

# 项目一

## 数控铣床的基础知识与基本操作

### 项目目标

1. 掌握数控铣床的基本操作。
2. 掌握机床坐标系和工件坐标系的概念和区别。
3. 掌握数控铣床操作面板的使用方法。
4. 掌握数控编程的基础知识。
5. 掌握数控铣床的对刀方法。

### 任务一 认识数控铣床

#### 【任务目标】

1. 了解数控铣床的概念、种类、特点及用途。
2. 掌握数控铣床的组成、加工原理及与普通铣床的区别。
3. 了解数控铣床的类型及发展史。

### 任务描述

带学生到数控车间实地观看数控铣床，通过观察及讲解，让学生对数控铣床的结构、组成、原理等有初步的认识。

### 知识储备

#### 一、数控与数控机床的概念

数控即数字控制（numerical control，NC），是20世纪中期发展起来的一种自动控制技术，是用数字化信号进行控制的一种方法。

数控机床 (numerical control tool) 是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的机床, 或者说是装备了数控系统的机床。

计算机数控 (computer numerical control, CNC) 是采用计算机控制加工功能, 实现数字控制, 并通过接口与外围设备连接。

世界上第一台数控机床就是数控铣床, 它适于加工三维复杂曲面, 在汽车、航空航天、模具等行业被广泛采用。图 1-1 所示为数控铣床, 随着时代的发展, 数控铣床趋于加工中心。

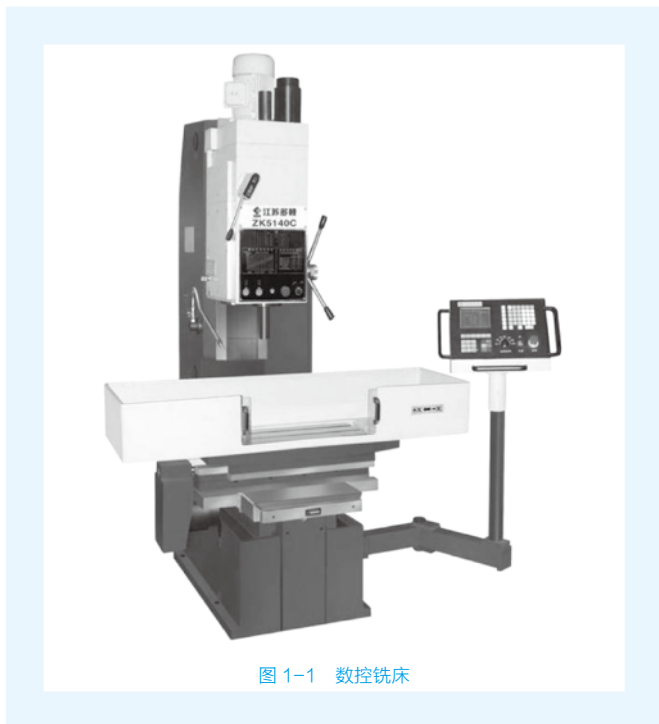


图 1-1 数控铣床

加工中心是具有自动刀具交换装置, 并能进行多种工序加工的数控机床。在其上工件可在一次装夹中进行铣、镗、钻、扩、铰、攻螺纹等多工序的加工, 如图 1-2 所示。



图 1-2 加工中心

## 二、数控铣床的结构组成

数控铣床主要由控制介质、数控装置、伺服机构、辅助控制装置、检测装置和机床本体组成。数控铣床的结构与结构框图如图 1-3、图 1-4 所示。

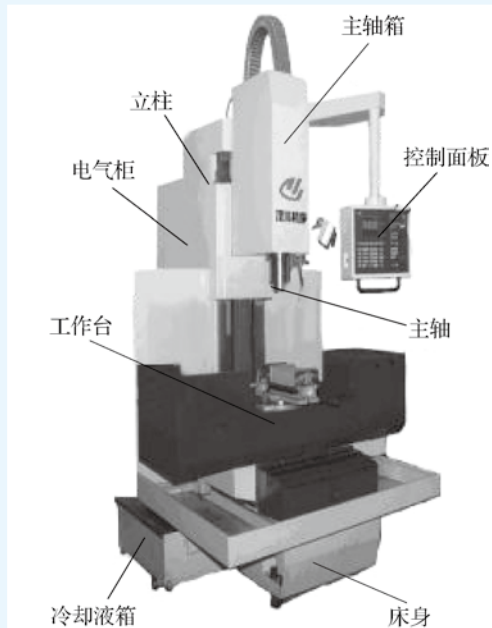


图 1-3 数控铣床的结构

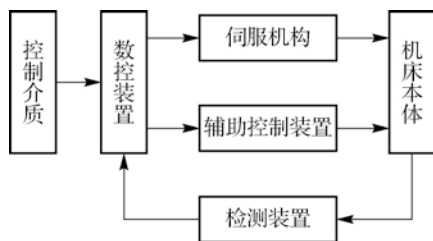


图 1-4 数控铣床的结构框图

### 1. 控制介质

控制介质是指将零件加工信息传送到数控装置的程序载体。控制介质随数控装置类型的不同而不同，常用的有磁盘、移动硬盘、U 盘等，如图 1-5 所示。



图 1-5 常用的控制介质

### 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。图 1-6 所示为某数控车床的数控装置，它由输入装置（如键盘）、控制运算器和输出装置（如显示器）等构成。



图 1-6 数控装置

### 3. 伺服机构

伺服机构是数控机床的执行机构，由驱动装置和执行部件（如伺服电动机）两大部分组成，如图 1-7 所示。



图 1-7 伺服机构

### 4. 辅助控制装置

辅助控制装置是介于数控装置和机床机械、液压部件之间的强电控制装置。可编程控制器（PLC）由于具有响应快，性能可靠，易于使用、编程和修改程序，并可直接驱动机床电器等特点，现已广泛用作数控机床的辅助控制装置，如图 1-8 所示。

### 5. 检测装置

检测装置将数控机床各个坐标轴的实际位移量、速度参数检测出来，转换成电信号，并反馈到机床的数控装置中。

检测装置的检测元件有多种，常用的有直线光栅（见图 1-9）、光电编码器（见



图 1-8 可编程控制器外观图

图 1-10)、圆光栅和绝对编码尺等。



图 1-9 直线光栅

图 1-10 光电编码器

## 6. 机床本体

机床本体是数控机床的主体，是用于完成各种切削加工的机械部分，包括主运动部件、进给运动执行部件（如工作台、滑板及其传动部件）和床身、立柱、支承部件等。

## 三、数控铣床的工作过程

数控铣床的工作过程如图 1-11 所示。其加工步骤如下：

- (1) 根据被加工零件的图样与工艺方案，用规定的代码和程序段格式编写出加工程序。
- (2) 将所编写加工程序指令输入机床数控装置中。
- (3) 数控装置对程序（代码）进行处理后，向机床各个坐标的伺服驱动机构和辅助控制装置发出控制信号。
- (4) 伺服机构接到执行信号指令后，驱动机床的各个运动部件，并控制所需的辅助动作。
- (5) 机床自动加工出合格的零件。

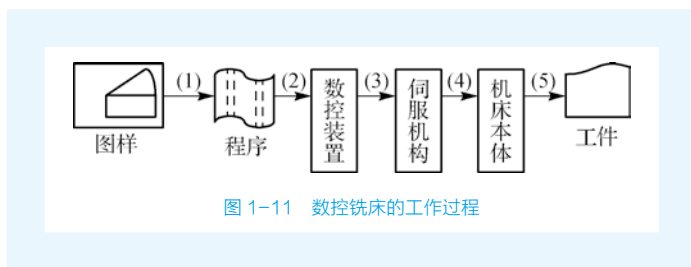


图 1-11 数控铣床的工作过程

## 四、数控铣床的分类

数控铣床可进行平面铣削、轮廓铣削、型腔铣削、钻孔、镗孔、攻螺纹及三维复杂型面的铣削等。

### 1. 按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类

按机床主轴的布置形式及机床的布局特点，数控铣床可分为立式数控铣床、卧式数控铣床、立卧两用数控铣床和龙门数控铣床。

(1) 立式数控铣床。立式数控铣床的主轴轴线垂直于水平面，是数控铣床中最常见的一种布局方式，应用范围也最广，如图 1-12 所示。立式数控铣床一般用于加工盘、套、板类零件，一次装夹后可对上表面进行平面铣削，钻、扩、镗、铩、攻螺纹等孔加工及侧面的轮廓加工。

