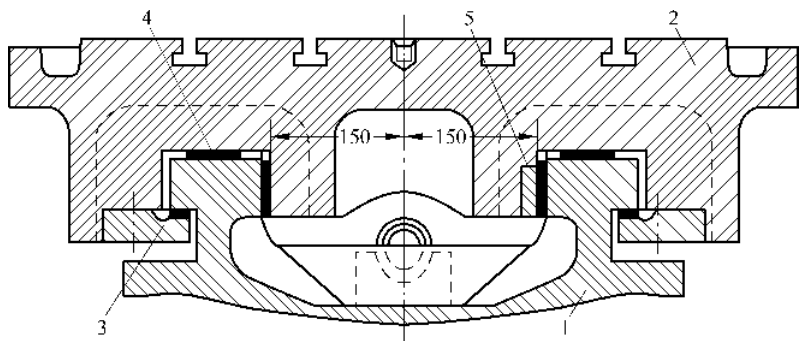


图 2-5 贴塑导轨

1—床身；2—工作台；3—下压板；4—导轨软带；5—贴有导轨软带的镶条

4. 齿轮副、变齿厚蜗杆与涡轮副、齿轮与齿条副间隙消除机构

在数控机床进给系统中,运动副的传动间隙是导致反向误差的主要因素之一,如果数控系统补偿不掉该项误差就会直接影响加工精度。因此,消除进给系统中传动副(齿轮副、蜗杆涡轮副、齿轮齿条副等)的正反间隙是数控机床机械结构设计必须解决的问题。消除上述传动副的传动间隙和机械结构形式方法很多,其基本原理是改变主、被动齿轮在齿槽中的接触条件,即保证一个齿轮与另一个齿轮的齿槽的两面都接触或间隙最小,并且在装配时可以调节。

图 2-6 表示的是双片齿轮法消除传动间隙的结构原理图。松开双片齿轮紧固螺钉后,弹簧使两片齿轮错位,消除与其相啮合齿轮之间的齿侧间隙。图 2-7 是消除侧齿隙并预加负荷的双齿轮、齿条传动结构原理图。通过液压装置推动螺旋齿轮轴向移动,使其啮合的齿轮产生旋转,从而使两个小齿轮分别与齿条的两个侧面相啮合,并产生一定的预紧力。

在认识实验中,读者可以将提供的具体机械结构进行拆装测量、搬动等,以了解它们的工作原理及结构。

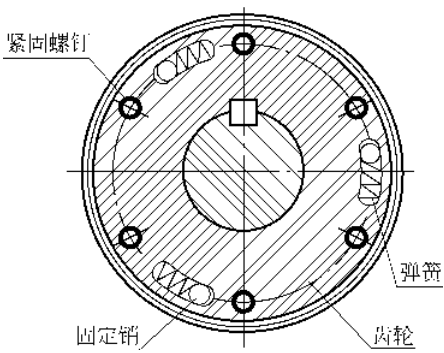


图 2-6 双片齿轮法消除传动间隙原理图

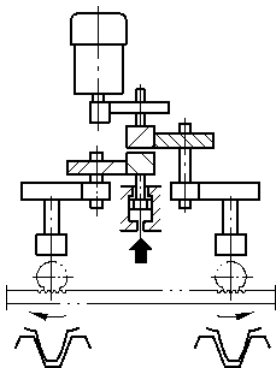


图 2-7 消除侧齿隙并预加负荷的双齿轮、齿条传动原理图

5. 无间隙传动联轴器

在数控机床的进给系统中,通常都采用无间隙传动联轴器来连接两轴(伺服或步进电动机的轴与滚珠丝杠)的旋转运动。此外,需要用特制的联轴器连接编码与被检测轴才能保证检测精度的要求。选用联轴器要考虑:联轴器传动力矩大小;联轴器两端的孔径;联轴器与转轴的连接方式;对被连接的两轴允许的平行偏差、角度偏差;联轴器的外形尺寸等。图 2-8 给出了目前几种常用联轴器的示意图。

