

模块一 数控机床的认知

- 学习导航：**
1. 数控机床的产生与发展
 2. 数控机床加工的典型案例及应用范围
 3. 数控机床常见的构成与特点
 4. 数控机床的分类
 5. 与数控机床加工性能相关的精度指标和运动性能指标
 6. 数控机床的发展趋势
 7. 数控机床操作工应具备的职业岗位素养
 8. 与数控机床应用相关的知识拓展

第一单元：1.1 数控机床的产生与发展

1.2 数控机床的应用

1.3 数控机床的构成与特点

1.4 数控机床的分类

- 学习目标：**
1. 了解数控机床产生的背景
 2. 掌握数控机床发展历程，第一代至第六代数控系统的特征
 3. 熟知数控机床加工的典型案例
 4. 了解数控机床的应用范围
 5. 掌握数控机床是由四部分组成的
 6. 掌握数控机床所具备的特点
 7. 掌握按加工工艺方法可以数控机床分为五大类
 8. 掌握切削类典型的数控机床布局及应用

- 教学重点：**
1. 数控机床的应用范围及特点
 2. 组成数控机床主要的四个部分
 3. 金属切削类数控机床

- 教学难点：**
1. 五种金属切削类数控机床
 2. 切削类典型的数控机床布局及应用

- 辅助教学：**
1. 多媒体课件
 2. 微课

单元学时：2 学时

教学过程：

1.1 数控机床的产生与发展

一、数控机床的产生

数控机床是指采用了数控技术进行控制的机床,现代数控系统是通过计算机进行控制的,因此,将数控机床又称为 CNC 机床。

数控机床的产生,是机械制造业发展的必然,世界上第一台数控机床是为了满足航空工业制造复杂工件的需要而产生的。1952 年第一台由专用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床研制成功,于 1955 年进入实用阶段,这标志着制造业和控制领域一个崭新时代的到来。

二、数控机床的发展历程

伴随着微电子和计算机技术的不断发展,数控机床的数控系统在不断的更新,其发展过程如图 1-1 所示。

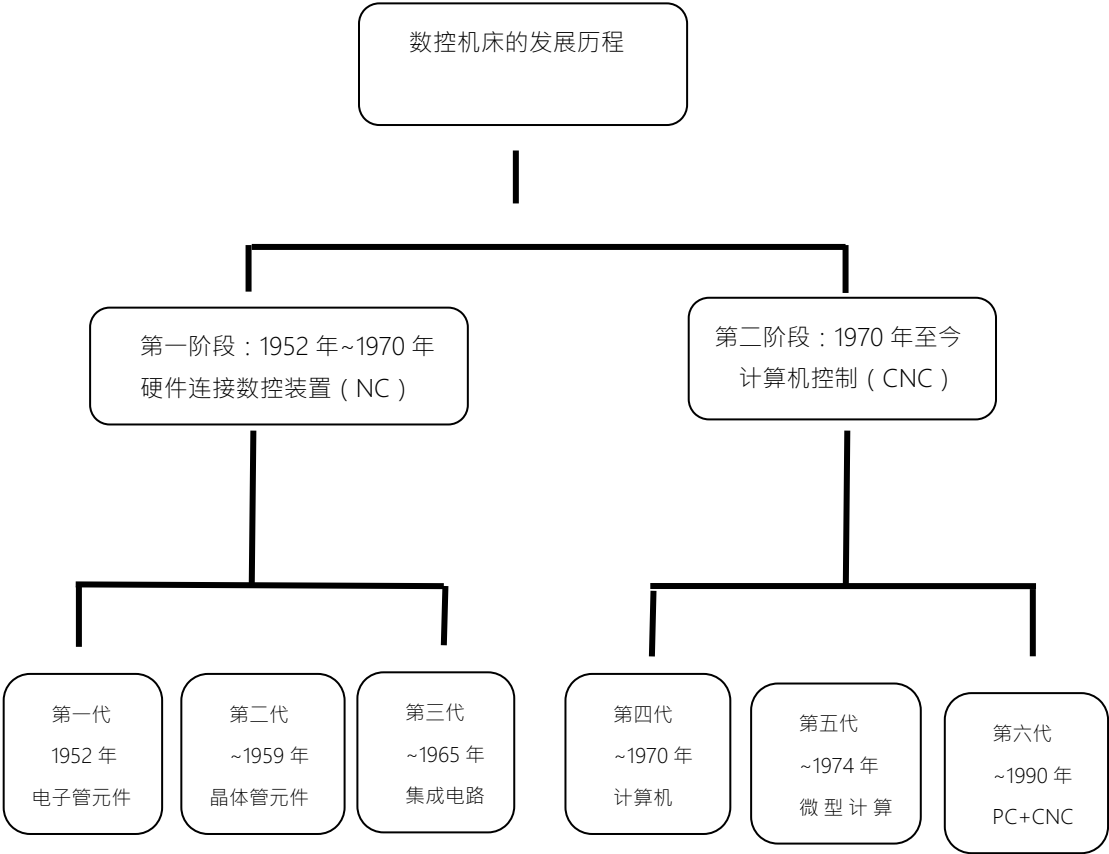


图 1-1 数控机床发展历程

1.2 数控机床的应用

一、数控机床加工的典型案例

1. 加工回转体零件

加工如图 1-1 所示的回转体零件辊轮，采用普通卧式车床加工该零件，无法达到图样上加工尺寸和精度的要求。而采用数控车床加工，则很容易达到加工要求。

2. 加工模具类零件

模具加工一般是单件小批量生产，而且加工面多为形状复杂的曲面，如图 1-2 所示为加工模具，选用数控铣床或加工中心，使得模具加工难度大的问题迎刃而解。

3. 加工箱体类零件

图 1-3 蜗轮减速器的箱体箱体类零件一般都具有孔系或型腔及多个平面，箱体类零件的加工特点是工序多、加工精度要求高，介绍蜗轮减速器的箱体的加工部位及内容及在卧式加工中心上加工的经济性。

4. 加工整体结构叶轮

在各类新型发动机及大推力火箭发动机设计中，多采用整体结构叶轮，以满足在高温、高压、高转速条件下叶轮能正常工作。叶轮选用的材料多为不锈钢、合金钢、耐高温钛合金等难切削材料。如图 1-5 所示的整体叶轮，加工的复杂性主要在于其叶片是复杂的曲面造型，需要采用五轴联动的数控机床能准确地将整体叶轮加工出来。

二、数控机床的应用范围

数控机床已经广泛应用于宇航、船舶、机床、汽车、轨道交通、能源（火电、水电、核电、风力发电等）、冶金、轻工、纺织、电子、医疗器件、通用机械、工程机械等几乎所有的制造行业。

1.3 数控机床的构成与特点

一、数控机床的组成

数控机床是典型的机电一体化产品，主要由人机交互装置、数控装置、伺服系统和机床本体四部分组成，如图 1-5 所示。

1. 人机交互装置

数控机床的操作人员要通过人机交互装置对数控系统进行操作和控制。

2. 数控装置

数控装置是数控机床最重要的组成部分。

3. 伺服系统

伺服系统是由伺服控制电路、功率放大电路和伺服电动机组成的数控机床执行机构。

4. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，从布局到结构都充分考虑适应数控加工的特点，它是用于完成各种切削加工的执行部件。

二、数控机床的特点

数控机床作为一种高自动化、高柔性、高精度、高效率的机械加工设备，具有以下优点：

1. 适应范围广
2. 生产准备周期短
3. 工序高度集中
4. 生产效率和加工精度高
5. 能完成复杂型面的加工
6. 有利于生产管理的现代化

数控机床相对于普通金属切削机床价格高，养护与维修费用较高，如果使用和管理不善，容易造成浪费并直接影响经济效益。因此，要求设备操作人员和管理者有较高的素质，严格遵守操作规程并履行管理制度。

1.4 数控机床的分类

数控机床是在通用机床的基础上发展起来的，它们和传统的通用机床工艺用途相似，因此，通常是按加工工艺方法对数控机床进行分类。还可以按数控系统运动控制方式或按伺服驱动的控制方式对数控机床进行分类。

一、按加工工艺方法分类

（一）金属切削类数控机床

1. 车削类数控机床

车削类数控机床包括卧式、立式、倒立式、车削中心、自动车床、专用车床等。典型的数控车床如图 1-7 所示。

2. 镗铣类数控机床

（1）数控铣床

典型的数控铣床如图 1-9 所示。其布局和结构与普通立式铣床相同，主轴带动刀具旋转，升降工作台可以做纵向、横向和垂直三个坐标轴方向的移动。图 1-10 平面凸轮零件、图 1-11 三维曲面凸模图和 1-12 所示的连接板零件，都适合在数控铣床上加工。

（2）加工中心

在普通数控机床上加装刀库和自动换刀装置，可构成一种带自动换刀系统的数控机床，称为加工中心。

如图 1-13 所示为立式加工中心，如图 1-14 所示的发动机罩模具零件适合在立式加工中心上加工。

图 1-15 所示为卧式加工中心，卧式加工中心的工作台可以做回转运动，一种是分度回转工作台，用于完成工件的分度；另一种是数控回转工作台，用于完成圆周进给运动。如图 1-16 所示的发动机机体，很适合在卧式加工中心上加工。

（3）钻削中心

图 1-17 所示为配有转塔主轴头的钻削中心。

3.复合类数控机床

复合类数控机床有主流的车铣复合或铣车复合机型，还有镗铣珩磨复合、车磨复合、激光切割冲切复合机等。

五轴加工中心具有铣削和车削复合加工能力。图 1-18 所示为五轴加工中心加工实例。

4.磨削类数控机床

磨削类数控机床包括外圆磨、内圆磨、万能磨、平面磨、强力成形磨、珩磨复合磨、专用磨床等。图 1-19 所示为 EL1507/HZ 高精度数控平面磨床。

5.齿轮加工类数控机床

齿轮加工类数控机床主要有数控滚齿机、数控插齿机、数控铣齿机和数控磨齿机等。图 1-20 (a) 所示为 YK3132 数控滚齿机的外观，该机床可以加工直齿圆柱齿轮、斜齿圆柱齿轮、锥齿轮和双联齿轮。图 1-20 (b) 所示为 YK3132 数控滚齿机加工斜齿圆柱齿轮的加工区域。

第二单元：1.4 数控机床的分类

1.5 与机床加工性能相关的精度指标和运动性能指标

1.6 数控机床的发展趋势

学习目标：1. 掌握按加工工艺方法可以数控机床分为五大类。

2. 认知特种加工类、金属成形类及其他类数控设备布局及应用

3. 了解 3D 打印技术与传统切削加工方式的区别及应用实例

4. 按运动方式、按伺服驱动的控制方式对数控机床进行分类

5. 了解数控机床精度指标的含义

6. 熟知数控机床发展趋势的具体内容

7. 了解数控机床的发展对加工制造业的影响

教学重点：1. 开环控制、闭环控制及半闭环控制数控机床的特征及特点

2. 数控机床精度指标的含义

3. 两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴联动及五轴联动数控机床的加工能力

4. 数控机床各运动参数对机床工作性能的影响

5. 数控机床发展趋势的具体内容

6. 校内实习操作或在企业顶岗实习期间，养成良好的职业素养

教学难点：1. 开环控制、闭环控制及半闭环控制数控机床的特征

2. 数控机床精度指标的含义

3. 两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴联动及五轴联动数控机床的加工能力

辅助教学：1. 多媒体课件

单元学时：2 学时

教学过程：

1. 4 数控机床的分类

（二）特种加工类数控机床

1. 数控电火花成型机床

图 1-21 所示为数控电火花成型机床，它适于加工难切削的材料，甚至超硬材料以及特殊及复杂形状的零件。按数控系统控制的轴数分为单轴数控型或三轴数控型，按机床的精度等级分为标准精度型和高精度型。

2. 数控电火花线切割机床

根据电极丝的运行速度，数控电火花线切割机床通常分为两大类：一类是高速走丝数控电火花线切割机床，走丝速度为 $8 \sim 12 \text{ m/s}$ ；另一类是低速走丝数控电火花线切割机床，走丝速度为 0.2 m/s 。图 1-22 所示为高速走丝数控电火花线切割机床。