(2) 卧式数控铣床。卧式数控铣床的主轴轴线平行于水平面，主要用于箱体类零件的加工，如图 1-13 所示。为了扩大加工范围和扩充功能，通常采用增加数控转台或万能数控转台的方式来实现四轴和五轴联动加工。一次装夹后可加工工件侧面的连续回转轮廓，也可通过转台改变零件的位置进行多个位置或工作面的加工。

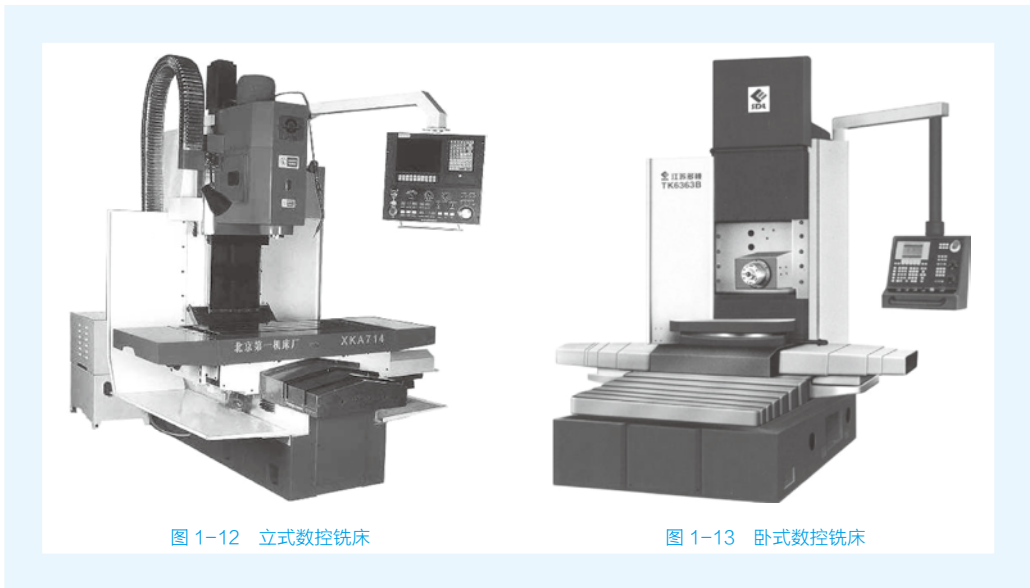


图 1-12 立式数控铣床

图 1-13 卧式数控铣床

(3) 立卧两用数控铣床。立卧两用数控铣床又称万能数控铣床，如图 1-14 所示，主轴可旋转  $90^\circ$  或工作台带工件旋转  $90^\circ$ ，一次装夹后可以完成对工件五个表面的加工。其使用范围更广，功能更全，选择加工对象的余地更大。

(4) 龙门数控铣床。采用对称双立柱结构的数控铣床通常称为龙门数控铣床，如图 1-15 所示。双立柱结构保证了机床的整体刚性和强度，有工作台移动和龙门移动两种形式。它适用于加工整体结构件零件、大型箱体零件及大型模具等。