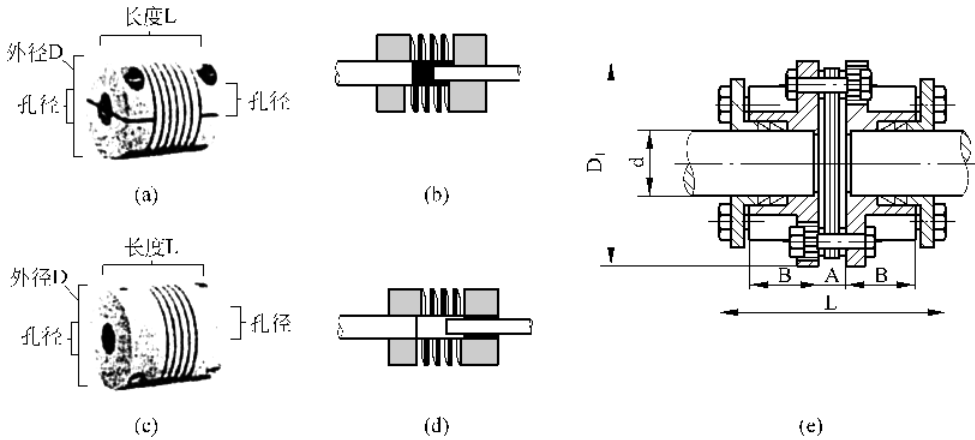


图 2-8 几种常用的联轴器

图 2-8(a)~(d)为金属螺旋弹簧联轴器,其中图 2-8(a)中的固定方法为整体夹紧;图 2-8(b)中连接不等的两轴径,内部构造为隙槽,涂黑色部分表示隙槽的大小,轴可贯穿;图 2-8(c)中固定方法用锁紧螺钉;图 2-8(d)中连接不等的两轴径,内部构造无隙槽,大径的轴不能深入挠性区域,小径的轴则可深入。图 2-8(e)是胀紧套连接单向联轴器的示意图。

6. 带传动

在数控机床中,伺服(步进)电动机轴与滚珠丝杠轴由于结构限制或性能要求,不允许同轴时一般采用带传动。主轴电动机带动主轴旋转也多采用齿形带传动。

带传动是一种传动方式,常见的带传动类型有 V 带传动、平带传动、多楔带传动和同步

带传动。由于数控机床的主轴传动和进给传动通常都要求准确的传动比,因此多选用同步带(又称同步齿形带,其结构如图 2-9 所示)。同步带根据齿形不同又可分为梯形齿同步带和圆弧齿同步带,图 2-10 是这两种同步带的纵切面图。梯形齿同步带在传递功率时,应力集中在齿根部位,使传递功率的能力下降;梯形齿同步带与小带轮接触时,带上的齿会变形,使其受力情况变坏;梯形齿同步带在高速运动是会产生较大的噪声和振动。圆弧齿形同步带传动克服可梯形同步带传动的缺点,因此在数控机床中当需要带传动时,总是优先选用圆弧齿形同步带传动。圆弧齿形同步带传动同时具有带传动和链传动的优点,不会打滑,不需要很大的张紧力,其传动效率可达 98%~99.5%,可用于 60m/s 的高速传动。圆弧齿形同步带用在高速传动场合时,在其有轮缘的带轮上要设排气槽,以免产生啸叫声。

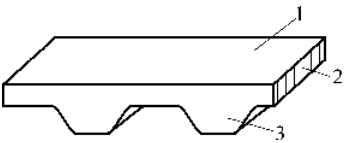


图 2-9 同步齿形带
1—带背; 2—强力绳; 3—带齿

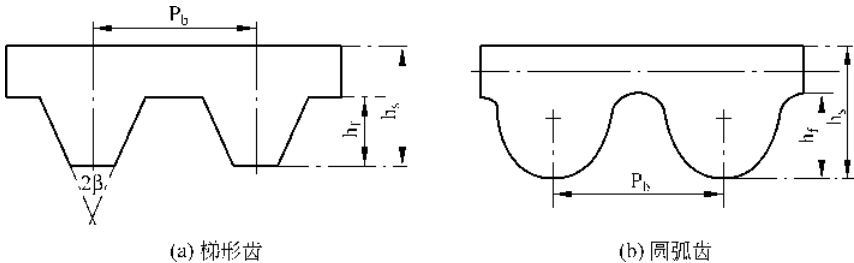


图 2-10 同步齿形带的齿形

7. 角接触球轴承

轴承所能承载的载荷有纯径向载荷、纯轴向载荷及两种载荷都具备的联合载荷。在数控机床中,轴承一般要同时承受径向载荷和轴向载荷,因此最常用的是接触角为 15°~60°之间的能同时承受轴向载荷和径向载荷的角接触球轴承。就承载能力而言,它在数控机床中的重要性要比在其他动力机械中小得多。相比之下,对主轴的要求,如通孔大小、加速度、精度、刚度和温升更为重要。在机床的传动系统中,多数轴承都要承受联合载荷。因此,角接触球轴承应用得越来越多。