（三）成形类数控机床

成形类数控机床是指具有通过物理方法改变工件形状功能的数控机床。它是采用挤、冲、压、拉等成形工艺方法对零件进行加工的。

1. 数控压力机

图 1-23 所示为 J92K-30A 数控冲模回转头压力机，该机床是一台高精密数控钣金加工设备。

2. 数控折弯机

图 1-24 所示为 WC67K 系列数控折弯机。

（四）3D 打印

3D 打印技术（*printing*）是快速成形技术的一种，也被称为增材制造技术。

增材制造解决了许多结构复杂的零件成型问题，减少加工工序，有效的缩短了加工周期。图 1-26 所示为 DMG MORI 公司 LASERTEC 65 3D 机床的激光头主轴，在进行激光粉末堆焊叶轮叶片的增料加工，粉末材料为钛。

（五）其他类数控设备

其他类数控设备主要有三坐标测量机、影像测量机、激光三维扫描仪、机器人等。

1. 三坐标测量机

图 1-27 所示为桥式三坐标测量机。三坐标测量机主要用于机械、汽车、航空、军工、模具等行业中的箱体、机架、齿轮、凸轮、蜗轮、蜗杆、叶片及其他零件上的曲线或曲面的测量。

2. 工业机器人

如图 1-28 所示的工业机器人为数控车床装卸工件。图 1-29 所示为通用技术集团大连机床曲柄加工自动线，其中的 FANUC 机器人通过 3D 与 2D 视觉，能具有自动识别被加工零件姿态并自动抓取功能。加工生产线运行中，该机器人完成工件的自动装卸与输送任务。

二、按运动方式分类

1. 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是数控系统只控制运动部件目标点的精确位置，而不控制运动部件的运动路径。图 1-30 所示为典型的点位控制数控钻床加工示意图。

数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床、数控点焊机及数控弯管机等均采用点位控制方式。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床的特点是除了控制机床的运动部件目标点的精确位置外，还能实现在起点和目标点之间沿直线或斜线的切削进给运动。图 1-31(a)为数控车床加工示意图，图 (b)为数控铣床加工示意图。

典型的直线控制数控机床有早期的数控车床、数控铣床和数控镗床。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制又称为连续轨迹控制。图 1-32 为轮廓控制数控机床加工示意图。

数控车床、数控铣床、加工中心、数控磨床、数控齿轮加工机床和各类数控切割机床均采用轮廓控制方式，

三、按伺服驱动的控制方式分类

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床的系统没有检测反馈装置，图 1-33 所示为开环控制系统框图。

开环控制数控机床具有结构简单、可靠性高、调试和维修方便、成本低等特点，但机床加工精度低。

2. 全闭环控制数控机床

全闭环控制数控机床的系统装有检测反馈装置，且在控制终端（机床移动部件）直接安装直线位移检测装置。图 1-34 所示为全闭环控制系统框图。

全闭环控制数控机床具有位移精度高，调试和维修较复杂、制造成本高的特点。

3. 半闭环控制数控机床

半闭环控制的位置检测反馈装置采用角位移检测元件，图 1-35 所示为半闭环控制系统框图。

采用半闭环控制的数控机床结构简单，调试和维修方便，控制系统具有良好的稳定性，相对全闭环控制系统而言制造成本低，应用较为广泛。

1.5 与机床加工性能相关的精度指标和运动性能指标

一、数控机床的精度指标

数控机床的精度主要是指定位精度、重复定位精度和加工精度。精度是数控机床的重要技术指标之一。

1. 定位精度和重复定位精度

定位精度是指实际位置与数控指令位置的一致程度。不一致量表现为定位误差。

定位误差包括伺服系统、进给系统和检测系统的误差，还包括移动部件导轨的几何误差等。

重复定位精度是指在数控机床上，反复运行同一程序代码，所得到的位置精度的一致程度。重复定位精度受伺服系统特性、进给系统的间隙、刚度以及摩擦特性等因素的影响，是一项非常重要的性能指标。

2. 分度精度

分度精度是指分度工作台在分度时，指令要求回转的角度值和实际回转的角度值的差值。

表 1-3 通用技术沈阳机床生产的加工中心的回转坐标轴精度指标。

3. 分辨率与脉冲当量

脉冲当量是设计数控机床的原始数据之一，其大小决定了数控机床的加工精度和表面质量。目前经济型数控机床的脉冲当量一般采用 0.01 mm；普通数控机床的脉冲当量一般采用 0.001 mm；精密型数控机床的脉冲当量一般小于 0.000 1 mm；最精密的数控系统的分辨率已达到 0.001 μm 。一般情况下，脉冲当量越小，数控机床的加工精度和加工表面质量越高。

4. 加工精度

数控机床的加工精度是靠机床本身的精度来保证的。数控机床精度包括几何精度、定位精度、重复定位精度和切削精度。表 1-4 列出了国产数控卧式车床、双主轴立式加工中心、立式加工中心、卧式加工中心和五轴立式加工中心的定位精度和重复定位精度指标。

二、机床数控系统的可控轴数与联动轴数

1. 机床数控系统的可控轴数

其中工作台可以做 X、Y 两个方向的直线运动和沿 C 方向的转动；主轴箱可以做 Z 方向的直线运动和沿 B 方向的摆动；主轴带动刀具旋转。

数控机床的可控轴数是指机床数控装置能够控制的坐标数目。如图 1-36 所示为五轴控制数控机床，包含了三个移动坐标轴和两个转动坐标轴。数控机床完成的运动越多，控制轴数越多，对应的功能越强，机床结构的复杂程度与技术含量越高。

2. 数控机床的联动轴数

机床数控装置控制各坐标轴协调动作的坐标轴数目称为联动轴数。目前有两轴联动、两轴半联动、三轴联动、四轴联动、五轴联动等。数控机床联动轴数越多，控制系统越复杂，加工能力越强。

通常两轴联动用于数控车床加工回转曲面或数控铣床加工如图 1-32 所示的曲面；两轴半联动是三个坐标轴中有两个坐标轴联动，另外一个坐标轴只做周期性的进给，加工如图 1-33 所示的三维空间曲面时；三轴联动数控机床可以用球头铣刀，加工如图 1-34 所示的三维空间曲面；四轴联动、五轴联动数控机床可以加工宇航叶轮、螺旋桨等零件。

五轴联动机床，可以使用刀具的最佳几何部位进行切削，加工出的曲面表面粗糙度好，加工效率较三轴联动机床有大幅度提高。

三、数控机床的运动性能参数

数控机床的运动性能指标主要包括主轴转速、进给速度和加速度、行程、回转轴的转角范围、刀库容量和换刀时间等。

1. 主轴转速

随着刀具、轴承、冷却、润滑及数控系统等相关技术的发展，中等规格的数控机床的主轴转速都有了很大的提高，如数控车床从过去的 1 000~2 000 r/min 提高到现在的 4 000~6 000 r/min，加工中心从过去的 2 000~3 000 r/min 提高到现在的 10 000 r/min 以上。

在高速加工的数控机床上，通常采用电主轴，可以使主轴转速达到每分钟数万转。

2. 进给速度和加速度

进给加速度是反映进给提速能力的性能指标，也是反映机床加工效率的重要指标。进给速度的提高受数控装置的运算速度、机床的特性及工艺系统刚度等因素的限制。

3. 行程

行程是指移动坐标轴可控制的运动区间。数控机床移动坐标轴 X、Y、Z 行程的大小，决定了数控机床允许的空间加工范围。

4. 回转轴的转角范围

回转轴的转角范围是指回转坐标轴可控制的摆角区间。对于具有回转坐标轴的数控机床，其转角的大小将直接影响加工零件空间部位的能力。

5. 刀库容量和换刀时间

刀具系统包括刀库容量（刀塔刀位数）、刀柄尺寸或型号、最大刀具尺寸、最大刀具重量及换刀时间等多项指标，其中的刀库容量和换刀时间会直接影响机床的加工效率。

一般中小型加工中心的刀库容量为 16~60 把，大型加工中心的刀库容量达到 100 把以上。

1.6 数控机床的发展趋势

数控机床综合了当今世界上许多领域最新的技术成果，主要包括精密机械、计算机与信息处理、自动控制与伺服驱动、精密检测与传感、网络通信等技术。数控机床制造业是关系到国家战略地位和体现国家综合国力的基础产业，其技术水平和拥有量是衡量一个国家工业化程度的重要标志。目前，数控机床被广泛应用于我国的制造业，随着市场的多样化需求及其相关技术的不断进步，数控机床也向更广的领域和更深的层次发展，并呈现出高性能、多功能、定制化、智能化和绿色化的发展趋势。

1. 高性能

数控机床在其发展过程中，一直在努力追求更高的加工精度、切削速度、生产效率和可靠性。未来数控机床将通过进一步优化的整机结构、先进的控制系统和高效的数学算法等，实现复杂曲线曲面的高速、高精度直接插补和高动态响应的伺服控制；通过数字化虚拟仿真、优化的静动态刚度设计、热稳定性控制、在线动态补偿等技术大幅度提高数控机床的可靠性和精度保持性。

2. 多功能

从不同切削加工工艺复合向不同成形方法的组合发展。例如：从目前的车铣复合、铣磨

复合向增材制造、减材制造和等材制造等成形方法的组合或混合方向发展。

3.定制化

根据用户的需求，在数控机床结构、系统配置、专业编程、切削刀具、在机测量等方面提供定制化设计，实现在加工工艺、切削参数、故障诊断、运行维护等方面提供定制化服务。而定制化服务的实现，需要模块化设计、可重构配置、网络化协同、软件定义制造、可移动制造等提供技术支撑。

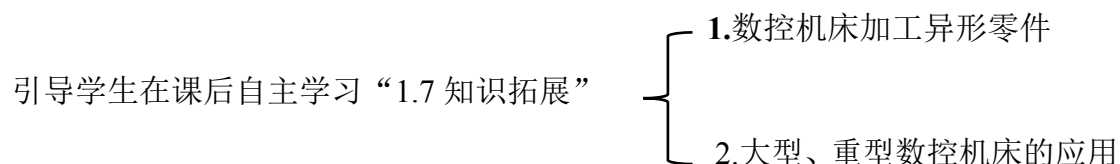
4.智能化

智能化加工的数控机床，其“感知、互联、学习、决策、自适应”将成为智能化的主要功能特征。通过传感器和标准通信接口，感知和获取机床状态和加工过程的信号及数据，通过变换处理、建模分析和数据挖掘对加工过程进行学习，形成支持最优决策的信息和指令，实现对机床及加工过程的监测、预报和控制，满足优质、高效、柔性和自适应加工的要求。

5.绿色化

绿色化是数控机床面向未来可持续发展的需求，具有生态友好的设计、轻量化的结构、节能环保的制造、最优化能效管理、清洁切削技术、宜人化人机接口和产品全生命周期绿色化服务等。

1.7 知识拓展



对项目一思政教育的补充说明：

本项目安排的思政教育内容，引导同学们在校内的实习操作或是在企业顶岗实习期间，要注重养成良好的职业岗位素养。数控操作工必须严格遵守安全规程、提倡团队协作精神和精心维护、保养数控设备的意识。

建议任课老师结合授课学期对思政教育工作的具体要求，对思政教育素材进行补充和完善。

模块二 数控机床的功能部件

- 学习导航：**
1. 数控机床功能部件的专业化制造
 2. 数控机床的运动部件组成
 3. 数控机床的导轨及基础件
 4. 加工中心的自动换刀系统
 5. 数控机床的辅助装置
 6. 数控机床常用的刀具及工具系统
 7. 走进大国工匠孙红梅
 8. 与数控机床功能部件相关的知识拓展

第一单元：2.1 数控机床的功能部件及专业化制造
2.2 数控机床的运动部件

- 学习目标：**
1. 熟知功能部件是组成数控机床的基本单元。
 2. 了解功能部件实施专业化生产对数控机床发展的重要意义。
 3. 了解数控机床主运动传动系统的特点及主传动系统常用的变速方式。
 4. 掌握数控机床主轴常用的轴承配置形式。
 5. 熟知数控机床电主轴的结构特点和应用范围。
 6. 对进给传动系统的要求

- 教学重点：**
1. 数控机床的功能部件及功能部件的专业化制造。
 2. 数控机床主运动传动系统的特点及变速方式。
 3. 数控机床主轴常用的轴承配置形式。
 4. 电主轴的结构、性能及应用。