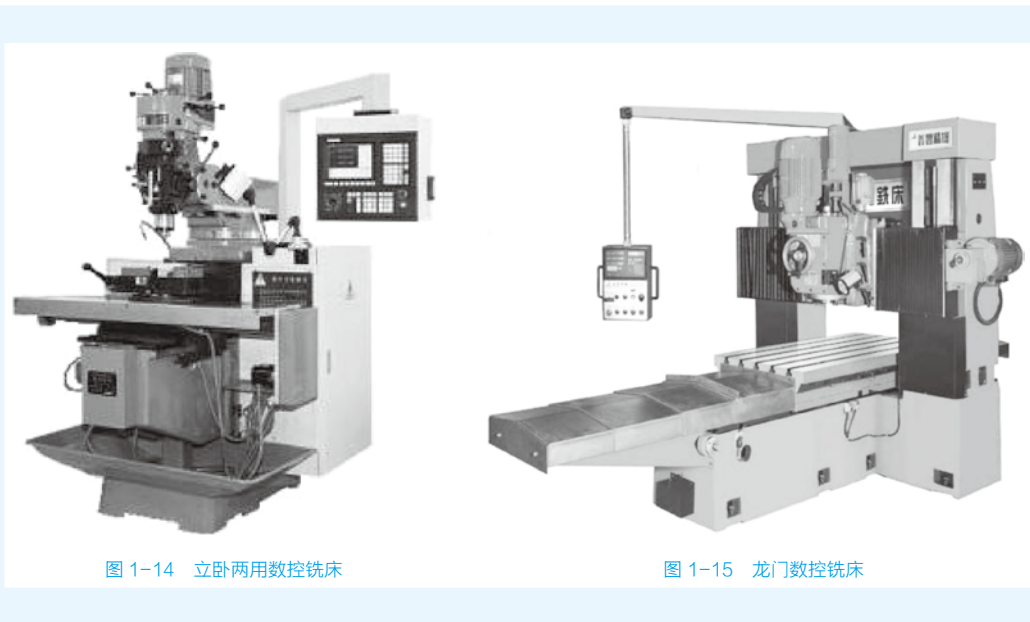


图 1-14 立卧两用数控铣床

图 1-15 龙门数控铣床

## 2. 按数控系统的功能分类

按数控系统的功能, 数控铣床可分为经济型数控铣床和全功能数控机床。

(1) 经济型数控铣床。经济型数控铣床一般采用经济型数控系统, 采用开环控制, 可以实现三坐标联动, 如图 1-16 (a) 所示。

(2) 全功能数控机床。全功能数控机床采用半闭环控制或闭环控制, 功能丰富, 加工适应性强, 应用广泛, 如图 1-16 (b) 所示。



图 1-16 数控铣床按数控系统的功能分类

### 任务拓展

通过本次课的讲解, 学生分组讨论并各派出一名代表介绍数控铣床的各部分组成、工作原理及机床类型。教师根据表现进行打分, 评出本节课最佳小组。

## 任务二 数控铣床安全操作规程及车间8S管理制度

### 【任务目标】

1. 了解数控铣床安全操作规程, 能保证人身和设备安全。
2. 培养安全文明生产意识及责任感。

### 任务描述

带学生到数控车间学习数控铣床安全操作规程及车间 8S 管理制度, 并逐一讲解每一条规定的重要性及违反规定可能导致的后果, 增强学生的安全操作意识。

## 知识储备

### 一、数控铣床安全操作规程

#### 1. 安全操作基本注意事项

(1) 工作时穿好工作服、安全鞋，戴好工作帽及防护镜。

**注意：**不允许戴手套操作机床。

(2) 不要移动或损坏安装在机床上的警告标牌。

(3) 不要在机床周围放置障碍物，工作空间应足够大。

(4) 当某一项工作需要两人或多人共同完成时，应注意相互间的协调一致。

(5) 不允许采用压缩空气清洗机床、电气柜及 NC 单元。

#### 2. 工作前的准备工作

(1) 机床开始工作前要预热，认真检查润滑系统工作是否正常，如机床长时间未开动，可先采用手动方式向各部分供油润滑。

(2) 使用的刀具应与机床允许的规格相符，有严重破损的刀具要及时更换。

(3) 调整刀具所用工具不要遗忘在机床内。

(4) 刀具安装好后应进行一两次试切削。

(5) 检查卡盘夹紧工件的状态。

#### 3. 工作过程中的安全注意事项

(1) 禁止用手接触刀尖和铁屑，铁屑必须用铁钩子或毛刷来清理。

(2) 禁止用手或其他任何方式接触正在旋转的主轴、工件或其他运动部位。

(3) 禁止加工过程中测量工件、变速，更不能用棉丝擦拭工件，也不能清扫机床。

(4) 铣床运转中，操作者不得离开岗位，发现异常现象立即停车。

(5) 经常检查轴承温度，过高时应找有关人员进行检查。

(6) 在加工过程中，不允许打开机床防护门。

(7) 严格遵守岗位责任制，机床由专人使用，他人使用需经本人同意。

#### 4. 工作完成后的注意事项

(1) 清除切屑，擦拭机床，使机床与环境保持清洁状态。

(2) 检查润滑油、冷却液的状态，及时添加或更换。

(3) 依次关掉机床操作面板上的电源和总电源。

### 二、数控铣床维护保养

#### 1. 日常保养内容和要求

(1) 操作前，对重要部位进行检查，擦拭外露导轨面。按规定加油，空运转并查看润滑系统是否正常。

(2) 结束后，清扫铁屑，擦拭机床，各部归位，认真填写好交接班记录及其他记录。

#### 2. 各部位保养内容和要求

各部位保养内容和要求具体如下：



- (1) 表面：清洗机床身表面死角，做到漆见本色、铁见光；清除导轨面毛刺，无研伤。
- (2) 主轴箱：清洁，润滑良好。
- (3) 工作台：调整夹紧间隙，润滑良好。
- (4) 升降台：调整夹紧间隙，调整伞齿轮啮合间隙，润滑良好。
- (5) 液压系统：液压箱清洁，油量充足；调整压力表；清洗油泵、滤油网。
- (6) 电气箱：擦拭电机，箱外无灰尘、油垢；各接触点良好，不漏电；箱内整洁，无杂物。

### 三、数控加工中心操作规程

- (1) 读懂图纸，弄清楚需加工的尺寸。
- (2) 确定加工方法（普通加工、数控加工、特种加工）。
- (3) 若需要数控加工，则要制定加工工艺。
- (4) 根据工艺确定机床、刀具、夹具、装夹方法。
- (5) 编写程序（自动编程、手动编程）。
- (6) 调试程序（模拟加工、空运行、图形检查）。
- (7) 安装工件、刀具。
- (8) 输入程序（手工输入、DNC 控制）。
- (9) 对刀。
- (10) 试加工（单段执行程序）。
- (11) 首件检验。
- (12) 调整程序。
- (13) 正式加工。
- (14) 去毛刺、清理、检验、送交成品，加工结束。
- (15) 清扫、保养。

### 四、数控车间 8S 管理制度

- (1) 确保全体实训人员自身安全，牢固树立“安全第一”的思想。
- (2) 实训车间内的实训设备、工量器具、设施，未经管理员允许，不准随意挪动位置，不准私自拿出实训车间。
- (3) 定期检查实训室的设备情况，做好检查记录。
- (4) 实训室管理人员应负责本室的安全工作，并应经常检查本室的不安全因素，及时消除事故隐患。
- (5) 学生上课前进入实训车间，衣着要符合安全要求，教学中要严格按照安全操作规程进行实习、实训。
- (6) 保证实训室环境整洁，走道畅通，设备器材摆放整齐。
- (7) 未经实训室管理人员许可，不许随意动用实训设备，实训结束后，做好教学设备、工量器具等的归位工作。
- (8) 实训人员必须遵守操作规程，坚守岗位，发现问题应及时处理。
- (9) 要加强实训室电、门、窗、灯、扇及电教设施的管理，日常检查消防设备，做好防火、防爆、防盗、防雷电的安全防范工作。
- (10) 对违反规定者，视情节轻重分别予以批评教育、记名备案、勒令退场、通报处分等处置。

屡教不改者学校将按照学籍管理规定予以严肃处理；造成损失者，必须赔偿损失并追究相关责任。

### 任务拓展

通过本次课的讲解，要求学生熟记数控铣床的安全操作规程，并由教师对各组学生进行提问，考核掌握情况。教师根据各组表现选出最佳小组。

## 任务三 认识FANUC-0i Mate及SINUMERIK 828D面板

### 【任务目标】

1. 掌握数控铣床面板的结构。
2. 掌握数控铣床 FANUC-0i Mate 及 SINUMERIK 828D 面板的含义。

### 任务描述

带学生到数控车间实地观看数控铣床，教师对面板的各个按键进行讲解说明，通过实地观察及简单的操作，使学生在最短的时间内了解并学会运用面板。

### 知识储备

## 一、FANUC-0i Mate 操作面板

FANUC-0i Mate 数控系统的操作面板可分为 LED 显示区、MDI 键盘区（包括字符键和功能键等）、软键开关区和存储卡接口，如图 1-17 所示。



图 1-17 FANUC-0i Mate 操作面板

各按键功能说明如下：

- (1) MDI 键盘区上面四行为字母、数字和字符部分，操作时，用于字符的输入；其中“EOB”为分号（；）输入键；其他为功能或编辑键。
- (2) POS 键：按下此键显示当前机床的坐标位置界面。
- (3) PROG 键：按下此键显示程序界面。
- (4) OFFSET/SETTING 键：按下此键显示刀偏 / 设定 (SETTING) 界面。
- (5) SHIFT 键：上挡键，按一下此键，再按字符键，将输入对应右下角的字符。
- (6) CAN 键：退格 / 取消键，可删除已输入缓冲器的最后一个字符。
- (7) INPUT 键：写入键，当按了地址键或数字键后，数据被输入缓冲器，并在 CRT 屏幕上显示出来；为了把输入缓冲器中的数据复制到寄存器，按此键将字符写入指定的位置。
- (8) SYSTEM 键：按此键显示系统界面（包括参数、诊断、PMC 和系统等）。
- (9) MESSAGE 键：按此键显示报警信息界面。
- (10) CSTM/GR 键：按此键显示用户宏界面（会话式宏界面）或显示图形界面。
- (11) ALTER 键：替换键。
- (12) INSERT 键：插入键。
- (13) DELETE 键：删除键。
- (14) PAGE 键：翻页键，包括上下两个键，分别表示屏幕上页键和屏幕下页键。
- (15) HELP 键：帮助键，按此键用来显示如何操作机床。
- (16) RESET 键：复位键，按此键可以使 CNC 复位，用以消除报警等。
- (17) 方向键：分别代表光标的上、下、左、右移动。
- (18) 软键区：这些键对应各种功能键的各种操作功能，根据操作界面相应变化。
- (19) 下页键 (Next)：此键用以扩展软键菜单，按下此键菜单改变，再次按下此键菜单恢复。
- (20) 返回键：按下对应软键时，菜单顺序改变，用此键将菜单复位到原来的菜单。

## 二、FANUC-0i Mate 控制面板

FANUC-0i Mate 控制面板如图 1-18 所示。



图 1-18 FANUC-0i Mate 控制面板

各按键功能说明如下:

方式选择键:

- (1)【EDIT】键:编辑方式键,设定程序编辑方式,其左上角带指示灯。
- (2)【REF】键:按此键切换到运行回参考点操作,其左上角指示灯点亮。
- (3)【AUTO】键:按此键切换到自动加工方式,其左上角指示灯点亮。
- (4)【JOG】键:按此键切换到手动方式,其左上角指示灯点亮。
- (5)【MDI】键:按此键切换到MDI方式运行,其左上角指示灯点亮。
- (6)【DNC】键:按此键设定DNC运行方式,其左上角指示灯点亮。
- (7)【HANDLE】键:在此方式下执行手轮相关动作,其左上角带有指示灯。

功能选择键:

(8)【SINGLE BLOCK】键:该键用以检查程序,按此键后,系统一段一段执行程序,其左上角带有指示灯。

(9)【跳步】键:此键用于程序段跳过。自动操作中若按下此键,会跳过程序段开头带有“/”和用“;”结束的程序段,其左上角带有指示灯。

(10)【空运行】键:自动方式下按下此键,各轴是以手动进给速度移动,此键用于无工件装夹时检查刀具的运动,其左上角带有指示灯。

(11)【选择停】键:按下此键后,在自动方式下,当程序段执行到M01指令时,自动运行停止,其左上角带有指示灯。

(12)【机床锁定】键:自动方式下按下此键,X、Z轴不移动,只在屏幕上显示坐标值的变化,其左上角带有指示灯。

(13)【超程释放】键:当X、Z轴达到硬限位时,按下此键释放限位。此时,限位报警无效,急停信号无效,其左上角带有指示灯。

点动和轴选键:

(14)【+Z】点动键:在手动方式下按下此键,Z轴向正方向点动。

(15)【-X】点动键:在手动方式下按下此键,X轴向负方向点动。

(16)【快速叠加】键:在手动方式下,同时按此键和一个坐标轴点动键,坐标轴按快速进给倍率设定的速度点动,其左上角带有指示灯。

(17)【+X】点动键:在手动方式下按下此键,X轴向正方向点动。

(18)【-Z】点动键:在手动方式下按下此键,Z轴向负方向点动。

(19)【X轴选】键:在回零或手轮方式下对X轴操作时,需先按下此键以选择X轴,选中后其左上角指示灯点亮。

(20)【Z轴选】键:在回零或手轮方式下对Z轴操作时,需先按下此键以选择Z轴,选中后其左上角指示灯点亮。

手轮/快速倍率键:

(21)【×1/F0】键:手轮方式时,进给率执行1倍动作;手动方式时,同时按下【快速叠加】键和点动键,进给轴按进给倍率设定的F0速度进给;其左上角带有指示灯。

(22)【×10/25%】键:手轮方式时,进给率执行10倍动作;手动方式时,同时按下【快速叠加】键和点动键,进给轴按“手动快速运行速度”值25%的速度进给;其左上角带有指示灯。

(23)【×100/50%】键:手轮方式时,进给率执行100倍动作;手动方式时,同时按下【快速叠加】键和点动键,进给轴按“手动快速运行速度”值50%的速度进给;其左上角带有指示灯。

(24)【100%】键：手动方式时，同时按下【快速叠加】键和点动键，进给轴按“手动快速运行速度”值100%的速度进给；其左上角带有指示灯。

辅助功能键：

(25)【润滑】键：按下此键，润滑功能输出，其指示灯点亮。

(26)【CLANTA】键：按下此键，冷却功能输出，其指示灯点亮。

(27)【WORK LIGHT】键：按下此键，机床照明功能输出，其指示灯点亮。

(28)【刀塔旋转】键：手动方式下按动此键，执行换刀动作，每按一次刀架顺时针转动一个刀位，换刀过程中其指示灯点亮。

主轴键：

(29)【SPD CW】键：手动方式下按此键，主轴正方向旋转，其左上角指示灯点亮。

(30)【SPD STOP】键：手动方式下按此键，主轴停止转动，其左上角指示灯点亮。

(31)【SPD CCW】键：手动方式下按此键，主轴反方向旋转，其左上角指示灯点亮。

指示灯区：

(32) 机床就绪：机床就绪后灯亮表示机床可以正常运行。


(33) 机床故障：当机床出现故障时机床停止动作，此指示灯点亮。


(34) 润滑故障：当润滑系统出现故障时，此指示灯点亮。

(35) X. 原点：回零过程和X轴回到零点后指示灯点亮。

(36) Z. 原点：回零过程和Z轴回到零点后指示灯点亮。

波段旋钮和手摇脉冲发生器：

(37)  进给率(%)：当波段开关旋到相应刻度时，各进给轴将按设定值乘以刻度对应百分数执行进给动作。


(38)  主轴倍率(%)：当波段开关旋到对应刻度时，主轴将按设定值乘以刻度对应百分数执行动作。


(39) 手轮：在手轮方式下，可以对各进给轴进行手轮进给操作，其倍率可以通过  $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$  键选择。

其他按钮开关：

(40)【CYCLE START】循环启动按钮：按下此按钮，自动操作开始，其指示灯点亮。

(41)【FEED HOLD】进给保持按钮：按下此按钮，自动运行停止，进入暂停状态，其指示灯点亮。

(42)  急停按钮：按下此按钮，机床动作停止，待排除故障后，旋转此按钮，释放机床动作。

(43)  程序保护开关：当把钥匙打到红色标记处，程序保护功能开启，不能更改NC程序；当把钥匙打到绿色标记处，程序保护功能关闭，可以编辑NC程序。

(44)【POWER ON】电源开按钮：用以打开NC系统电源，启动数控系统的运行。

(45)【POWER OFF】电源关按钮：用以关闭NC系统电源，停止数控系统的运行。

### 三、SINUMERIK 828P 面板

SINUMERIK 828P 操作面板如图 1-19 所示。

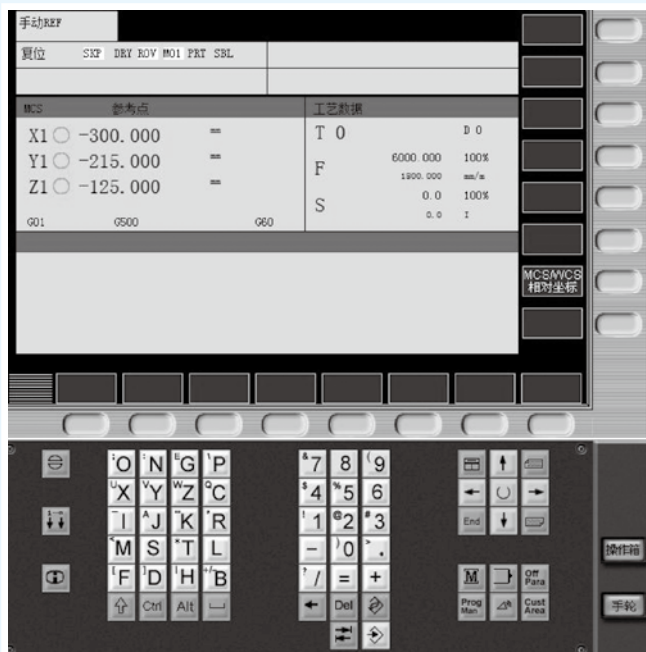


图 1-19 SINUMERIK 828D 操作面板

#### 四、SINUMERIK 828D 控制面板

SINUMERIK 828D 控制面板如图 1-20 所示。



图 1-20 SINUMERIK 828D 控制面板

## 任务拓展

通过本次课的讲解,学生分组讨论并结合内容对数控铣床面板功能进行考核,小组评比,选出表现最佳小组给予表彰。

## 任务四 数控铣削常用刀具及工件毛坯的装夹

### 【任务目标】

1. 掌握数控铣削常用刀具的类型及性能。
2. 掌握装夹工件毛坯的方法。

## 任务描述

带学生到数控车间,教师介绍真实的、常用的铣刀,并演示刀具与毛坯工件的装夹,讲明注意事项。

## 知识储备

### 一、数控铣削常用刀具

#### 1. 数控铣削刀具的要求和特点

数控铣床上所采用的刀具要根据被加工零件的材料、几何形状、表面质量要求、热处理状态、切削性能及加工余量等,选择刚性好、耐用度高的刀具。

数控加工刀具必须适应数控机床高速、高效和自动化程度高的特点,一般应包括通用刀具、通用连接刀柄及少量专用刀柄。刀柄要连接刀具并装在机床动力头上,因此已逐渐标准化和系列化。

#### 2. 数控铣床刀柄

(1) 刀柄的作用。数控铣床使用的刀具通过刀柄与主轴相连,刀柄通过拉钉和主轴内的拉刀装置固定在主轴上,由刀柄夹持传递速度、扭矩,刀柄的强度、刚性、耐磨性、制造精度及夹紧力等对加工有直接的影响。