对机床主轴来说,轴承的刚度是一项重要的特征值,但通过相应的轴承预紧是可以改变。主轴转速的提高增加了角接触轴承的应用范围。为满足转速的要求,15°角接触球轴承要比 25°角接触球轴承能承受更高的转速。在极高的工作转速时可使用以陶瓷(氮化硅)球为滚动体的混合主轴轴承,即用陶瓷球代替一般的钢球。此外,如果在轴承套圈中添加 ATC(塑料)镀铬层,可以减少摩擦和改善轴承的润滑效果。通过这些措施,可以降低工作温度并提高转速,如采用油雾润滑还能进一步提高转速。

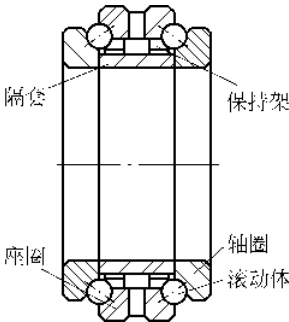


图 2-11 双向推力角接触球轴承

在数控机床主轴中,常将双向推力角接触球轴承与双列圆柱滚子轴承配套使用,以承受双向轴向载荷,如图 2-11 所示。该轴承由两个轴圈、一个座圈、一个隔套、两列滚动体及保持架组成。修磨隔套的厚度即可调整轴承的间隙和预紧,

轴承的接触角为 60° 。这种轴承的公称外径和与其配套的双列圆柱滚子轴承的外径相同，但外圈与箱体孔有间隙，因而不承受径向载荷。这种轴承具有精度高、刚性好、温升低、转速高、装卸方便等优点。

高速、高刚度角接触球轴承作为双向推力角接触轴承的替代品，由两套背靠背的接触角为 30° 或 40° 的角接触球轴承组成，其工作特点与双向推力角接触球轴承相同，该类轴承极限转速高，温升低，但其轴向承载能力略低于双向推力角接触球轴承。

角接触球轴承与双列圆柱滚子轴承配套使用，构成了主轴承的支撑结构形式，如图 2-12(a)、(b)所示。

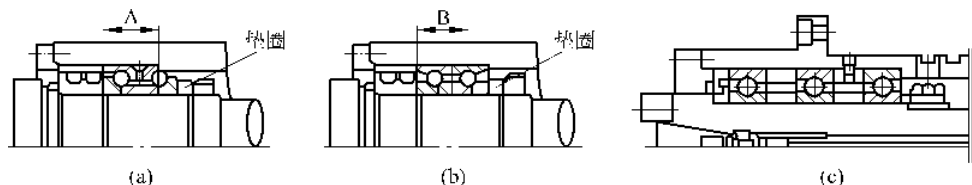


图 2-12 主轴承的支撑结构形式

在所有的精密滚动轴承中，相同的条件下角接触球轴承的极限转速最高。当前高转速的数控机床的主轴一般采用两个或三个角接触球轴承来支撑，如图 2-12(c)所示。只有当要求轴承具有很大刚性时，才采用双向推力球轴承和圆柱滚子轴承的组合形式，但这时转速不能过高。在轴承之间加隔套是用来提高主轴的刚度和精度的。

使用滚动轴承时，为了简化结构，降低成本和方便使用，对采用油脂润滑，但其 dn 值(d 为轴承内径， n 为轴的转速)应不超过 $80 \times 10^4 \text{ mm} \cdot \text{r/min}$ 。如采用陶瓷滚珠轴承，在油脂润滑的情况下， dn 值可到 $120 \times 10^4 \text{ mm} \cdot \text{r/min}$ 。陶瓷滚珠轴承的特点是滚珠重量轻，离心力小；动摩擦力矩小，因温升引起的热膨胀小；轴承的预紧力稳定，弹性变形量小；刚度大，寿命长。因此，目前陶瓷滚珠轴承在高速主轴上得到了广泛应用。

由于数控机床对机械进给机构在结构上的特殊要求而产生大公称接触角角接触球轴承，常用来支承滚珠丝杠。这种轴承的公称接触角 α 为 60° (见图 2-13)，因此既能承受大的轴向力也能承受大的径向力，而普通的角接触球轴承的公称接触角一般为 14° 和 25° 两种。