- 教学难点：**
1. 数控机床主运动传动系统变速方式。
 2. 数控机床主轴常用的轴承配置形式。
 3. 电主轴的结构、性能及应用。

辅助教学：多媒体课件

单元学时：2 学时

教学过程：

2.1 数控机床功能部件及专业化制造

一、数控机床的功能部件

主轴单元 (含电主轴)、五轴联动摆头、数控系统、伺服驱动及电机、滚珠丝杠副、滚动导轨副、刀库与换刀机构、数控回转刀架、回转工作台、数控工具系统

、冷却润滑系统、测量反馈以及安全防护装置等统称为数控机床的功能部件，它是数控机床的重要组成部分，功能部件的性能已成为整机性能的决定性因素。

图 2-1(a)所示为去掉防护装置的卧式加工中心，主轴单元、滚珠丝杠副、回转工作台、刀库和机械手及防护装置等是组成卧式加工中心的主要功能部件。

图 2-1(b)所示为去掉防护装置的数控车床，主轴单元、回转刀架、滚珠丝杠副、滚动导轨副及防护装置等是组成数控车床的主要功能部件。

二、功能部件的专业化制造

功能部件生产的专业化已成为国内外数控机床制造行业的普遍做法，只有实施专业化生产，才能不断提升功能部件的发展水平，为机床制造厂提供功能完善、品质优良、运行可靠、结构标准化且性价比合适的选件，缩短机床新产品开发和制造周期，为数控机床的快速发展奠定坚实的基础。

近几年，我国数控机床制造业发展迅速，带动了功能部件技术水平和产品档次的提高。

2.2 数控机床运动部件的组成

一、主运动传动部件

(一) 主传动系统的特点

(1)主轴转速高，输出功率大，能满足数控机床高速切削和大功率切削的需要，实现高效率加工。

(2)主轴能自动无级变速且变换迅速可靠，使切削工作始终在最佳状态下进行。

(3)为实现加工中心的刀具快速或自动装卸，主轴单元设计有刀具自动装卸、夹紧、主轴定向停止和主轴孔内的切屑清除装置。

(二) 主传动系统的变速方式

数控机床的主传动系统要求有较大的调速范围，以保证在加工不同材料的工件时能选用合理的切削用量，从而获得最佳的生产率、加工精度和表面质量。目前数控机床普遍采用无级变速系统或电主轴。

数控机床主传动系统主要有如图 2-2 所示的三种配置方式。

1. 带有变速齿轮的主传动系统

如图 2-2(a)所示的配置方式在大、中型数控机床中采用较多，图 2-3 所示，主轴电动机的转动经几对变速齿轮的降速传动，使主轴实现分段的无级变速，确保低速时输出大扭矩，以满足主轴输出扭矩特性的要求。

2. 同步带传动的主传动系统

如图 2-2(b)所示，主轴电动机经带传动到主轴是数控机床上应用较多的传动结构，它可以避免齿轮传动时引起的振动和噪声，带传动应用比较多的是同步带，也有用多楔带传动的。

同步带的传动结构如图 2-4(b)所示,同步带的工作面及带轮外圆上均制成齿形。工作时,带齿与带轮的轮槽相啮合,综合了齿轮传动、带传动和链传动的优点。与一般带传动相比,同步带传动具有如下优点:

- 1)齿啮合传动无相对滑动,传动比准确;
- 2)传动效率高,可达 98%以上;
- 3)传动平稳,噪声小;
- 4)使用范围较广,速度可达 50 m/s ,速比可达 10 左右,传递功率由几瓦至数千瓦;
- 5)维修保养方便,不需要润滑。

图 2-5 所示为电机到主轴经同步带传动的结构图。

多楔带又被称为复合三角带,图 2-6 所示为多楔带的结构。多楔带具有如下特点:

(1) 楔带表面与轮槽之间的接触率几乎达到 100%,故相同宽度的多楔带与普通 V 带比较,承载能力增加 30%。

(2) 多楔带传动带的伸长率小,楔带与轮槽表面有极小的相对滑动,摩擦发热少,运转平稳,使用寿命更长。

(3) 传动比可以达到 1:10,线速度可达 40 m/s 。

(4) 传动效率高,紧凑结构,但多楔带传动必须设有带轮张紧装置。

3.由调速电动机直接驱动的主传动系统

如图 2-2(c)所示的主传动方式大大简化了主轴箱体与主轴的结构,图 2-7 所示是主轴电动机经联轴器驱动主轴的传动结构。

4.内置电动机主轴的主传动

如图 2-2(d)所示的内置电动机主轴的传动方式,是将主轴电动机的定子、转子直接装入主轴单元内部,称之为电主轴。

(三) 主轴单元

数控机床的主轴单元是机床的重要部件之一,它带动工件或刀具按照系统指令,执行机床的切削运动。

1.主轴前端结构

主轴的前端用于安装刀具或夹具,机床工作时主轴直接承受切削力,因此要求主轴前端结构保证定位准确、安装可靠、能传递足够的扭矩。数控车床、数控铣床、加工中心、数控磨床等典型数控机床主轴前端的结构已标准化,如表 2-1 所示。

2.主轴轴承

主轴轴承的类型、结构、精度、配置、安装、润滑都直接影响主轴单元的工作性能。滚动轴承的摩擦力小，预紧方便，润滑维护简单，可以在一定转速范围和载荷变动范围内稳定地工作，中小型数控机床上普遍采用滚动轴承。一般重型数控机床主轴采用静压轴承。数控机床主轴常用滚动轴承的类型如图 2-8 所示。

图 2-8(a)所示为双列短圆柱滚子轴承，其内孔为 1:12 的锥孔，承载能力大、支承刚性好、允许的极限转速高。

图 2-8(b)所示为双向推力角接触球轴承，接触角为 60° ，能承受双向轴向载荷。该轴承轴向刚度较高，允许的极限转速高，一般与双列短圆柱滚子轴承配套使用。

图 2-8(c)所示为角接触球轴承，能同时承受径向和轴向载荷，结构简单，调整方便，允许的极限转速高，承载能力较低。

图 2-8(d)所示为双列圆锥滚子轴承，能同时承受径向和轴向载荷，允许的极限转速低。

图 2-8(e)所示为空心圆锥滚子轴承，结构上与图 2-5(d)所示的轴承相似，但其滚子是空心的，保持架为整体结构，采用油润滑。

3. 主轴轴承配置形式

主轴承受的切削力分为径向力和轴向力，在使用时，应根据主轴的精度、刚度和转速来选择轴承配置形式。

图 2-9 所示为适应高刚度主轴的轴承配置形式。

图 2-10 所示为适应高速主轴的轴承配置形式。

主轴轴承的配置除了以上两种形式之外，还有前支承采用双列圆锥滚子轴承，后支承采用单列圆锥滚子轴承的配置形式。适用于中等精度、低速与重载的数控机床主轴。

4. 数控车床的液压动力卡盘

图 2-11 所示为数控车床用液压动力卡盘的液压缸结构，图 2-12 所示为动力卡盘前端结构。

5. 加工中心主轴准停装置

加工中心的切削扭矩是由主轴端面键来传递的，刀具装入主轴锥孔时，刀柄上的键槽必须对准主轴前端面的凸键，因此加工中心的主轴部件均设有准停装置。图 2-13 所示为主轴电气准停装置工作原理图。该主轴准停装置可保证主轴准停的重复精度在 $\pm 1^\circ$ 范围内。

(四) 电主轴

1. 电主轴的结构

数控机床为了实现高速、高效、高精度的加工，要采用特定的主轴功能部件，并且要具有大功率、宽调速范围的特性。而最适于高速运转的主轴形式是电主轴。图 2-14 所示为电主轴的基本组成，电源接口 1 与主轴电气控制模块相连接，主轴壳体 2 相当于电动机座，它安装在主轴箱内。主轴 5 由前轴承 6 和后轴承 7 来支承。冷却装置强制循环以控制电动机的温升。

2. 电主轴的性能

在性能方面电主轴是一种智能型功能部件，不仅转速高、功率大，还具有控制主轴温升与振动等机床运行参数的功能，可保证主轴高速运转的可靠性与安全性。在控制方面，电主轴通过交流变频控制系统，使主轴获得所需的工作速度和扭矩。

图 2-15 所示为 SIEMENS 公司生产的各类电主轴，其中图 (a) 为 2SP120 标准铣削电主轴；图 (b) 为 D-车削电主轴；图 (c) 为 S-磨削电主轴。

3. 电主轴的应用

电主轴是将数控机床主轴与主轴电机融为一体的新技术，最初主要用于轴承行业的高速内圆磨削领域，随着数控技术和变频技术的发展，电主轴已广泛应用于数控车床、加工中心、数控磨床及各类数控雕刻机床。电主轴不仅在高速切削机床上得到了广泛应用，也应用于对工件加工有高效率、高表面质量要求的场合以及对小孔的加工。一般主轴转速越高，加工的表面质量越好，尤其是对于直径不足 1 mm 的小孔，采用高转速的主轴有利于提高内孔加工质量。

二、进给运动传动部件

数控机床的进给运动是数字控制的直接对象，采用无级调速伺服驱动方式，被加工工件的最终位置精度和轮廓精度都与进给运动的传动精度、灵敏度和稳定性有关。

(一) 对进给传动系统的要求

进给传动系统通常是由伺服电动机、同步带轮传动副和滚珠丝杠螺母副组成的，有的机床是伺服电动机经联轴器直接与滚珠丝杠连接，如图 2-16 所示。滚珠丝杠螺母副的作用是将电动机的旋转运动转换为执行部件的直线运动。

数控机床对进给系统有以下几点要求：

1. 传动件摩擦阻力小、无传动间隙；
2. 传动元件具有高的寿命和高的刚度；
3. 运动部件灵敏度高、响应速度快；
4. 高的传动精度和定位精度；
5. 使用维护方便。

第二单元：2.2 数控机床的运动部件

学习目标： 1. 掌握滚珠丝杠螺母副的结构特点及消除滚珠丝杠副间隙的方法。
2. 掌握齿轮副消除传动间隙的方法。
3. 掌握数控回转刀架的结构特征和换刀工作过程。
4. 更换主轴头换刀方式及应用
5. 熟知数控分度工作台和数控回转工作台的工作原理及工作过程。

教学重点： 1. 滚珠丝杠副间隙的调整方法。
2. 齿轮副传动间隙的调整方法。
3. 鼠牙盘式数控分度工作台的应用。
4. 数控回转工作台的工作过程。

教学难点： 1. 滚珠丝杠副间隙的调整方法。
2. 齿轮副传动间隙的调整方法。
3. 数控回转工作台的工作过程。

辅助教学： 1. 多媒体课件
2. 微课

单元学时： 2 学时

教学过程：

2.2 数控机床的运动部件

二、进给运动传动部件

(二) 滚珠丝杠螺母副

1. 滚珠丝杠螺母副的结构

滚珠丝杠螺母副的结构特点是在具有螺旋槽的丝杠螺母间装有滚珠，以减少摩擦。图 2-17 所示为滚珠丝杠副的结构，其工作原理是：在丝杠和螺母上加工有弧形螺旋槽，当把它们套装在一起时可形成螺旋滚道，并且滚道内填满滚珠，当丝杠相对于螺母做旋转运动时，两者间发生轴向位移，而滚珠则可沿着滚道滚动，减少摩擦阻力，滚珠在丝杠上滚过数圈后，通过回程引导装置(回珠器)，逐个滚回到丝杠和螺母之间，构成一个闭合的回路管道。

按滚珠循环方式的不同，滚珠丝杠副可以分为内循环式和外循环式两种。

滚珠在循环滚动过程中与丝杠始终接触的称为内循环式。如图 2-17 (a) 所示，内循环式的滚珠丝杠带有反向器，一般一个螺母上装有 2~4 个反向器，反向器沿螺母圆周等分均布。内循环式的优点是径向尺寸紧凑、刚性好。因其返回滚道行程较短，摩擦损失小，传动效率高。