刀柄与主轴孔的配合锥面一般采用7:24的锥度,这种锥柄不自锁,换刀方便,与直柄相比有较高的定心精度和刚度,如图1-21所示。

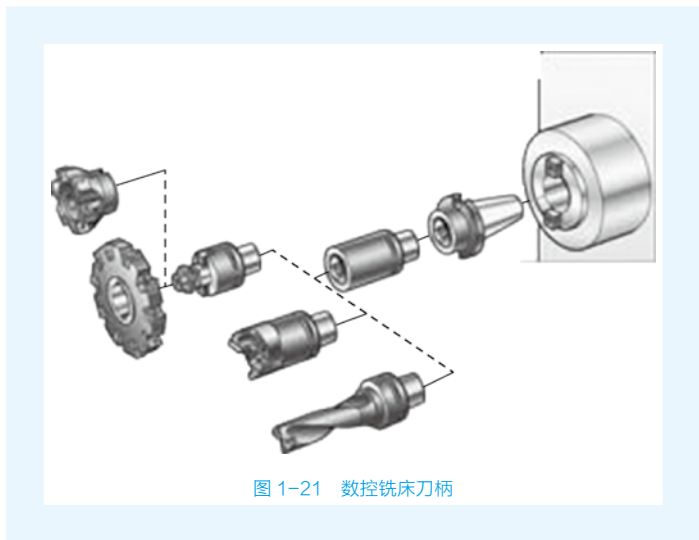


图 1-21 数控铣床刀柄

(2) 刀柄的分类。

① 按结构，数控铣床刀柄可分为整体式刀柄和模块式刀柄，如图 1-22、图 1-23 所示。

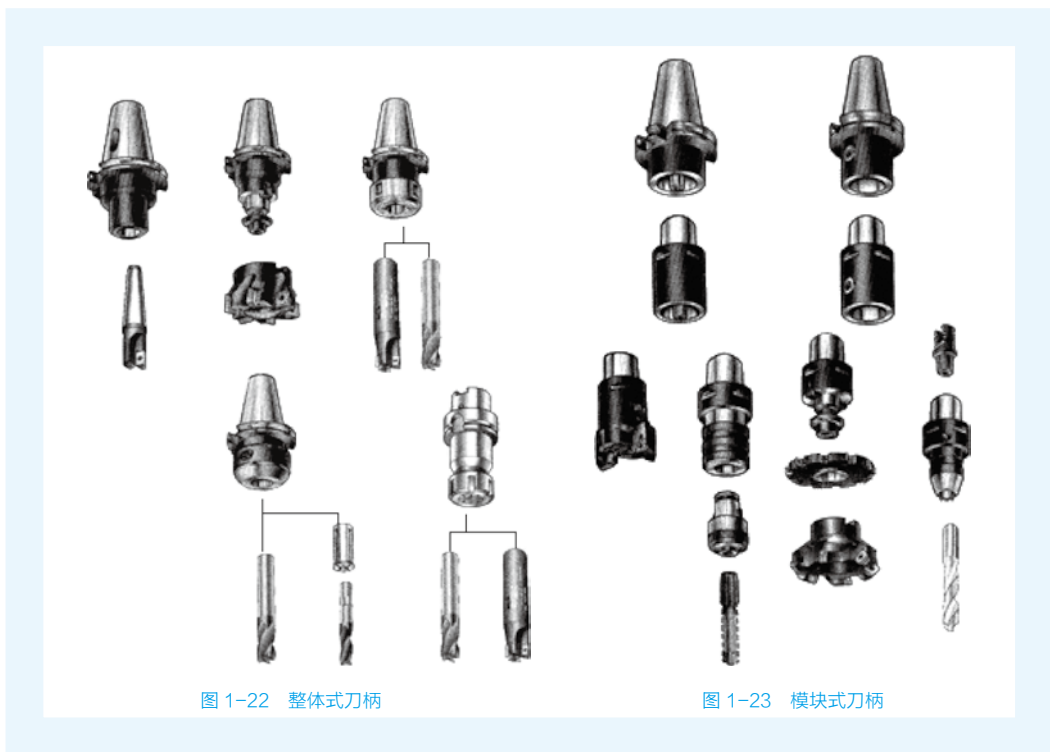


图 1-22 整体式刀柄

图 1-23 模块式刀柄

② 按与主轴的连接形式，数控铣床刀柄可分为一面定位式刀柄和二面定位式刀柄。一面定位连接时，刀柄以锥面与主轴孔配合，端面有 2 mm 左右的间隙，此种连接方式刚性较差。二面定位连接时，刀柄以锥面及端面与主轴孔配合，在高速、高精加工时，二面定位才能确保可靠，如图 1-24 所示。



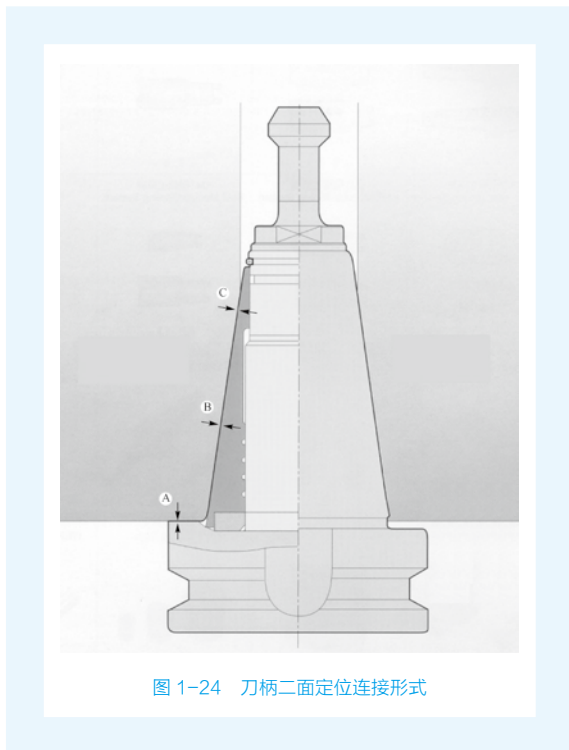


图 1-24 刀柄二面定位连接形式

③ 按刀具夹紧方式，数控铣床刀柄可分为弹簧夹头式、侧向夹紧式、液压夹紧式和冷缩夹紧式，如图 1-25 所示。



图 1-25 不同夹紧方式的数控铣床刀柄

④ 按允许的转速，数控铣床刀柄可分为低速刀柄（主轴转速在 8 000 r/min 以下）、高速刀柄（主轴转速在 8 000 r/min 以上，其上有平衡调整环，必须经动平衡），如图 1-26 所示。



图 1-26 不同工作转速的数控铣床刀柄

⑤ 按所夹持的刀具，数控铣床刀柄可分为圆柱铣刀刀柄、锥柄钻头刀柄、盘铣刀刀柄、直柄钻头刀柄、镗刀刀柄、丝锥刀柄等，如图 1-27 所示。



图 1-27 夹持不同刀具的数控铣床刀柄

(3) 常用刀柄的使用方法。以弹簧夹头式刀柄为例，其使用方法如下：

- ① 将刀柄放入装卸刀座 [ 见图 1-28 (a) ] 并锁紧。
- ② 根据刀具直径尺寸选择相应的卡簧 [ 见图 1-28 (b) ]，清洁工作表面。



图 1-28 弹簧夹头式刀柄的装夹用具

- ③ 将卡簧按入锁紧螺母。
- ④ 将铣刀装入卡簧孔中，并根据加工深度控制刀具伸出长度。
- ⑤ 用扳手顺时针拧紧锁紧螺母。
- ⑥ 检查，将刀柄装上主轴。

### 3. 数控铣削刀具的种类

在数控铣床上使用的刀具主要为铣刀，包括立铣刀、球头铣刀、三面刃盘铣刀、环形铣刀、面铣刀等，除此以外还有各种孔加工刀具，如钻头（麻花钻、铰钻、铰刀、镗刀等）、丝锥等。