在认识实验中，要通过观察轴承建立对角接触球轴承的感性认识。

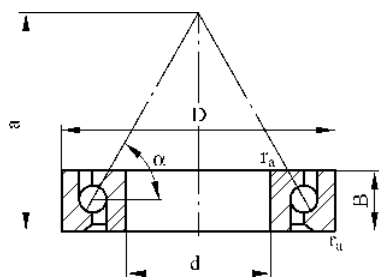


图 2-13 大公称接触角角接触球轴承

8. 电主轴

将电动机的转子轴和机床的主轴合成一个轴，构成主运动(切削运动)功能部件，该轴就称为电主轴，其特点是：主轴部件结构紧凑，重量轻，惯量小，可提高启动和制动的响应特性，并有利于控制振动和噪声。温度的控制和冷却是使用电主轴的关键问题。图 2-14 是一个电主轴的结构原理图。电主轴外形通常都设计为圆柱形，以便于在机床上安装和定位。为了便于电动机散热，备有冷却循环系统。转速较低(低于 $15\,000 \text{ r/min}$)时轴承可用油脂润滑；转速高于 $15\,000 \text{ r/min}$ 时需用油雾润滑。电主轴后端装有编码器，可以实现主轴定向控

制或位置控制。在选用电主轴时,为他确保其有足够大的切削扭矩,必须选用较大功率的内藏式电动机。图 2-15 表示了电主轴的转速-力矩、功率特性曲线。切削机床要求在计算转速以下恒扭矩工作区满足粗切的工艺要求。注意:电动机内藏式电主轴的出现是数控机床中继变频调速主轴之后机床主传动结构的又一重大改进。

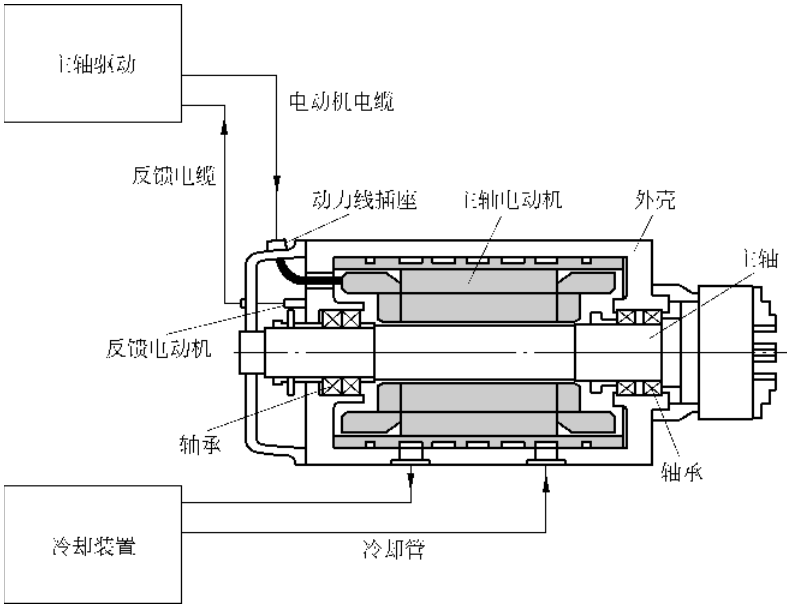


图 2-14 电主轴

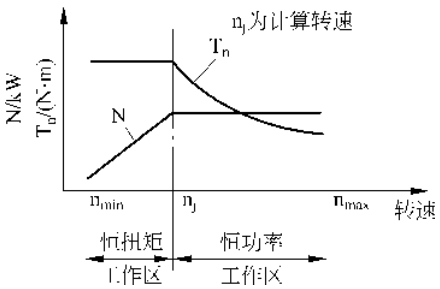


图 2-15 电主轴转速-力矩、功率特性

五、实验内容

- (1) 拆装一种滚珠丝杠螺母副,掌握其工作原理及结构特点和精度要求。
- (2) 拆装一种滚动导轨副,掌握其工作原理及结构特点和精度要求。
- (3) 观察贴塑导轨的外形及其结构。
- (4) 拆装一种消除齿轮传动间隙的结构。
- (5) 观察并检测双导程变齿厚蜗杆,了解其工作原理和结构特点。
- (6) 拆装一种消除齿轮齿条传动间隙的结构。

- (7) 拆装一种无间隙传动的联轴器,掌握它的工作原理。
- (8) 认识同步齿形带及其带轮的结构。
- (9) 认识主轴和滚珠丝杠用的角接触轴承,掌握其受力和定位特点。
- (10) 观察认识一种结构形式的电主轴。

六、实验报告

- (1) 绘制所见部件的工作原理简图。
- (2) 按所绘工作原理简图说明其工作原理。
- (3) 测绘变齿厚蜗杆的齿形图。
- (4) 如果要将齿轮固定在轴上,如何实现无间隙固定?