滚珠在返回过程中与丝杠脱离接触的称为外循环式，如图 2-17(b)所示。外循环式的滚珠丝杠副按滚珠返回的方式不同，有插管式和螺旋槽式，图 2-18 (a) 所示为插管式，其特点是结构简单、容易制造，但由于返回滚道凸出于螺母体外，所以径向尺寸较大，且弯管两端耐磨性和抗冲击性差。图 2-18 (b) 所示为螺旋槽式，即在螺母外圆上铣出螺旋槽，在槽的两端钻出通孔并与螺纹滚道相切，以形成返回滚道。与插管式的结构相比，螺旋槽式的径向尺寸小，但制造上较为复杂。

2. 滚珠丝杠副的特点

1) 传动效率高: 滚珠丝杠副的传动效率很高，可达 92%~98%，是普通丝杠传动的 2~4 倍。

2)定位精度和重复定位精度高：滚珠丝杠副的驱动力矩减少至滑动丝杠的 1/3 左右，发热率大幅降低，温升减小，具有高的定位精度和重复定位精度。

3)使用寿命长：滚珠丝杠副采用优质合金钢制成，其滚道表面经淬火热处理后硬度高达 60~62HRC，其实际寿命远高于滑动丝杠。

4)刚度高：滚珠丝杠副经预紧后可以消除轴向间隙，提高系统的刚度。

5)传动的可逆性：滚珠丝杠副消除了在传动过程中可能出现的爬行现象,能够实现将旋转运动转化为直线运动或将直线运动转化为旋转运动并传递动力这两种传动方式。

滚珠丝杠副具有上述优点，在各类中、小型数控机床中普遍采用滚珠丝杠。但是由于滚珠丝杠副的摩擦因数小、不能自锁，所以当作用于垂直位置时，为防止因突然停电而造成主轴箱自动下滑，必须加有制动装置

3.滚珠丝杠副间隙的调整

滚珠丝杠副的传动间隙是轴向间隙。为了保证滚珠丝杠副反向传动精度和轴向刚度，可以通过预加载荷够有效地减少滚珠丝杠副弹性变形所带来的轴向位移。采用预紧方法消除轴向间隙时应注意，预紧力不宜过大，过大的预紧力将增大摩擦力，使传动效率降低，缩短丝杠的使用寿命。一般需要经过多次调整，才能保证机床在最大轴向载荷下既有效消除间隙又能灵活运转。

(1) 单螺母滚珠丝杠副间隙调整

1) 变位导程预紧 如图 2-19 (a) 所示，在螺母内螺纹滚道中部的一圈上增加一个导程突变量 Δ ，使螺母内的螺旋槽与螺杆上的螺旋槽有反方向的一个位移差 Δ ，装配后左右端的滚珠产生轴向错位实现了预紧，此时滚珠与丝杠螺母的内螺旋滚道是两点接触。

单螺母变位导程预紧方法通常用于外循环式滚珠丝杠副，且传动效率高，精度保持期长，适用于中、高精度，低负荷场合。但是因工作磨损出现间隙后，一般无法再进行预紧。

2) 增大钢球直径预紧 如图 2-19 (b) 所示 , 滚珠直径比螺旋滚道的珠槽大 ,

滚珠与丝杆螺母的内螺旋滚道是四点接触，以此达到预紧。

单螺母增大钢球直径预紧方法可用于内循环式和外循环式的滚珠丝杠副，其承载力大，但磨损快，适用于低精度、高负荷场合。因磨损出现间隙后，一般无法再进行预紧。

1) 双螺母垫片调隙式结构

图 2-20 所示为双螺母垫片调隙式结构，其特点为结构简单、刚性好、装卸方便可靠；其缺点是调整精度不高，且滚道磨损时，不能随时消除间隙和进行预紧。该调整结构仅适用于一般精度的数控机床。

2) 双螺母齿差调隙式结构

图 2-21 所示为双螺母齿差调隙式结构，调整时先将内齿圈取下，根据间隙的大小调整两个螺母 1、2 分别向相同的方向转过一个或多个齿，使两个螺母在轴向移近相应的距离以达到调整间隙和预紧的目的。

双螺母齿差调隙式特点：结构较为复杂，尺寸较大，但是调整方便，可获得精确的调整量，适用于高精度传动。

间隙消除量 Δ 的计算公式为： $\Delta = nt/z_1 \cdot z_2$ 或 $n = \Delta z_1 \cdot z_2 / t$ (2-1)

式中 n ——螺母在同一方向转过的齿数；

t ——滚珠丝杠的导程；

z_1 、 z_2 ——螺母凸圆上齿轮的齿数。

举例说明调整量的计算。

3) 双螺母螺纹调隙式结构

图 2-22 所示为双螺母螺纹调隙式结构，其特点为简单紧凑、调整方便，但调整精度较差。

4. 滚珠丝杠的安装

滚珠丝杠所承受的主要是轴向载荷，它的径向载荷主要是卧式丝杠的自重。对滚珠丝杠的轴向精度和刚度要求较高。滚珠丝杠的两端支承布置结构形式如图 2-23 所示。

(1) 一端固定一端自由的支承形式 如图 2-23(a)所示。

特点：结构简单、承载能力小、轴向刚度和临界转速都较低。

应用：该支承形式适用于短丝杠，例如用于数控机床的调节环节或升降台式铣床的垂直坐标进给传动机构。

(2) 一端固定一端浮动的支承形式 如图 2-23(b)所示。

特点：当丝杠受热后膨胀伸长时，一端固定，另一端能做微量的轴向浮动，可减少丝杠热变形的影响。

应用：这种形式的配置结构适用于较长丝杠或卧式丝杠。

3) 两端固定的支承形式

图 2-23(c)所示的两端固定的支承形式，其止推轴承装在丝杠的两端。

特点：该支承形式的结构及装配工艺性都较复杂，对丝杠热变形较为敏感，适用于长丝杠。

应用：适用于长丝杠。

图 2-23(d)所示两端固定的支承形式，丝杠两端均采用推力轴承和向心球轴承的双重支承并施加预紧力。

特点：丝杠有较大的刚度，并且可以使丝杠的温度变形转化为推力轴承的预紧力。

(三) 传动齿轮间隙消除机构

数控机床传动齿轮副的齿侧间隙会造成进给系统每次反向运动滞后于指令信号，丢失指令脉冲并产生反向死区，对加工精度影响很大。因此，必须采用各种方法减少或消除齿轮副传动间隙。

1.直齿圆柱齿轮传动间隙的调整

1) 偏心套调整 采用偏心套来调整和消除齿侧间隙的结构如图 2-24 所示。

2) 轴向垫片调整 图 2-25 所示是用轴向垫片来消除间隙的结构。调整时，只需改变垫片 3 的厚度，就可使齿轮 2 做轴向移动，使两齿轮沿轴向产生相对位移，从而达到消除齿侧间隙的目的。

上述两种方法的特点：结构比较简单、传动刚度好、能传递较大的动力，但齿轮磨损后齿侧间隙不能自动补偿。因此加工时对齿轮的齿厚及齿距公差要求较严，否则传动的灵活性将受到影响。

3) 双齿轮错齿调整 双齿轮错齿调整间隙的结构如图 2-26 所示。

特点：调整法结构较复杂，传动刚度低，不宜传递大扭矩，对齿轮的齿厚和齿距要求较低，可始终保持齿侧无间隙啮合，尤其适用于检测装置。

2. 斜齿圆柱齿轮传动间隙的消除

1) 垫片调整 如图 2-27 所示，宽齿轮 4 同时与两个相同齿数的斜齿轮 1 和 2 啮合，且相互间无相对回转。垫片 3 的厚度和齿侧间隙关系的计算公式为：

$$t=\Delta\cot\beta$$

式中 β ——斜齿轮的螺旋角；

Δ ——齿侧间隙；

t ——垫片厚度。

特点：调整方法结构紧凑，可以通过计算确定垫片厚度，但是磨损后不能自动补偿间隙。

2) 轴向压簧调整 其结构如图 2-28 所示，薄片齿轮 1 和 2 用键与轴连接，相互间无相对转动。

特点：轴向尺寸较大，结构不紧凑；其优点是可以自动补偿齿侧间隙。

3.锥齿轮传动间隙的消除

1) 周向压簧调整 如其结构图 2-29 所示。

2) 轴向压簧调整 如其结如图 2-30 所示。

锥齿轮传动间隙的这两种调整方法，能保证齿轮磨损后自动补偿齿侧间隙。周向压簧调整方法的结构较复杂，而轴向压簧调整方法的结构简单。具体选用那种调整方法，要根据两锥齿轮传动结构而定。

三、数控回转刀架和回转工作台

(一) 数控回转刀架

1.用于数控车床的回转刀架

(1) 用于数控车床的回转刀架

数控车床上使用的回转刀架是一种最简单的自动换刀装置，根据不同的使用对象，刀架可以设计为四方形、六角形或其他形状。回转刀架可分别安装四把、六把以及更多的刀具，并按数控装置发出的指令转位和换刀。

由于数控车床的切削加工精度在很大程度上取决于刀尖位置，而且在加工过程中刀尖位置不能进行人工调整，因此，回转刀架在结构上必须具有良好的强度和刚性以及合理的定位结构，以保证回转刀架在每一次转位后，具有尽可能高的重复定位精度。

四方形回转刀架应用于经济型数控车床，刀塔应用于全功能数控车床。刀塔的结构及换刀工作过程见项目三图 3-25 及文字叙述。

图 2-31 所示为数控车床四方形刀架的结构，其换刀过程如下：

- (1) 刀架抬起
- (2) 刀架转位
- (3) 刀架定位
- (4) 刀架夹紧

2. 更换主轴头换刀

在带有旋转刀具的数控机床中，更换主轴头换刀是一种常见的换刀方式。按照主轴的位置，主轴头有立式和卧式两种，而且常用转塔的转位来更换主轴头以实现自动换刀。在各个主轴头上预先装有各工步加工需要使用的旋转刀具，当接到换刀指令时，各主轴头依次转到工作位置，并通过主传动系统使相应的主轴带动刀具旋转，而其他不处于加工位置的主轴都与主传动系统脱开。

图 2-32 所示为卧式 8 轴转塔头的结构图。转塔头上径向分布着 8 根结构完全相同的主轴 7，主轴的回转运动由齿轮 12 输入，每次换刀的动作顺序分五步进行。

- (1) 脱开主轴运动
- (2) 转塔头抬起
- (3) 转塔头转位
- (4) 转塔头复位
- (5) 接通主轴运动

更换主轴头换刀方式的主要优点是省去了自动松开、卸刀、装刀、夹紧以及刀具搬运等一系列复杂的操作，从而减少了换刀时间，提高了换刀的可靠性。但是由于结构上的原因和空间位置的限制，主轴的数目不可能很多。因此更换主轴头换刀通常只适用于工步较少、精

度要求不太高的数控机床，如钻削中心等。

（二）数控回转工作台

数控回转工作台是构成多坐标联动加工中心的回转、倾斜坐标的重要基础部件，同时也是数控机床扩大工艺范围和提高加工性能的关键部件。一般的回转工作台可以实现分度运动；数控回转工作台可以实现圆周方向的进给运动。对于自动换刀的多工序数控机床来说，回转工作台已成为一个不可缺少的部件，它给箱体零件的加工带来了便利。

1. 分度工作台

分度工作台的功用：按照数控系统的指令，在需要分度时工作台连同工件回转规定的角度，以改变工件相对于主轴的位置，使工件一次安装可以加工多个表面。

分度工作台的特点是只能够完成分度运动，而不能实现圆周进给运动，并且它的分度运动只能完成一定的回转度数，如 90° 、 60° 或 45° 等。分度工作台也可采用手动分度。

分度工作台的典型结构是鼠牙盘式分度工作台，其优点是定位刚度好，重复定位精度高，分度精度可达到 $\pm (0.5 \sim 3)''$ ，且结构简单。但是，鼠牙盘对制造精度要求很高，且不能以任意角度分度，只能分被鼠牙盘齿数除尽的角度。

鼠牙盘回转工作台可以与数控机床制成一体，也可以作为独立附件使用，已广泛应用于各种数控加工设备和测量装置中。图 2-33 为鼠牙盘分度工作台附件，可以安装在数控铣床、结构中心的工作台上使用。