（1）立铣刀。立铣刀主要用于平面轮廓零件的加工，从结构上可分为整体式（小尺寸刀具）和机械夹固式（尺寸较大刀具），如图 1-29 所示。



图 1-29 普通立铣刀

（2）球头铣刀。球头铣刀主要用于曲面加工，在加工曲面时，一般采用三坐标联动，其运动方式具有多样性，可根据刀具性能和曲面特点选择或设计，如图 1-30 所示。



图 1-30 球头铣刀及其曲面加工

(3) 环形铣刀。环形铣刀形状类似于端铣刀，不同的是刀具的每个刀齿均有一个较大的圆角半径，从而使其具备类似于球头铣刀的切削能力，同时又可加大刀具直径以提高生产率，并改善切削性能（中间部分不需要刀刃），刀片依然可采用机夹类，如图 1-31 所示。



图 1-31 环形铣刀

(4) 面铣刀。面铣刀又称盘铣刀，如图 1-32 所示，用于立式铣床、端面铣床或龙门铣床上加工平面，端面和圆周上均有刀齿（有粗齿和细齿之分），其结构有整体式、镶齿式和可转位式三种。

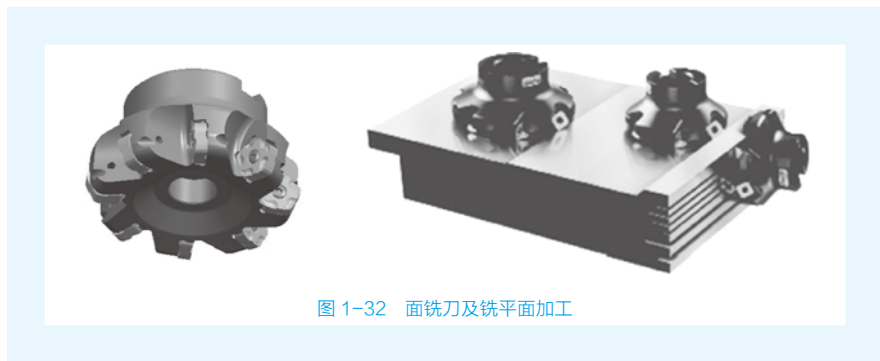


图 1-32 面铣刀及铣平面加工

(5) 麻花钻。麻花钻是通过其相对固定轴线的旋转切削以钻削工件的圆孔的工具，如图 1-33 所示，因其容屑槽成螺旋状形似麻花而得名。螺旋槽有 2 槽、3 槽或更多槽，但以 2 槽最为常见。麻花钻可被夹持在手动、电动的手持式钻孔工具或钻床、铣床、车床乃至加工中心上使用。钻头材料一般为高速工具钢或硬质合金。



图 1-33 麻花钻及钻孔加工

(6) 镗刀。镗刀是镗削刀具的一种,如图 1-34 所示。其一般是圆柄的,加工较大工件使用的镗刀也有方刀杆的,常用于内孔加工、扩孔、仿形等。镗刀可在镗床、车床或铣床上使用。



图 1-34 镗刀及镗削加工

#### 4. 数控铣削刀具的选择

在数控铣削加工中会遇到各种各样的加工表面,如各类平面、垂直面、直角面、直槽、曲底直槽、型腔、斜面、斜槽、曲底斜槽、曲面等,如图 1-35 所示,针对各种加工表面,选择刀具时要对刀具形式(类型、结构)、刀具形状(刀片形状、刀槽形状等)、刀具直径大小、刀具材料等方面做出选择,牵涉到的因素很多,主要考虑加工表面形状、加工要求、加工效率等方面。

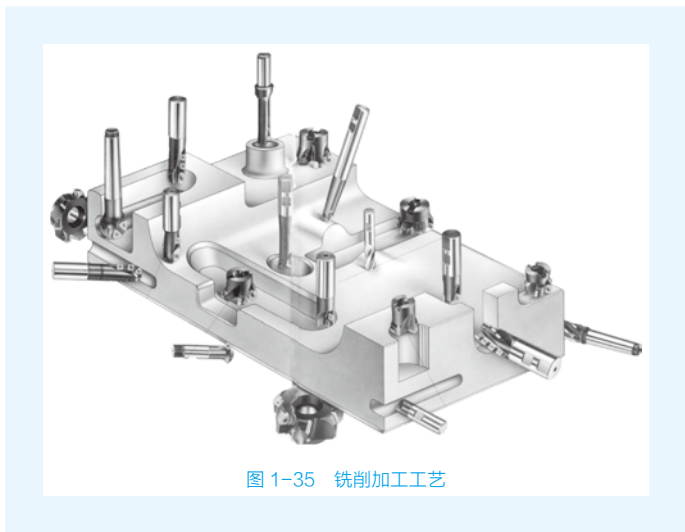


图 1-35 铣削加工工艺

数控铣床切削加工具有高速、高效的特点，与传统铣床切削加工相比较，数控铣床对切削加工刀具的要求更高，铣削刀具的刚性、强度、耐用度和安装调整方法会直接影响切削加工的工作效率，刀具本身的精度、尺寸稳定性会直接影响工件的加工精度及表面的加工质量，因此合理选用切削刀具是数控加工工艺中的重要内容之一。

(1) 孔加工刀具选用注意事项。孔加工时选用刀具应注意以下事项：

- ① 数控铣床孔加工一般无钻模，由于钻头的刚性和切削条件差，选用钻头直径  $D$  应满足  $L/D \leq 5$  ( $L$  为钻孔深度) 的条件。
- ② 钻孔前先用中心钻定位，保证孔加工的定位精度。
- ③ 精铰孔时可选用浮动绞刀，铰孔前孔口要倒角。
- ④ 镗孔时应尽量选用对称的多刃镗刀头，以平衡径向力，减少镗削振动。
- ⑤ 尽量选择较粗和较短的刀杆，以减少切削振动。

(2) 铣削加工刀具选用注意事项。铣削加工时选用刀具应注意以下事项：

① 镶装不重磨可转位硬质合金刀片的铣刀主要用于铣削平面，粗铣时铣刀直径选小一些，精铣时铣刀直径选大一些。当加工余量大且余量不均匀时，刀具直径选小一些，否则会因接刀刀痕过深而影响工件的加工质量。

② 对立体曲面或变斜角轮廓外形工件进行加工时，常采用球头铣刀、环形铣刀、鼓形铣刀、锥形铣刀和盘形铣刀。

③ 高速钢立铣刀多用于加工凸台和凹槽。当加工余量较小、表面粗糙度要求较高时，可选用镶立方氮化硼刀片或陶瓷刀片的端面铣刀。

④ 毛坯表面或孔的粗加工，可选用镶硬质合金的玉米铣刀进行强力切削。

⑤ 加工精度要求较高的凹槽时，可选用直径比槽宽小的立铣刀，先铣槽的中间部分，然后利用刀具半径补偿功能铣削槽的两边。

## 二、工件的装夹

### (一) 六点定位原理

工件在空间具有六个自由度，即沿  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  三个坐标方向的移动和绕这三个坐标轴的转动。因此，要完全确定工件的位置，就需要按一定的要求布置六个支承点（定位元件）来限制工件的六个自由