实验三 认识数控机床的自动换刀机构

一、实验目的与要求

通过观察和拆装,了解换刀机构的组成及其工作原理。

二、主要实验设备

- (1) 转位刀架一台。
- (2) 刀库一台。
- (3) 机械手一套。
- (4) 活动扳手两个。
- (5) 木柄起子两个。
- (6) 内六角扳手一套。

三、预习要求

加工中心可以对工件完成多工序加工,在加工过程中需要自动更换刀具。加工中心中完成自动更换刀具的系统称为自动换刀系统。自动换刀系统的主要指标是刀库容量、换刀可靠性和换刀时间,这些指标直接影响到加工中心的工艺性能和工作效率。

加工中心目前大量使用的是带刀库的自动换刀系统。转塔头式(通称八角头)加工中心,因其主轴结构复杂,使用逐渐减少。在数控车床中转位刀架也是一种自动换刀系统。

具有刀库的加工中心,其刀库形式有盘式刀库、链式刀库等,其刀库的换刀方法有机械手换刀和无机械手换刀两种。刀库与机械手在机床上布局不同、组合不同,使机床结构变化各异。数控机床选用何种结构形式要由设计者根据工艺、刀具数量、主机结构总体布局等多种因素决定。

无机械手换刀系统的优点是结构简单,换刀可靠性较高,成本低;其缺点是结构布局受到了限制,刀库的容量少,换刀时间较长(10~20s),因此多用于中小型加工中心。在有机械手的自动换刀系统中,刀库的容量、形式、布局等都比较灵活;机械手的配置形式也是多种多样,可以是单臂的,也可以是双臂的,甚至可以有主、辅机械手,换刀时间可以缩短到几秒,甚至零点几秒。

刀库容量是由加工工艺需要所决定的。加工工艺需要是指一个工件在加工中心上,一次装夹下需要多少种、多少把刀具,才能完成加工要求。根据成组技术法对 15 000 种工件进行分组,并统计各种加工所需刀具数量和结果发现,14 把刀具就可完成 70%以上工件的

钻铣工艺,所成一般中小型立式加工中心配上 14~30 把刀具的刀库就能满足 70%~95% 工件的加工需要。

常用的选刀方式有顺序选刀的任意选刀两种。顺序选刀要求加工用刀具严格按加工过程中使用的顺序放入刀库中。任意选刀的换刀方式可以有刀座编码、刀具编码和记忆等方式。目前在绝大多数加工中心上使用的都是记忆式的任选换刀方式。在这种方式中刀具号和刀具在刀库中的放置(地址)都存在数控系统的 PC 里;刀库中装有位置检测装置,刀具在使用中无论位置如何变化,数控系统总能追踪记忆刀具在刀库中的位置。这样就可以从刀库中任意取出并送回刀具。刀库中设有机械原点,每次选刀时,数控系统可以确定取刀的最短路径,从而就近取刀,例如对圆盘刀库来说,系统不会在刀库旋转超过 180°的情况下选刀。

图 3-1 所示的是斗笠式圆盘刀库,没有配置机械手。图 3-2 所示的是链式刀库,图的右下角是回转式单臂双爪机械手。刀库中刀具的轴线与主轴上刀具的轴线垂直,换刀时,刀库上的刀具和刀座一起翻转 90°。

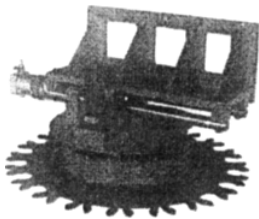


图 3-1 斗笠式圆盘刀库

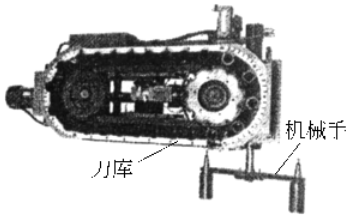


图 3-2 链式刀库

(1) 转位刀架是一种刀具存储装置,可以同时安装 4、6、8、12 把刀具不等,是数控车床中的一种专用自动化机械。图 3-3~图 3-5 表示的是三种不同形式的转位刀架,分别可装 4 把刀、6 把刀和 8 把刀。转位刀架不但可以存储刀具,而且在切削时要连同刀具一起承受切削力,在加工过程中要完成刀具交换转位、定位夹紧等动作。在拆卸、装配过程中要认真分析它的转位、定位和夹紧等机构的工作原理。