2. 数控回转工作台

从外形上看，数控回转工作台与分度工作台没有多大的差别，但在内部结构和功能上二者有较大的区别。

如图 2-34 所示的数控回转工作台由传动系统、间隙消除装置及蜗轮夹紧装置等组成。

第三单元：2.3 数控机床导轨及基础件

2.4 加工中心的自动换刀系统

学习目标：1. 掌握滚动导轨副的结构特征及组合安装形式。

2. 掌握贴塑导轨的特点及安装操作过程。

3. 熟悉数控铣床、加工中心基础件的布局形式及工艺特点。

4. 了解加工中心具备完善的自动换刀系统。

5. 熟悉盘式刀库的布局结构和取刀方式；链式刀库的布局形式和结构特点。

6. 掌握双臂机械手的手爪结构及交换刀具的工作过程。

7. 熟悉立式加工中心和卧式加工中心上典型的自动换刀系统。

学习重点：1. 加工中心基础件的布局形式及工艺特点。

2. 盘式刀库的布局结构和取刀方式；链式刀库的布局形式和结构特点。

3. 双臂机械手的手爪结构及交换刀具的工作过程。

4. 立式加工中心和卧式加工中心上典型的自动换刀系统。

学习难点：1. 盘式刀库的布局结构和取刀方式。

2. 双臂机械手的手爪结构及交换刀具的工作过程。

3. 刀具交换装置中自动选择刀具的方式。

辅助教学：1. 多媒体课件

2. 微课

单元学时：2 学时

教学过程：

2.3 数控机床导轨及基础件

一、数控机床的导轨

机床导轨主要用来支承和引导运动部件沿一定的轨道运动。导轨副中运动的部件称为动导轨，固定不动的部件称为支承导轨。动导轨相对于支承导轨的运动形式有直线运动和回转运动两种。

机床的加工精度和使用寿命在很大程度上取决于机床导轨的质量，而加工精度较高的数控机床对于导轨有着更高的要求。目前数控机床使用较多的是摩擦因数较小的滚动导轨和贴塑导轨，也有采用静压导轨的。

(一) 滚动导轨

滚动导轨是在导轨工作面间放入滚动体，滚动体为滚珠、滚柱或滚针，使导轨面间形成滚动摩擦，摩擦因数为 0.0025~0.005，并且动、静摩擦因数相差很小，几乎不受运动速度变化的影响，运动轻便灵活，可以使用油脂润滑。

1. 滚动直线导轨副

滚动直线导轨副的结构如图 2-35(a)所示，导轨 1 可以设计成不同的结构，一般安装在数控机床的床身或立柱等支承面上，滑块 2 安装在工作台或滑座等移动部件上。

图 2-35(b)所示的滚动直线导轨副，其滚动体为滚珠；图 2-34(c)所示的滚动直线导轨副，其滚动体为滚柱。

滚动直线导轨副通常两根成对使用，当机床所需的长度超过单根导轨的最大长度时，可以将多根导轨拼接安装。滚动直线导轨副的组合安装形式如图 2-36 所示。

1) 水平正装

图 2-36 (a)所示为在同一平面内平行安装两根导轨副，滑块固定在机床的移动部件上，称为水平正装，这是最常用的组合安装形式。

2) 水平反装

图 2-36 (b)所示是把滑块作为基座，将导轨固定在机床的移动部件上，称为水平反装。

3) 侧装

根据数控机床床身及移动部件结构的需要，导轨副还可以安装在床身的两侧。图 2-36 (c) 所示为滑块固定在移动部件上；图 2-36 (d) 所示为导轨固定在移动部件上。

如图 2-37 (a) 所示为单导轨定位，在同一平面内平行安装两根导轨副时，为保证两条导轨平行，通常把一条导轨作为基准导轨，也称为基准侧导轨。单导轨定位易于安装，容易保证平行度，非基准侧对床身没有侧向定位面平行的要求。

如图 2-37 (b) 所示，非基准侧导轨的侧面也需要定位的组合安装形式为双导轨定位。双导轨定位适合于振动和冲击较大，精度要求较高的场合。

2. 滚动导轨块

图 2-38 为滚动导轨块结构示意图，滚动导轨块主要由中间导向、保持器、滚柱等组成。

导轨块安装在机床的运动部件上，两条导轨一般要安装 12 块滚动导轨块，如果运动部件较长时，要用更多的导轨块。安装导轨块时，为了使导轨块获得均衡的载荷，建议选择具有相同分组选号的滚动导轨块安装。

(二) 贴塑导轨

目前，数控机床上广泛使用的贴塑导轨是一种金属对塑料的摩擦形式，属于滑动摩擦导轨，兼具摩擦因数小，动、静摩擦因数差很小，使用寿命长等特点，适用范围非常广泛。

1. 贴塑导轨的结构和制作方法

贴塑导轨是用粘贴的方法在金属导轨表面贴上一层塑料软带，聚四氟乙烯导轨软带是贴塑导轨中最成功的一种。导轨软带用在导轨副的运动导轨上，在导轨的滑动面上贴有一层软带，与之相配的铸铁或钢质导轨的滑动面为淬火磨削面。

贴塑导轨的制做过程如图 2-39 所示。粘贴好的导轨面还要进行精加工，如图 2-40 (a) 工刮研和图 2-40 (b) 开油槽等。有时为了使导轨对软带起到定位作用，导轨粘贴面上要加工出 0.5~1 mm 深的凹槽。与贴塑导轨配对使用的金属导轨的表面粗糙度要求为 $Ra\ 0.4\sim0.8\ \mu m$ 。

2. 聚四氟乙烯导轨软带的特点

(1) 具有较高的定位精度。

(2) 耐磨性好。

(3) 减振性能好。

(4) 工艺性好。

此外，还有化学稳定性好、维护修理方便、经济性好等特点。

(三) 静压导轨

静压导轨是指在两个相对运动的导轨面之间通入具有一定压力的润滑油以后，使动导轨微微抬起，在导轨面间充满润滑油所形成的油膜，保证导轨面间在液体摩擦状态下工作，不产生磨损，精度保持性好。

二、数控机床的基础件

(一) 床身

床身是机床的主体，是整个机床的基础支承部件，床身上一般要安装导轨；支承主轴箱、立柱、滑枕等部件。床身的结构对机床的布局有很大的影响。根据数控机床的类型不同，床身的结构形式也多种多样。

1. 数控车床的床身

数控车床的床身根据机床总体布局的不同类型，可分为平床身、斜床身、前斜床身和直立床身等四种形式，见图 3-9。

2. 立式加工中心的床身

中、小型立式加工中心，通常是采用固定立柱式的床身结构。如图 2-41a) 所示，由于床身上支承溜板的两导轨跨距比较窄，致使工作台移动到达行程的两端时，容易出现翘曲，直接影响加工精度。为了避免工作台翘曲，可采取增加辅助导轨的措施，如图 2-41) 所示的立式加工中心上，增设了两辅助导轨 6。

3. 卧式加工中心的床身

小型卧式加工中心，立柱相对床身的布局多采用固定立柱式，床身则采用整体结构。

大、中型卧式加工中心，立柱相对床身的布局多采用移动立柱式，床身采用如图 2-42 所示的 T 形床身结构，T 形床身由横置的前床身（横床身）和与它垂直的后床身（纵床身）组成。

按加工工艺的不同，有整体的 T 形床身和分离式的 T 形床身两种，分离式的是将纵床身与横床身分开加工，组装成 T 形床身，在组装之前，前、后床身的连接面需要刮研，联接时用专用定位销和定位键定位，沿截面四周用大螺栓固定。这种分离式 T 形床身，是中、大型卧式加工中心床身常用的结构形式。

（二）立柱

加工中心的立柱用于支承主轴箱，主轴箱沿立柱导轨上下移动进给。对立柱的基本要求是要有足够的构件强度、良好的抗振性和抗热变形性。

1. 立式加工中心的立柱

如图 2-43 (a) 示，立式加工中心的立柱在前侧面有垂直导轨，主轴箱安装在立柱导轨上，由伺服电动机驱动，经滚珠丝杠副传动主轴箱垂直进给。

图 2-42 (b) 所示为立柱的横截面，主轴箱的平衡配重装置可在立柱内腔随主轴箱升降。

2. 卧式加工中心的立柱

如图 2-44 (a) 所示，卧式加工中心的立柱多采用双壁立柱框架结构形式，此立柱结构的刚性好。由于双壁立柱结构的对称性，可以减少主轴箱受热后对立柱热变形的影响。图 2-44

(b) 所示为主轴箱相对立柱的安装关系。

小型卧式加工中心的立柱直接与床身联结；大、中型卧式加工中心移动式立柱固定于滑座上。立柱与床身或立柱与滑座的联结，均采用螺栓紧固和圆锥销定位的方式。

2.4 加工中心的自动换刀系统

自动换刀系统由刀库和刀具交换装置组成。自动换刀系统特别适用于加工中心。

自动换刀系统应当满足的基本要求包括：

- 1) 换刀时间短。
- 2) 换刀位置准确，动作可靠。
- 3) 足够的刀具储存量。
- 4) 刀库占用空间少。

一、刀 库

在自动换刀系统中刀库是最主要的部件之一。由于多数加工中心取、送刀具都是在刀库中某一固定刀位实现的，因此刀库还需要有使刀具运动的机构来保证每一把刀具能够到达换刀位置，采用电动机或液压装置为刀库转动提供动力。刀库中的刀具定位机构是用来保证使需要更换的每一把刀具或刀套都能准确地停在换刀位置上的。

根据刀库的容量和取刀方式，可以将刀库设计成各种形式，常用的刀库形式有盘式刀库、链式刀库等。

1.盘式刀库

如图 2-45 所示为盘式刀库，根据机床的总体布局，盘式刀库中刀具可以按照不同的方向进行配置。如图 2-45(a)、图 2-45(b)所示为刀具轴线与刀盘轴线平行布置的刀库，其中图 2-45(a)为径向取刀形式，图 2-45(b)为轴向取刀形式。图 2-45(c)所示为刀具径向安装在刀库上的结构，图 2-45(d)所示为刀具轴线与刀盘轴线呈一定角度布置的结构。

盘式刀库的特点是结构简单，应用较多，但其刀具环形排列，空间利用率低，受刀盘尺寸的限制，刀库容量较小，通常容量为 15~32 把刀。盘式刀库一般用于刀具容量较小的数控机床。

2.链式刀库

在环形链条上装有许多刀座，在刀座孔中装夹各种刀具，链条由链轮驱动。链条的形状可以根据机床的布局配置成各种形状，也可将换刀位置突出以便于换刀。链式刀库有单链环和多链环布局，如图 2-46(a)所示为单链环布局，如图 2-45(b)所示为多链环布局，如图 2-46(c)所示为折叠链环布局。

链式刀库的特点是结构紧凑，灵活性好，刀库容量较大，选刀和取刀动作简单，适用于刀库容量较大的场合，且多为轴向取刀。一般当刀具数量为 30~120 把时，多采用链式刀库。

二、刀具交换装置

在数控机床的自动换刀系统中，用来实现刀库与机床主轴之间传递和装卸刀具的装置称为刀具交换装置。刀具的交换方式通常分为采用机械手进行刀具交换和由刀库与机床主轴的相对运动实现无机械手刀具交换。采用机械手进行刀具交换的方式在加工中心中应用最为普遍。它具有很大的灵活性，可以减少换刀时间。

在刀具交换装置中，对机械手的具体要求是动作迅速可靠、准确协调。机械手按手臂的类型来分类，有单臂机械手和双臂机械手等。

双臂机械手中最常用的有如图 2-47 所示的几种手爪结构形式，它们能够完成抓刀→拔刀→回转→插刀→返回等一系列动作。为了防止刀具滑落，各机械手的手爪都带有自锁机构。双臂回转机械手的动作比较简单，而且能够同时抓取和装卸机床主轴和刀库中的刀具，可进一步缩短换刀时间。

图 2-48 所示是双刀库机械手换刀装置，其特点是两个刀库和两个单臂机械手配合进行工作，因此单个机械手的工作行程大为缩短，可有效地节省换刀时间。

三、典型的自动换刀系统

带有自动换刀系统的数控机床，需要特别考虑怎样将刀具自动交换系统与主机有机地结合起来，使机床的总体结构紧凑，刀具存储交换动作简单、安全可靠，特别注意刀具、工件和机床部件之间不发生干涉等问题。以下是几种典型的加工中心自动换刀系统。