度。其中，每个支承点限制相应的一个自由度。这就是工件的六点定位原理，如图 1-36 所示。

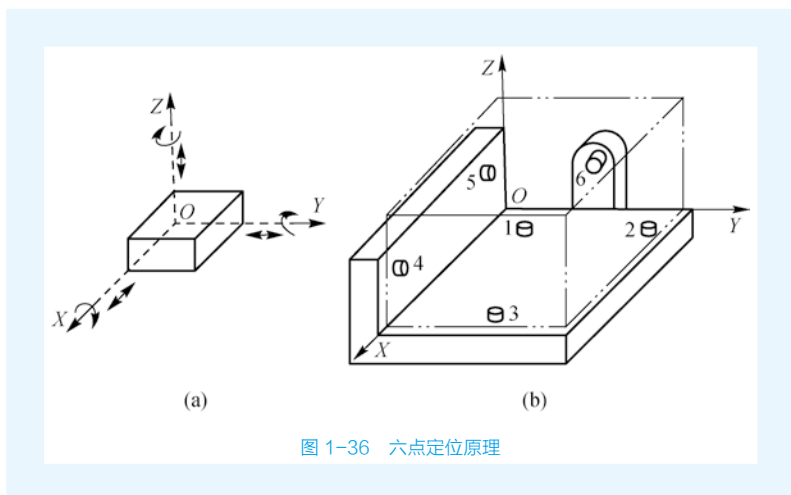


图 1-36 六点定位原理

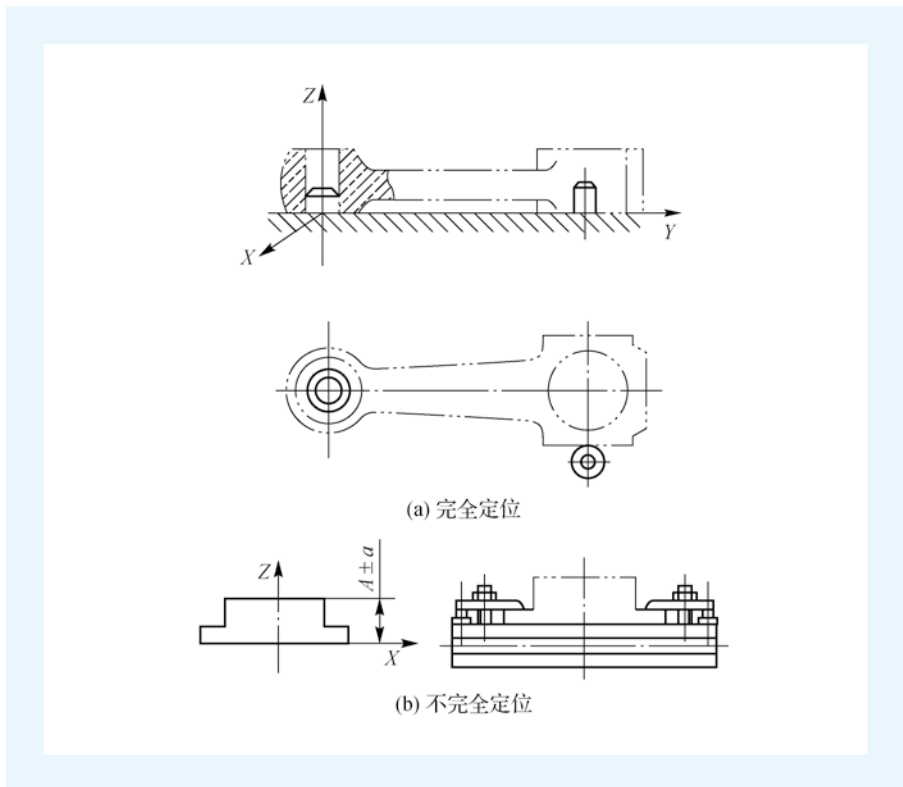
工件的加工定位可能出现以下情况：

(1) 完全定位。工件的六个自由度都被限制的定位称为完全定位，如图 1-37 (a) 所示。

(2) 不完全定位。工件被限制的自由度少于六个，但不影响加工要求的定位称为不完全定位，如图 1-37 (b) 所示。

(3) 欠定位。按照加工要求应该限制的自由度没有被限制的定位称为欠定位。欠定位是不允许的，如图 1-37 (c) 所示。

(4) 过定位。工件的同一个或几个自由度被不同的定位元件重复限制的定位称为过定位，如图 1-37 (d) 所示。



(a) 完全定位

(b) 不完全定位

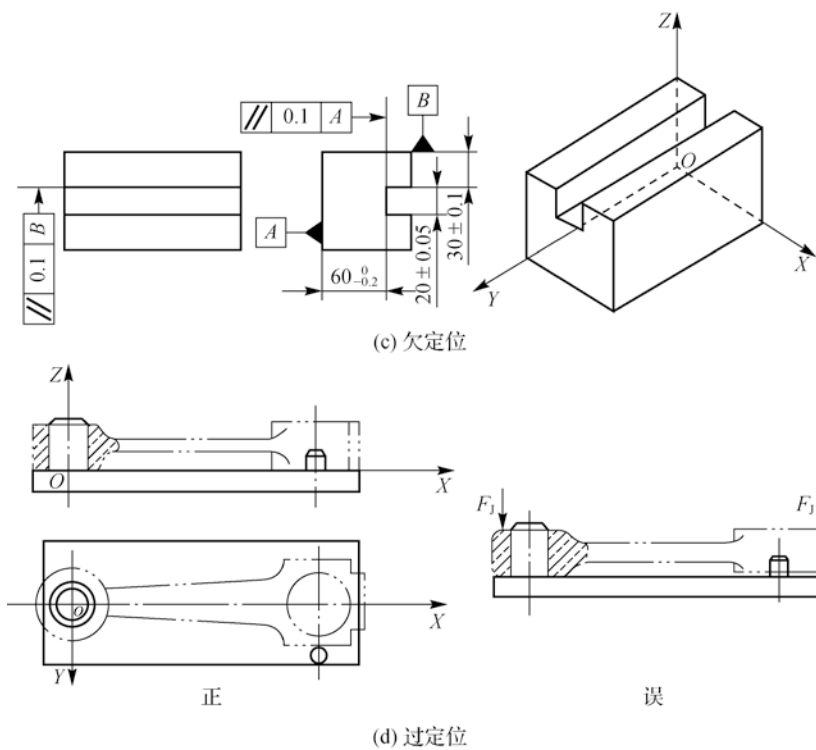


图 1-37 工件的定位情况

## (二) 机床夹具的分类

(1) 按机床类型, 机床夹具可分为车床夹具、铣床夹具、钻床夹具(又称钻模)、镗床夹具(又称镗模)、加工中心夹具和其他机床夹具等。

(2) 按驱动夹具工作的动力源, 机床夹具可分为手动夹具、气动夹具、液压夹具、电动夹具等。

(3) 按专门化程度, 机床夹具可分为通用夹具、专用夹具、可调夹具、组合夹具和随行夹具。

① 通用夹具, 指已经标准化、无须调整或稍加调整就可以用来装夹不同工件的夹具。

② 专用夹具, 指专为某一工件的一定工序加工而设计制造的夹具。

③ 可调夹具, 指加工完一种工件后, 通过调整或更换个别元件就能加工形状相似、尺寸相近工件的夹具。

④ 组合夹具, 指按一定的工艺要求, 由一套预先制造好的通用标准元件和部件组合而成的夹具。

⑤ 随行夹具, 指在自动加工中针对某一种工件而采用的夹具。

## (三) 典型零件在数控铣床 / 加工中心上的装夹

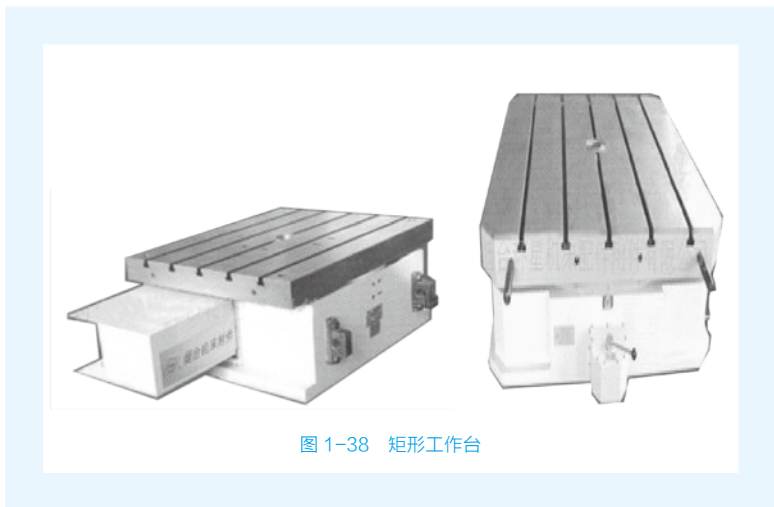
零件在数控铣床 / 加工中心上的装夹主要考虑工作台、定位元件和夹紧装置(夹具)。