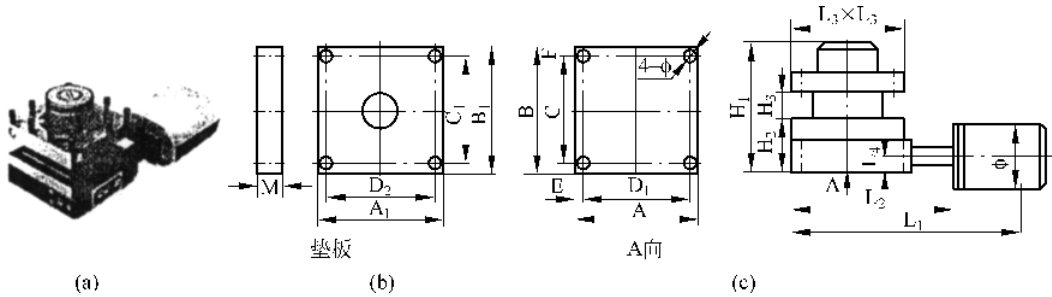


图 3-3 4 工位转位刀架

图 3-6 表示的是一台转位式圆盘刀库,它是在车床用 6 工位转位刀架的基础上由武汉华中数控股份有限公司开发的一种刀库。从这一结构中也可看出,自动转位刀架和自动换刀刀库就其对刀具的存储功能来讲是一致的。