（一）立式加工中心配置盘式刀库

1. 无机械手换刀

在无机械手自动换刀系统的刀库中，刀具的存放方向一般与主轴上的刀具安装方向一致，刀库与主轴箱之间布局紧凑。如图 2-49 所示的立式加工中心采用无机械手换刀，主轴上刀具与刀库中刀具直接交换。

2. 机械手换刀

如图 2-50 所示的立式加工中心，盘式刀库 2 安装在立柱的左侧，主轴 3 的轴线与刀库中的刀具轴线垂直，通过机械手 1 交换主轴上刀具与刀库中刀具的位置。

（二）立式加工中心配置链式刀库

如图 2-51 所示的立式加工中心，链式刀库 2 安装在立柱的左侧，主轴 3 的轴线与刀库中的刀具轴线垂直，通过机械手 1 交换主轴上刀具与刀库中刀具的位置。其换刀过程与图 2-49 所示的立式加工中心相同。

（三）卧式加工中心配置链式刀库

如图 2-52 所示的卧式加工中心，链式刀库 1 与主机分离，放置在机床的左侧面。机床执行换刀指令时，首先是立柱 4 沿 X 轴向左移动到换刀位置，主轴 5 沿 Y 轴上移至换刀位置，换刀过程为：如图 2-52 (b) 所示，刀库中处于换刀位置的刀具随刀座 2 翻转 90°，使刀库刀具与主轴刀具平行，机械手 3 旋转 90°握刀，机械手向前移动拔刀，之后，机械手回转 180°交换主轴上的刀具与刀库中的刀具的位置，机械手向后移动插刀，主轴上刀具夹紧。最后机械手反向旋转 90°复位，刀座反向翻转 90°复位。机床继续执行后面的加工程序，此时刀库回转选刀，并将下一个工步使用的刀具输送到换刀位置。

第四单元：2.4 加工中心的自动换刀系统

2.5 数控机床的辅助装置

2.6 数控机床常用的刀具及工具系统

- 学习目标：**
1. 掌握刀具交换装置中自动选择刀具的方式。
 2. 了解数控机床滚珠丝杠副、滚动导轨副的常用防护装置结构。
 3. 了解数控机床电线、电缆、液（气）管的常用防护装置的结构。
 4. 熟知数控机床各种排屑装置特点及适用场合。
 5. 熟知数控机床润滑系统的作用、油脂润滑和油液润滑的特点。
 6. 了解油液集中润滑系统中两种间歇式润滑泵的应用场合及油气式润滑系统的特点。
 7. 熟悉用于数控车床的机夹可转位车刀的刀片形状及几何参数。
 8. 熟悉常用铣削加工刀具和孔加工刀具的适应范围和特点。
 9. 了解加工中心类数控机床的工具系统。

- 学习重点：**
1. 刀具交换装置中自动选择刀具的方式。
 2. 数控机床滚珠丝杠副、滚动导轨副的常用防护装置结构。
 3. 数控机床电线、电缆、液（气）管的常用防护装置结构。
 4. 数控车床的机夹可转位车刀的刀片形状及几何参数。
 5. 常用铣削加工刀具和孔加工刀具的适应范围和特点。

- 学习难点：**
1. 刀具交换装置中自动选择刀具的方式。
 2. 油液集中润滑系统的驱动方式和常用润滑系统的构成。
 3. 常用铣削加工刀具和孔加工刀具的适应范围和特点。

4. 加工中心类数控机床的工具系统。

辅助教学：1. 多媒体课件

2. 微课

单元学时：2 学时

教学过程：

2.4 加工中心的自动换刀系统

四、刀具的选择方式

按照数控装置的选择刀具指令，刀具交换装置从刀库中挑选相应工序所需要的刀具的操作称为自动选刀。常用的刀具选择方式有顺序选刀方式和任意选刀方式两种。

（一）顺序选刀方式

顺序选刀是在加工之前，将加工零件所需使用刀具按照工艺要求依次插入刀库的刀座中，顺序不能有差错，加工时按顺序调用刀具。优点是刀库的驱动和控制都比较简单，但是加工不同的工件时必须重新调整刀库中的刀具顺序，操作十分繁琐，而且加工同一工件中各工步的刀具不能重复使用，这样就会增加刀具的数量。

应用：适合于加工批量较大、工件品种数量较少的中、小型数控机床的自动换刀系统。

（二）任意选刀方式

随着数控系统的发展，目前绝大多数的数控系统都具有刀具任选功能。任意选刀方式可以有刀具编码、刀座编码和刀具记忆等方式。刀具编码或刀座编码都需要在刀具或刀座上安装用于识别的编码条，一般都是根据二进制编码原理进行编码的。

1. 刀具编码选刀方式

刀具编码选刀方式采用了一种特殊的刀柄结构，并对每把刀具进行编码。

由于每把刀具都具有自己的代码，所以刀具可以放在刀库中的任何一个刀座内，刀具选用和送回都十分有利，刀库的容量也可以相应地减少。但是，由于每把刀具上都带有专用的编码系统，使刀具的长度加长，制造复杂，刀具刚度降低，同时使得刀库和机械手的结构也变得复杂。

2. 刀座编码选刀方式

刀座编码选刀方式是对刀库中的刀座进行编码，一把刀具只对应一个刀座，取送刀具麻烦，换刀时间长。

3. 刀具记忆选刀方式

无论是刀具编码选刀方式还是刀座编码选刀方式，自动换刀系统的结构都较为复杂。目前在加工中心上绝大多数都使用记忆式的任意选刀方式。这种方式能将刀具号和刀库中的刀座位置(地址)对应地记忆在数控系统的 PLC 中，刀库上装有位置检测装置(一般与电动机装在一起)，可以检测出每个刀座的位置，这样，刀具就可以被任意取出并送回。且每次选刀时就近选取，每次选刀过程中刀库正转或反转都不会超过 180° 。

2.5 数控机床的辅助装置

一、数控机床的防护装置

1. 滚珠丝杠副的防护装置

滚珠丝杠副如果在滚道上落入了污物及异物，不仅会妨碍滚珠的正常运转，而且使滚珠丝杠副的磨损急剧增加。因此必须对滚珠丝杠副进行有效的防护与密封。

对于处于隐蔽位置的丝杠，通常在螺母两端安装密封圈，密封圈有接触式和非接触式两种。对于精密滚珠丝杠副可采用迷宫式密封圈；对于冷轧滚珠丝杠副可采用刷子式密封圈。

对于暴露在外面的丝杠，一般采用如图 2-53 (a)

所示的钢带防护套或橡胶防护套等封闭式的丝杠防护装置，以保护丝杠表面不被尘埃、铁屑等污染。图 2-53 (b)为螺旋钢带防护套安装在机床上的情况。

2· 导轨的防护装置

滚动导轨副运动时，在滑块运动方向的后方将形成负压区域，这样将吸入尘埃。为保证其使用寿命，必须采取适当的防护措施。

(1) 导轨刮屑板

如图 2-54 所示，导轨刮屑板由耐油、耐磨的刮舌与铝合金结合而成，根据不同的导轨形状组成直角形、燕尾形等，安装在移动导轨的两端。它能提高机床导轨面的刮屑、除尘和防护功能，以确保机床精度，延长机床使用寿命。

(2) 导轨防护罩

数控机床的导轨防护罩有伸缩式、风琴式、卷帘式及卷筒式等多种形式。如图 2-55(a)所示的钢制伸缩式导轨防护罩，适用于各种类型数控机床在各个传动方向上导轨的防护，其最大运行速度达到 60 mm/min。如图 2-55(b)所示的伸缩式导轨防护罩，防屑效果好，一般用于斜床身数控车床和车铣复合加工中心。

如图 2-56 所示的导轨防护裙帘，适于安装在空间有限、无法安装其他形式防护罩之处，具有体积小、外形美观等特。

3· 电线、电缆、液（气）管的防护装置

数控机床上的电线、电缆、液压软管、气动软管等一般需要随机床部件协调地运行，为防止电线、电缆、液（气）管受到挤压或磨损，避免管路分布凌乱，也要采用防护装置。

如图 2-57 所示的导管防护套，它适用于移动行程较短、往复运动速度较低的各种类型数控机床，但不适于在高温环境下工作。

如图 2-58(a)所示的金属软管拖链，适用于移动行程较短、往复运动速度较低的数控机床。图 2-58(b)所示的金属软管拖链适用于加工中心工作台和床鞍。

图 2-59 所示为金属拖链，适用于各种类型数控机床，可作为质量大的电缆管、液压管的防护装置，且可以在高温环境下工作。

二、数控机床的排屑装置

数控车床、加工中心等机床的加工效率高，排屑量大，需要及时收集和输送切屑，以保证机床排屑顺畅。数控机床常用的排屑装置有以下几种：

1· 链板式排屑装置

链板式排屑装置如图 2-60 所示，可以收集和输送金属及非金属切屑，但不适于粉末状切屑。它广泛地应用于数控车床和加工中心。

2· 永磁式排屑装置

永磁式排屑装置如图 2-61 所示，可以收集和输送颗粒状、粉末状和短的铁屑。

3· 刮板式排屑装置

如图 2-62 所示，它与链板式排屑装置的传动原理基本相同，可以收集和输送颗粒状、粉末状的金属和非金属切屑。

4· 螺旋式排屑装置

螺旋式排屑装置如图 2-63 所示，这种排屑装置主要用于输送颗粒状、粉末状的金属和非金属切屑。因其体积小而适用于机床安放空间比较狭窄之处。

三、数控机床的润滑系统

数控机床的润滑系统在机床整机中占有十分重要的位置，它不仅具有润滑作用，而且还具有冷却作用，以减小机床热变形对加工精度的影响。

数控机床上常用的润滑方式有油脂润滑和油液润滑两种方式。油脂润滑是数控机床的主轴支承轴承、滚珠丝杠支承轴承及低速 ($v < 35 \text{ m/min}$) 滚动直线导轨最常采用的润滑方式；高速 ($v \geq 35 \text{ m/min}$) 滚动直线导轨、贴塑导轨及变速齿轮等多采用油液润滑方式；滚珠丝杠副有采用油脂润滑的，也有采用油液润滑的。

1· 油脂润滑

油脂润滑不需要润滑设备，工作可靠，不需要经常添加和更换润滑脂，维护方便，但摩擦阻力大。

2· 油液润滑

数控机床的油液润滑一般采用集中润滑系统。即从一个润滑油供给源把一定压力的润滑油，通过各主、次油路上的分配器，按所需油量分配到各润滑点。同时，系统具备对润滑时间、次数的监控和故障报警以及停机等功能，以实现润滑系统的自动控制。

集中润滑系统的特点是定时、定量、准确、高效，使用方便可靠，润滑剂不被重复使用，有利于提高机床使用寿命。

集中润滑系统按润滑泵的驱动方式不同，可分为手动供油系统和自动供油系统；按供油方式不同，可分为连续供油系统和间歇供油系统。目前，数控机床的油液润滑系统一般采用间歇供油系统。

图 2-64(a)所示为自动间歇式润滑泵，经济型数控车床的集中润滑系统常采用自动间歇式润滑泵。图 2-64(b)所示为电动润滑泵，对液位不足及压力异常具备检测报警功能，可实现间歇、供油的机电一体化。国产加工中心的集中润滑系统常采用电动润滑泵。

集中润滑系统按使用的润滑元件不同，可分为容积式润滑系统、阻尼式润滑系统、递进式润滑系统和油气式润滑系统。

(1) 容积式润滑系统

容积式润滑系统可以按需要对各润滑点精确定量，工作压力为 1.2~1.5 MPa，适于润滑点在 300 点以下的数控机床等机械设备。

(2) 阻尼式润滑系统

阻尼式润滑系统的工作压力为 0.2~1.5 MPa，结构简单，制造成本低，但油量计量误差大，对于距离远、位置高的润滑点的润滑难以保障。一般适用于润滑点少于 20 点的设备。

(3) 递进式润滑系统

递进式润滑系统是将一定量的润滑油按规定顺序、逐个输送到润滑点的系统。其特点是注油量准确，注油量取决于分配器内部柱塞的直径和行程，分配器的指示杆可显示系统工作状态，若发生堵塞，控制器会立即报警。

(4) 油气式润滑系统

油气式润滑系统的工作方式是利用压缩空气油泵，通过分配器，既可供润滑部位油气，亦可单纯供给系统润滑油。数控机床和加工中心的高速主轴适于采用油气式润滑系统。

油气式润滑系统的主要特点有：

- 1) 其中的油未被雾化，而是呈滴状进入润滑点，因此避免了油雾润滑对环境的污染；
- 2) 可有效地降低润滑剂的消耗，且具有良好的降低润滑点温度的效果；
- 3) 保持摩擦副中始终有新鲜的润滑剂。

3. 集中润滑系统的控制功能

在集中润滑系统中设置了下述检测装置，用于对润滑泵的工作状态实施监控，避免机床在缺油状态下工作，影响机床性能和使用寿命。

(1) 过载检测

在润滑泵的供电回路中使用过载保护元件，并将其过载触点作为 PMC 系统的输入信号，一旦润滑泵出现过载，PMC 系统即可检测到并加以处理，使机床立即停止运行。

(2) 油面检测

润滑剂为消耗品，机床工作一段时间后，润滑泵油箱内的润滑剂会逐渐减少。当油箱内润滑剂到达最低油位时，油面检测开关随即动作，并将此信号传送给 PMC 系统进行处理。

(3) 压力检测

机床采用递进式集中润滑系统，只要系统工作正常，每个润滑点都能保证得到预定的润滑剂。一旦润滑泵本身工作不正常、失效或供油回路中有一处出现供油管路堵塞、漏油等情况，系统中的压力就会显现异常。在润滑泵出口处安装压力检测开关，将此开关信号输入 PMC 系统，在每次润滑泵工作后均检测系统内的压力，一旦发现异常则立即停止机床工作，并产生报警信号。

2.6 数控机床常用的刀具及工具系统

一、数控车床常用刀具

数控车床通常采用机夹可转位车刀，当加工不同零件的表面时，对应的刀具主偏角及刀片形状见表 2-2。

二、数控铣削常用刀具

如图 2-65 所示，应用于数控铣削加工的刀具主要有平底立铣刀、端铣刀、球头刀、环形刀、鼓形刀和锥形刀。

图 2-65(e)鼓形刀可以对零件中与安装面倾斜的表面进行三坐标加工，如图 2-66 所示的倾斜表面最理想的加工方案是多坐标侧铣，但在加工条件不具备的情况下，对于单件或小批量生产，可采用鼓形刀加工是取代多坐标加工。与球头刀相比能有效减少进给次数，提高加工效率与表面质量。

鼓形刀的缺点是刃磨较困难、切削条件较差。

图 2-65(f)锥形刀的应用目的与鼓形刀有些相似，在二坐标机床上，它可代替多坐标侧铣加工零件上与安装面倾斜的表面。而且，锥形刀刃磨容易，切削条件好，可获得高的加工效率与表面质量。

三、孔加工用刀具

1. 钻孔刀具

钻孔刀具主要有普通麻花钻、可转位浅孔钻、喷吸钻、扩孔钻及铰刀等。应根据工件材料、加工尺寸及精度等要求合理选用。普通麻花钻材料有高速钢和硬质合金两种。

2. 镗孔刀具

套类、壳体类和箱体类上直径大于 $\Phi 80\text{mm}$ 的孔，一般要用镗刀加工，其加工精度可达 IT6~IT7，表面粗糙度为 $Ra\ 6.3\sim 0.8\mu\text{m}$ ，精镗孔可达到 $Ra\ 0.4\mu\text{m}$ 。

按切削刃数量不同，镗刀分为单刃镗刀和双刃镗刀。单刃镗刀的结构简单，一般均有调整装置，粗、精加工都适用。但是，单刃镗刀效率低，只能用于单件小批量生产。如图 2-67 所示的微调镗刀被广泛用于精镗孔加工。这种镗刀的径向尺寸可以在一定范围内进行微调，调节方便，且精度高。对照图 2-67 介绍调整方法。

使用双刃镗刀镗孔时，其上对称的两切削刃同时参与切削，工件的孔径尺寸与精度由镗刀径向尺寸保证。与单刃镗刀相比，每转进给量可提高一倍左右，因此生产效率高。

四、数控机床常用工具系统

目前我国建立的工具系统是镗铣类工具系统，它由与机床主轴孔相适应的工具柄部、与工具柄部相连接的工具装夹部分和各种刀具组成。

1. 工具柄部

工具柄部是机床主轴和刀具之间的连接工具，习惯上称为刀柄。在数控铣床、加工中心等机床上一般都采用 7:24 圆锥刀柄，这种刀柄不能自锁，换刀比较方便，与直柄相比有较高的定心精度和较高的刚性。

对于具备自动换刀装置的加工中心类数控机床，在加工工件时主轴上的刀具要频繁地更换，为了达到较高的换刀精度，要求工具柄部必须有较高的制造精度。GB/T 10944.1—2013/ISO 7388-1:2007《自动换刀 7:24 圆锥工具柄 第 1 部分：A、AD、AF、U、UD 和 UF 型柄的尺寸和标记》，对锥柄部分及机械手夹持部分的尺寸、精度进行了统一规定，A 型和 U 型柄如图 2-68 所示。

拉钉安装在刀柄的螺孔内，GB/T 10944.3—2013/ISO 7388-3:2007《自动换刀 7:24 圆锥工具柄 第 3 部分：AC、AD、AF、UC、UD、UF、JD 和 JF 型拉钉》包括八种类型的拉钉，如图 2-69(a)所示的 AD 型拉钉，拉钉中心带有冷却孔，适用于主轴内部不带钢球的拉紧装置；如图 2-69(b)所示的 UD 型拉钉，拉钉中心带有冷却孔，适用于主轴内部带钢球的拉紧装置。

2. 工具系统

镗铣类工具系统一般分为整体式结构和模块式结构两大类。

(1) 整体式结构

如图 2-70 所示的 TSG82 工具系统即整体式结构的工具系统，它把工具柄部和装夹刀具的工作部分制成一体，要求不同工作部分都具有同样结构的工具柄部，以便与机床的主轴相连，具有可靠性强、使用方便、结构简单、调换迅速等特点。

(2) 模块式结构

镗铣类模块式工具系统即 TMG 工具系统，如图 2-71 所示，它是把整体式刀具分解成主柄模块、中间连接模块和工作模块三个主要部分，通过不同规格的中间连接模块和各种类型的工作模块，可以组成不同用途、不同规格的模块式工具系统。这种工具系统既灵活、方便，又大大减少了工具的储备量。

第五单元：部分功能部件的认知训练

学习目标：1. 认知数控机床辅助装置的功用与结构。
2. 认知数控机床常用的刀具及工具系统。

学习重点：1. 油液集中润滑系统的驱动方式。
2. 数控车床的机夹可转位车刀。
3. 常用铣削加工刀具和孔加工刀具。
4. 数控机床常用工具系统。

学习难点：1. 常用铣削加工刀具和孔加工刀具的适应范围和特点。

2. 加工中心类数控机床工具系统。

辅助教学：校内实训车间

教学过程:

任课教师组织学生到校内实训车间,让学生在数控设备现场认识珠丝杠副、滚动导轨副的常用防护装置、数控机床各种排屑装置结构特点、数控机床集中润滑系统的驱动方式和常用润滑系统的构成。在生产现场结合实物,认识数控车床机夹可转位车刀的构成、常用铣削加工刀具和孔加工刀具、加工中心类数控机床工具系统的构成等。

2.7 知识拓展

引导学生在课后自主学习“2.7 知识拓展”的内容

一、拓展阅读

孙红梅 1999 年从西安理工大学毕业后,被分配到西北大山深处的军工厂。20 多年来,她刻苦钻研焊修难题,掌握了多项飞机发动机核心维修技术。孙红梅凭着一颗耐得住寂寞的匠心,用一把焊枪焊接出人生的厚度。扫二维码阅读,了解大国工匠孙红梅从一名普通技术员,成长为空军装备修理系统焊接专业首席专家的工作历程。

建议任课老师结合授课学期对思政教育工作的具体要求,对思政教育素材进行补充和完善。

二、人造复合材料用于数控机床基础硬件

人造花岗岩复合材料(又称为树脂混凝土)主要用于制作超精密加工机床、精密机床、加工中心、高速数控车床等对动态性能和热稳定性要求较高的机床床身、底座、立柱和工作台等基础件。

三、数控机床在线检测应用实例

使用数控机床加工零件,从零件的安装到加工完毕后零件的检验,需要进行多项检测工作。其中包括夹具和零件的装卡、找正、零件编程原点的测定、首件零件的检测、工序间检测及加工完毕的检验等。目前完成这些检测工作的主要手段有手工检测、离线检测和在线检测。在线检测也称为实时检测,是在加工的过程中实时对刀具进行检测,并依据检测的结果进行相应的处理。在线检测是一种基于计算机自动控制的检测技术,其检测过程由数控程序来控制。

（一）数控机床在线检测系统的组成

数控机床在线检测系统分为两种：一种为直接调用基本宏程序，而不用计算机辅助；另一种是自己开发宏程序库，借助于计算机辅助编程系统，随时生成检测程序，然后传输到数控系统中。

（二）测量系统

测量系统由测头、信号传输系统和数据采集系统组成，是数控机床在线检测系统的关键部分，直接影响着在线检测的精度。其中关键部件为测头，使用测头可在加工过程中进行尺寸测量，根据测量结果自动修改加工程序，提高加工精度。测头按使用功能可分为工件检测测头和刀具测头；按信号传输方式可分为硬线连接式、感应式、光学式和无线电式；按接触形式可分为接触测头和非接触测头。

三、在线检测应用实例

1.数控车床应用实例

2.加工中心应用实例

模块三 数控车床结构及应用

- 学习导航：**
1. 数控车床加工的典型案例及应用
 2. 数控车床的组成及分类
 3. 卧式数控车床的传动系统及功能部件结构
 4. 车削中心
 5. 走近大国工匠洪家光
 6. 数控车床的知识拓展

第一单元：3.1 数控车床的应用

3.2 数控车床的组成及分类

- 学习目标：**
1. 了解数控车床加工的典型案例。
 2. 熟悉数控车床的应用范围。
 3. 掌握数控车床的组成和布局结构。
 4. 掌握数控车床的分类特征。

- 教学重点：**
1. 数控车床加工零件的典型案例。
 2. 数控车床的分类与应用。

教学难点：数控车床刀架相对导轨的布局形式

- 辅助教学：**
1. 多媒体课件
 2. 微课

单元学时：2 学时

教学过程：

3.1 数控车床的应用

一、数控车床加工的典型案例

1. 加工轴类零件

图 3-1 所示的零件为典型的轴类零件，主要加工面为圆柱面、圆弧面、端面、外螺纹面、倒角及切槽等。该零件适于采用卧式数控车床加工，先将棒料毛坯的两端面车平，之后需要两次安装，分别加工零件的两侧。

2. 加工套类零件

图 3-2 所示的不锈钢套筒属于套类零件，毛坯为不锈钢铸件，该零件的主要加工面适于采用卧式数控车床加工，需要两次安装，分别加工零件两侧的内、外轮廓。

3. 加工盘类零件

图 3-3 所示的蜗轮透盖为典型的盘类零件，毛坯为铝合金铸件（ZL201），该零件的主要加工面适于采用卧式数控车床加工，且分为粗加工工序和精加工工序。

零件上的 $6 \times \varphi 9 \text{ mm}$ 孔和 $2 \times M8-7H$ 螺孔适于在数控钻床或普通钻床上加工。

4. 加工齿轮毛坯零件

图 3-4 所示的零件为拖拉机上弧齿锥齿轮的毛坯零件，材料为 45 钢，是径向尺寸较大的盘类零件，主要加工面为内外圆柱面、圆锥面、端面（一侧端面有锥度）、倒角及切端面槽等，适于采用立式数控车床加工。需要两次安装，分别加工零件顶面和底面的内、外轮廓。

5. 连接件

图 3-5 所示连接件除了要加工圆柱面、圆弧面、端面、倒角、切槽之外，还要加工径向孔、与工件中心不同心的轴向孔及端面圆弧槽等，工艺过程复杂，适于采用车削中心加工，而且需要两次安装。