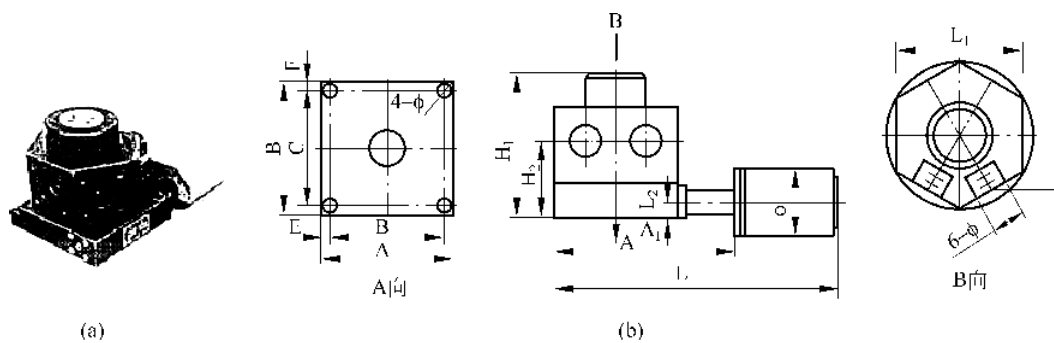


图 3-4 6 工位转位刀架

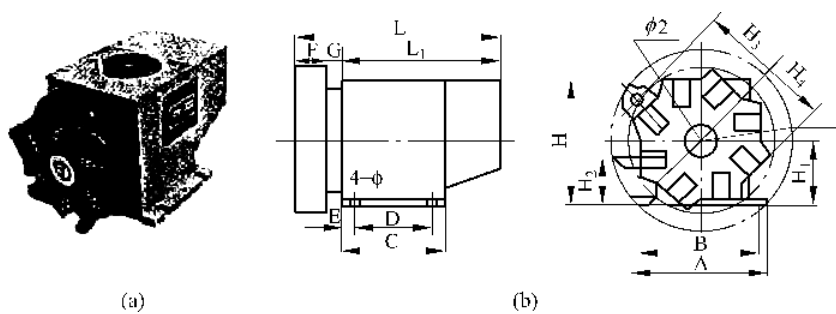


图 3-5 8 工位转位刀架

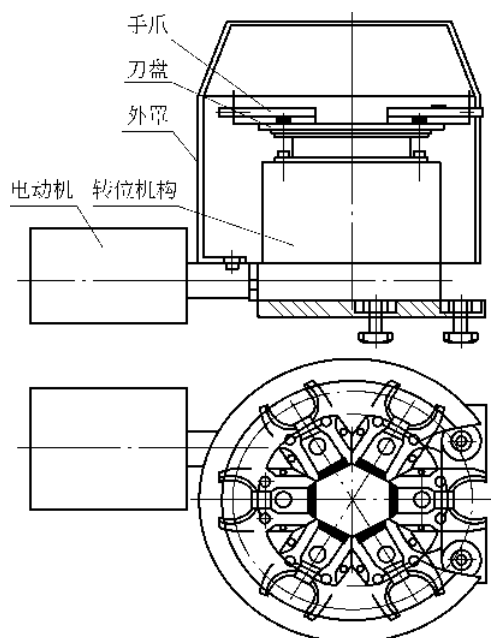


图 3-6 转位式圆盘刀库

(2) 刀库是加工中心的关键部件之一,在加工中心中用来储存和运送刀具。它的结构形式很多,主要有盘式和链式两种。盘式刀库存储容量较小(30把刀以下),链式刀库存储容量较大。在加工过程中进行换刀时,控制系统选定刀具后,刀库必须把选定的刀具运送到特定的位置,准备由机械手取刀具(或由机床的主轴直接取刀)。有些大型的加工中心还装有特殊刀具运输装置,可从刀库上取出刀具并送到换刀位置。就机械运动来讲,刀库的结构主要由刀具的运送和定位机构组成,运送速度要快,定位要准。此外,刀具在刀库中装夹方法不同,刀库结构也会不同;同时要求各个刀具的刀柄在刀库中的安装位置必须一致,还要固定可靠和便于新旧刀具的交换(取下和装上)。

(3) 机械手是加工中心换刀机构的核心部件。换刀时,机械手在机床主轴(或刀架)与刀库之间,执行交换新、旧刀具的任务,在一个换刀程序中要完成抓刀、拔刀、交换(新旧刀对调)、装刀、复位等动作。由于不同结构形式加工中心的刀库的形式、刀库与主轴的相对位置、距离的不同,机械手的结构形式和运动过程也不尽相同,目前使用最多的是回转式单臂双爪机械手。机械手通常有三个自由度,即抓刀与复位是一个自由度,拔刀与装刀是一个自由度,新、旧刀具位置交换是一个自由度。换刀动作在加工过程中是一个辅助动作,要求换刀时间尽量短,目前多数机械手的换刀时间为5~8s。一般要求机械手动作迅速、平稳、可靠,特别是在高速旋转中交换刀具时,刀具不能从机械手中甩出来,因此机械手必须具有相应的锁紧机构,机械手通常有三个自由度,即抓刀与复位是一个自由度,拔刀与装刀是一个自由度,新、旧刀具位置交换是一个自由度。

四、实验内容

(1) 拆装一个4工位或6工位的转位刀架,了解其内部结构;仔细观察刀具位置与分度定位机构之间的关系。

(2) 拆装(或观察)圆盘刀库(或链式刀库),了解定位机构的工作原理,以及刀具在刀库中的安装基准或固定方法。

(3) 拆装任一种换刀机械手,掌握它的工作原理和工作过程。

五、实验报告

(1) 绘制转位刀架的结构原理并给出必要的文字说明。

(2) 绘制刀库的结构原理图,给出简要的文字说明。

(3) 根据拆装的机械手绘制原理图,给出简要的文字说明。

(4) 转位刀架与刀库在功能上有何区别。

(5) 机械手的手爪如何保证抓取的刀具不掉落,又能方便地取出来。

(6) 根据拆装的部件结构提出改进意见。

实验四 数控系统硬件组成及其功能

一、实验目的与要求

- (1) 了解数控系统硬件组成及其功能。
- (2) 感性认识数控系统组成原理。
- (3) 感性认识典型部件之间的连接关系。

二、预备知识

- (1) 《数控机床》或《数控技术》。
- (2) 机电传动与控制。
- (3) 计算机(单片机)控制有关内容。
- (4) PLC 控制有关内容。

三、预习要求

HED-21S 型数控系统综合实验台及配套连线(以后简称综合实验台)。

四、实验指导与实验内容

1. 机床数控系统的组成

数控机床由数控程序、输入输出装置、计算机数控装置(CNC 装置)、PLC 和机床控制电器、伺服系统和机床本体等部分组成,如图 4-1 所示,其中数控程序、输入输出装置、CNC 装置、PLC、伺服系统、检测反馈装置合起来一般称为机床数控系统。