二、数控车床的应用范围

数控车床特别适于加工形状复杂的轴类或盘类零件。其加工零件的尺寸精度可以达到 IT5 ~ IT6，加工表面的粗糙度可以达到 Ra 1.6 μ m 以下。

数控车床被广泛应用于机械制造业，例如汽车制造厂、发动机制造厂等。

3.2 数控车床的组成及分类

一、数控车床的组成与布局

1. 数控车床的组成及特点

图 3-6 为卧式车床外观图，图 3-7 为数控车床外观图。结合学习机械制造基础课程和车工实习得到的感性认识，数控车床的进给系统与卧式车床的进给系统在结构上存在着本质上的差别。图 3-8 所示的数控车床，X 轴伺服电动机 6 经滚珠丝杠传动 X 向滑板 5，带动回转刀架 7 实现 X 轴进给运动；同理，Z 轴的伺服电动机经滚珠丝杠传动 Z 向滑板 8，带动回转刀架实现 Z 轴进给运动。可见数控车床进给传动系统的结构较普通车床大为简化。

数控车床也有加工各种螺纹的功能，如图 3-8 所示。主轴箱内安装有脉冲编码器 2，主轴的运动通过同步齿形带 3 以 1:1 的速比传到脉冲编码器。当主轴旋转时，脉冲编码器便发出检测脉冲信号给数控系统，使主轴电动机的旋转与刀架的切削进给保持同步关系，即实现加工螺纹时主轴转一转，刀架 Z 向移动一个导程的运动关系。

中高档的数控车床一般都采用全封闭式的防护装置，经济型的数控车床通常采用半封闭式的防护装置，其导轨无防护罩。

2. 数控车床的布局

数控车床的主轴、尾座等部件相对于床身的布局形式与卧式车床基本一致，但刀架和导轨的布局形式发生了很大的变化，而且刀架和导轨的布局形式会直接影响数控车床的使用性能、机床的结构和外观。

(1) 床身导轨的布局

如图 3-9 所示，根据数控车床床身导轨与水平面的相对位置不同，可以有多种布局形式。

(a) 为平床身平滑板：水平床身导轨配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度，一般可用于大型数控车床或小型精密数控车床的布局

(b) 为斜床身斜滑板

水平床身的工艺性好，便于导轨面的加工。但是水平床身由于下部空间小，故排屑困难。从结构尺寸上看，刀架水平放置使得滑板横向尺寸较长，从而加大了机床宽度方向的结构尺寸。

(c) 为平床身斜滑板：水平床身配上倾斜放置的滑板，并配置倾斜式的导轨防护罩，这种布局形式一方面有水平床身工艺性好的特点，另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置滑板的小，且排屑方便。

水平床身配上倾斜放置的滑板和斜床身配置斜滑板的布局形式，被中、小型数控车床所普遍采用。

(d) 为前斜床身平滑板

(e) 为立式床身立滑板

(2) 刀架的布局

刀架作为数控车床的重要部件，其布局形式对机床整体布局及工作性能影响很大。目前两坐标联动数控车床多采用 12 工位的回转刀架，也有采用 6 工位、8 工位、10 工位和 12 工位回转刀架的。回转刀架在机床上的布局有两种形式。一种是用于加工盘类零件的回转刀架，其回转轴垂直于主轴；另一种是用于加工轴类和盘类零件的回转刀架，其回转轴平行于主轴。

床身上安装有两个独立的滑板和回转刀架的数控车床称为双刀架四坐标数控车床，适于加工曲轴、飞机零件等形状复杂、批量较大的零件。

3. 数控车床坐标系

数控车床的坐标系如图 3-10 所示，普通卧式车床有 X、Z 两坐标轴，平行于主轴轴线的坐标为 Z 坐标，且规定从卡盘中心至尾座顶尖中心的方向为 Z 轴的正方向；在水平面内与主轴轴线垂直的方向为 X 坐标，且规定刀具远离工件旋转

中心的方向为 X 轴的正方向。车削中心有 X、Z 直线坐标轴和 C 回转坐标轴，面对主轴顺时针方向为 C 轴的正方向。

二、数控车床的分类

1. 按机床主轴布局形式分类

1. 卧式数控车床

卧式数控车床是指主轴轴线处于水平位置的数控车床，其刀架布局结构有前置和后置两种。

(1) 刀架前置的数控车床。如图 3-11 所示数控车床刀架的布局结构为前置四方回转刀架，该刀架结构简单，外形类似于普通车床的方刀架，安装刀具的数目最多为 4 把，床身导轨为平导轨，用于刀架前置使操作者观察切削情况和测量工件不方便。刀架前置的数控车床属于经济型数控机床。

如图 3-3 所示的蜗轮透盖零件，形状较为简单，各工序使用的刀具均少于 4 把，因此适于选用刀架前置的数控车床进行加工。

(2) 刀架后置的数控车床。如图 3-12 所示的数控车床刀架的布局结构为后置回转刀架，一般可以安装 8 把或 12 把刀具。中高档的数控车床一般都采用后置刀架的布局结构，床身导轨为倾斜导轨（或水平床身配上倾斜放置的滑板），刀架后置方便了操作者观察工件和测量工件。

如图 3-1 所示的轴零件、如图 3-2 所示的不锈钢套筒零件，均适于选用刀架后置的数控车床进行加工。

2. 立式数控车床

立式数控车床是指主轴轴线处于垂直位置的数控车床。图 3-13 所示的立式数控车床的主轴竖直向上，三爪卡盘上装夹着工件，垂直刀架的下端安装有回转刀盘。刀架沿垂直导轨的移动为 Z 轴进给，刀架沿水平导轨的移动为 X 轴进给。

如图 3-4 所示的齿轮毛坯零件因此适于选用立式数控车床进行加工。

(二) 按数控系统控制的轴数分类

1. 两轴控制的数控车床

两轴控制的数控车床上只有一个回转刀架，可实现 X 、 Z 两坐标轴联动控制，如图 3-11 和图 3-12 所示即两轴控制的数控车床。

2. 双刀架四轴控制的数控车床

双刀架四轴控制的数控车床上有两个独立的回转刀架，可实现四轴控制。图 3-13 为双刀架卧式数控车床的刀架配置示意图，图 3-13 (a) 所示为两个独立的回转刀架，一个为后置刀架，另一个为前置刀架，可以分别控制 X 坐标轴和 Z 坐标轴的进给运动，且每个回转刀架为两轴联动控制。图 3-13 (b) 所示为两个回转刀架相对于主轴回转中心的布局位置，其中后置回转刀架有 12 个刀位，前置回转刀架有 8 个刀位。

3. 三轴控制的车削中心

图 3-14 所示的车削中心是在数控车床的基础上发展起来的，其主要特征是在数控车床的回转刀架上增设了多种自驱动刀具并对主轴（ C 轴）进行伺服控制，其自驱动刀具有钻削头、铣削头等。图 3-15 为车削中心回转刀架外观图，其上安装有垂直于主轴轴线（ X 轴）的自驱动刀具和平行于主轴轴线（ Z 轴）的自驱动刀具。机床工作时除了转塔刀架控制 X 坐标轴和 Z 坐标轴的进给运动之外，主轴的 C 轴可以做分度运动或圆周进给运动，自驱动刀具可以进行钻削、铣削和攻螺纹等加工。

如图 3-5 所示的连接件，零件在普通车床上无法完成全部加工，如果选用车削中心。可利用 Z 轴自驱动铣刀，铣削零件右端面上的圆弧槽及 $\Phi 6\text{ mm}$ 轴向孔；利用 X 轴自驱动铣削刀具可以加工 6 个 $\Phi 6\text{ mm}$ 径向孔。

目前，我国使用最多的是中小规格两轴联动的卧式数控车床。

第二单元：3.3 卧式数控车床

学习目标：1.掌握 MG-50 数控车床的布局特点。

2.了解 MJ-50 数控车床的主要技术参数。

3.掌握 MJ-50 数控车床主轴传动方式及主轴单元的结构

4.掌握 MJ-50 数控车床进给运动 Z 轴和 X 轴的传动结构。

5.掌握卧式数控车床回转刀架结构及选刀、换刀工作过程。

教学重点：1. 数控车床的主轴箱传动结构。

2. 液压三爪卡盘的工作性能。

3. 数控车床的 X、Z 坐标轴进给装置传动结构。

教学难点：1. 主轴前、后支承轴承的间隙调整方法。

2. 数控车床的 X、Z 坐标轴进给传动系统及传动装置结构。

辅助教学：1. 多媒体课件

2. 微课

单元学时：2 学时

教学过程：

3.3 卧式数控车床

一、MJ-50 数控车床的用途、布局及技术参数

1.MJ-50 数控车床的用途

MJ-50 数控车床主要用于加工轴类零件的内外圆柱面、圆锥面、螺纹表面、成型回转体表面等。对于盘类零件可进行钻孔、扩孔、铰孔、镗孔等加工。机床还可以完成车端面、切槽、倒角等加工。

2.MJ-50 数控车床的布局

图 3-16 为 MJ-50 数控车床的外观图。

3.MJ-50 数控车床的主要技术参数

(1) 机床的主要参数 见教材表 3-1.

(2) 数控系统的主要技术规格 FANUC-0TE 系统的主要技术规格见表 3-1。

二、主传动系统及主轴箱结构

1.主运动传动系统

MJ-50 数控车床的传动系统如图 3-18 所示。其中主运动传动系统由功率为 11 kW 的主轴调速电动机驱动，经一级 1:1 的带传动带动主轴旋转，使主轴在 35 ~ 3 500 r/min 的转速范围内实现无级调速，主轴箱内部省去了齿轮传动变速机构，因此减少了齿轮传动对主轴精度的影响，并且维修方便。

主轴传递的功率、转矩与转速之间的关系如图 3-19 所示。当机床处在连续运转状态下，主轴的转速在 437 ~ 3500 r/min 范围内，主轴应能传递电动机的全部功率 11kW，为主轴的恒功率区域 II。在这个区域内，主轴的最大输出扭矩 (245N·m) 应随着主轴转速的增高而变小。主轴转速在 35 ~ 437 r/min 范围内的各级转速并不需要传递全部功率，但主轴的输出扭矩不变，称为主轴的恒扭矩区域 I。

2. 主轴箱结构

(1) 主轴箱结构

MJ-50 数控车床主轴箱结构如图 3-20 所示。主轴有前、后两个支承，前支承由一个圆锥孔双列圆柱滚子轴承 11 和一对角接触球轴承 10 组成，轴承 11 用来承受径向载荷，两个角接触球轴承用来承受双向轴向载荷和径向载荷。

前支承轴承的间隙用螺母 8 来调整；主轴的后支承为双列圆柱滚子轴承 14，其轴承间隙由螺母 1 和 6 来调整。主轴的支承形式为前端定位，主轴受热膨胀向后伸长。前、后支承所用双列圆柱滚子轴承的支承刚性好，允许的极限转速高。前支承中的角接触球轴承能承受较大的轴向载荷，且允许的极限转速高。

主轴的运动经过同步带轮 16 和 13 以 1:1 的速比传动脉冲编码器 4，脉冲编码器是将主轴上的机械几何位移量转换成脉冲的传感器。数控车床主轴的回转与刀架进给运动之间，没有机械方面的直接联系，为了加工螺纹，要求给定进给伺服电动机的脉冲数与主轴的转速保持对应关系 (主轴旋转一周，刀架 Z 向移动工件一个导程)，而主轴脉冲发生器起到了对主轴转动与进给运动的联系作用。

(2) 液压卡盘结构

如图 3-21 (a) 所示，液压卡盘固定安装在主轴前端，回转液压缸 1 与接套 6 用螺钉 8 连接，接套通过螺钉与主轴 5 后端面连接，使回转液压缸随主轴一起转动。

图 3-21 (b) 为卡盘内楔形机构示意图，当液压缸内的压力油推动活塞和拉杆向卡盘方向移动时，滑套向右移动，由于滑套上楔形槽的作用，使得卡爪座 12 带动卡爪 13 沿径向向外移动，则卡盘松开。反之，卡盘夹紧。

三、进给传动系统及传动装置

(一) 进给传动系统的特点

数控车床的进给传动系统是控制 X、Z

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/228112002141006115>