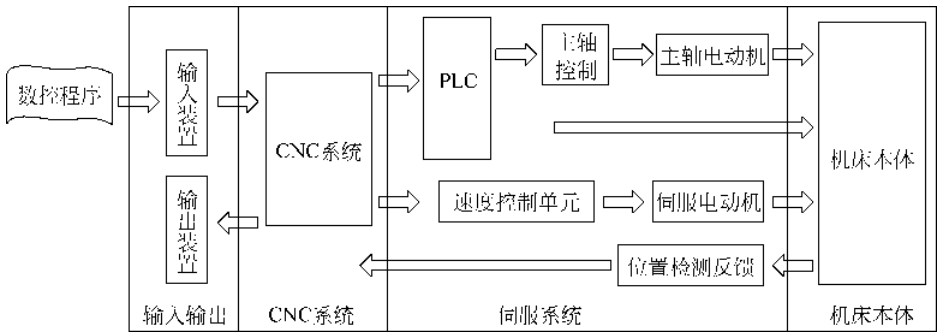


图 4-1 数控机床的组成

2. 综合实验台的组成

综合实验台如图 4-2 和图 4-3 所示,由如下部件组成。

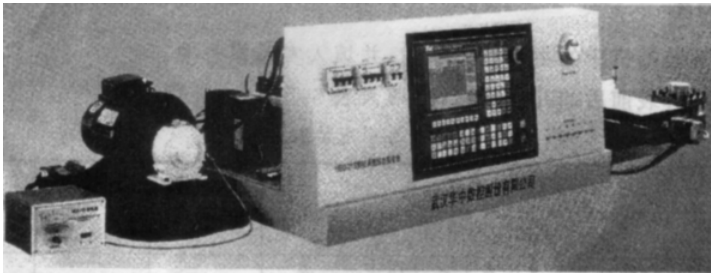


图 4-2 综合实验台外观

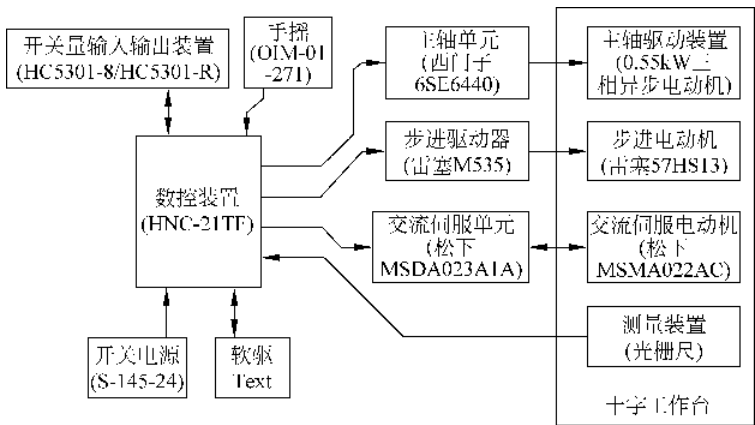


图 4-3 综合实验台组成框图

- (1) HNC-21TF 数控装置内置嵌入式工业 PC,配置 7.7"彩色液晶屏和通用工程面板,集成进给轴接口、主轴接口、手持单元接口,内嵌式 PLC 于一体,可选配各种类型的脉冲接口、模拟接口的交流伺服单元或步进电动机驱动器。
- (2) 变频调速主轴单元。变频主轴采用西门子 MICROMASTER 440 系列的 SE6440-2UD21-5AA0 变频器配三相异步电机。
- (3) 交流伺服驱动单元。交流伺服和交流伺服电机采用松下 MINAS A 系列的 MSDA023A1A 伺服单元和 MSMA022A1C 伺服电动机。
- (4) 步进驱动单元。步进驱动器和步进电机采用深圳雷塞 M535 和 57HS13。四相混合式步进电机步进角为 1.8° ,静转矩 $1.3\text{N}\cdot\text{m}$,额定相电流 2.8A 。
- (5) 输入与输出装置。输入接线端子板提供 NPN 和 PNP 两种类型开关量信号输入,输出继电器板集成 8 个单刀、单投继电器和两个双刀双投继电器。
- (6) 工作台。机械部分采用滚珠丝杠传动的模块化十字工作台,用于实现目标轨迹和动作。X 轴执行装置采用四相混合式步进电机,步进电机没有传感器,不需要反馈,用于实现开环控制。Y 轴执行装置采用交流伺服电机,交流伺服和交流伺服电机组成一个速度闭环控制系统。