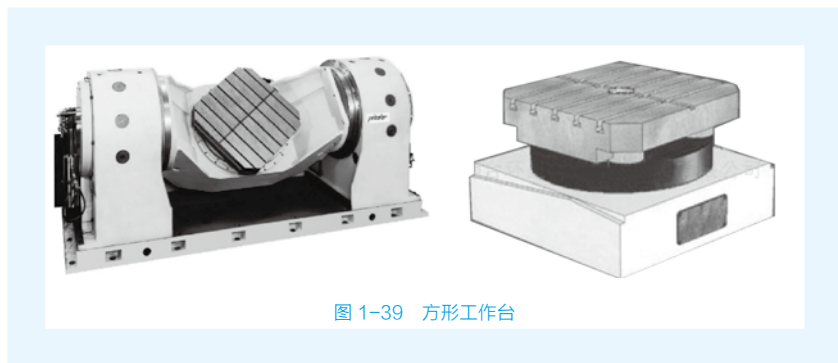
## 1. 工作台

工作台有矩形、方形和圆形之分。夹具是安装在工作台上使用的。

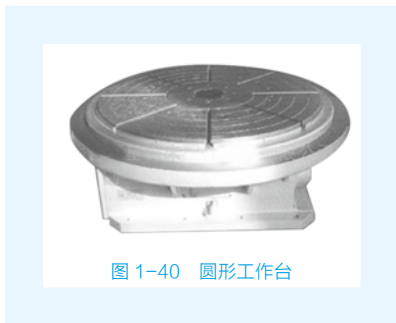
(1) 矩形工作台如图 1-38 所示, 其特点为矩形、有 T 形槽, 应用广泛。



(2) 方形工作台如图 1-39 所示, 其特点为方形、可回转, 应用于卧式机床。



(3) 圆形工作台如图 1-40 所示, 其特点为圆形, 可做任意角度的回转和分度, T 形槽呈放射状分布。



## 2. 定位元件

常用定位元件有平面、外圆柱面、圆孔、一面两孔等。

(1) 工件以平面定位。通过支承的方式实现工件的平面定位, 有主要支承和辅助支承两种情况。

① 主要支承。主要支承形式如下：

- a. 固定支承：有支承钉和支承板两种形式。在使用过程中它们都是固定不动的。支承钉若呈线形布置，则限制两个自由度；支承板若呈面状布置，则限制三个自由度。
- b. 可调支承：支承钉的高度可以调节。
- c. 自位支承（浮动支承）：工件在定位过程中自动调整位置的支承。

② 辅助支承。辅助支承用来提高工件的装夹刚性和稳定性，不起定位作用，也不允许破坏原有的定位，如图 1-41 所示。

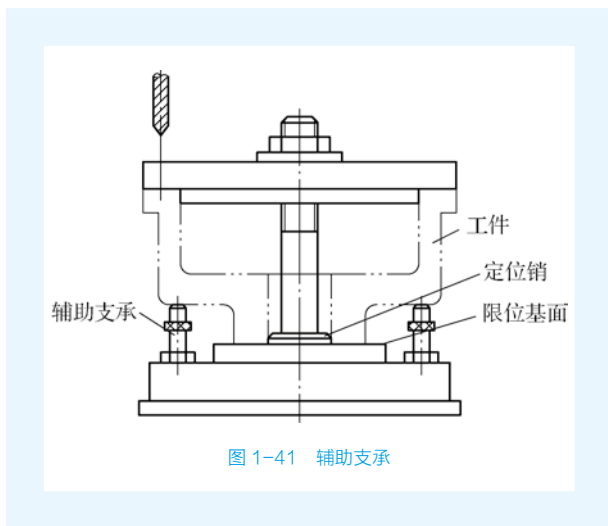


图 1-41 辅助支承

(2) 工件以外圆柱面定位。工件以外圆柱面定位时，有支承定位和自定心定位两种方式。

① 支承定位。支承定位最常见的是用 V 形块定位。

② 自定心定位。自定心定位即自动地将工件的轴线确定在要求的位置上。例如，三爪自定心卡盘和弹簧夹头等可实现自定心定位，此外也可用套筒作为定位元件。

(3) 工件以圆孔定位。工件以圆孔内表面定位时常用到定位销、圆柱心轴、圆锥销、圆锥心轴等定位元件。

(4) 工件以一面两孔定位。一面两孔即利用工件上的一个大平面和与该平面垂直的两个圆孔做定位基准进行定位。在加工箱体、支架类零件时，常用一面两孔定位，以使基准统一。这种定位方式所采用的定位元件为支承板、定位销和菱形销。工件以平面为主要定位基准，用支承板限制工件的三个自由度（ $X$ 转、 $Y$ 转、 $Z$ 移）；其中一孔用圆柱销定位，限制工件的两个自由度；另一个孔仅消除工件的一个转动自由度，可用菱形销作为防转支承，其长轴方向应与销中心连线相垂直，并应正确选择菱形销直径的基本尺寸和经削边后圆柱部分的宽度。

### 3. 夹紧装置

(1) 夹紧装置的组成。夹紧装置一般由力源装置和夹紧机构组成。

(2) 夹紧力作用点及其方向确定的原则。

- ① 夹紧力应朝向主要定位面。
- ② 夹紧力的作用点应施于工件刚度好的方向和部位。
- ③ 夹紧力的作用点应在定位支承范围内。
- ④ 夹紧力的作用点应靠近工件加工表面。

(3) 对夹紧装置的基本要求。

- ① 夹紧不破坏工件的正确定位。
- ② 夹紧系统有足够的刚性，能确保加工时工件定位稳定、可靠，不发生振动。
- ③ 夹紧时不损伤工件表面，不使工件产生不许可的变形。
- ④ 能用较小的夹紧力来获得需要的夹紧效果。
- ⑤ 夹紧装置结构的复杂程度、使用效率应与生产规模和生产节奏相适应，并有良好的结构工艺性。
- ⑥ 夹紧动作迅速，操作方便，安全省力。

(4) 典型夹紧机构。典型夹紧机构有斜楔夹紧机构、螺旋夹紧机构和偏心夹紧机构。

① 斜楔夹紧机构。如图 1-42 所示，斜楔夹紧机构主要是利用其斜面移动时所产生的压力夹紧工件。斜楔夹紧机构的工作原理是将工件装入，敲击斜楔大头，夹紧工件；加工完毕，敲击斜楔小头，使工件松开。生产中很少单独使用斜楔夹紧机构，但由斜楔与其他机构组合而成的夹紧机构却在生产中得到广泛应用。

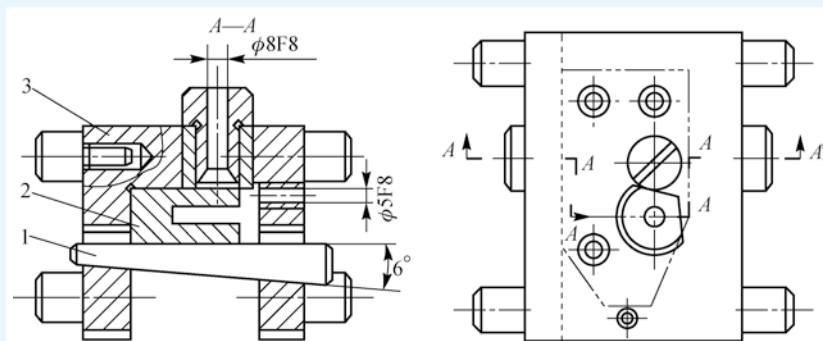
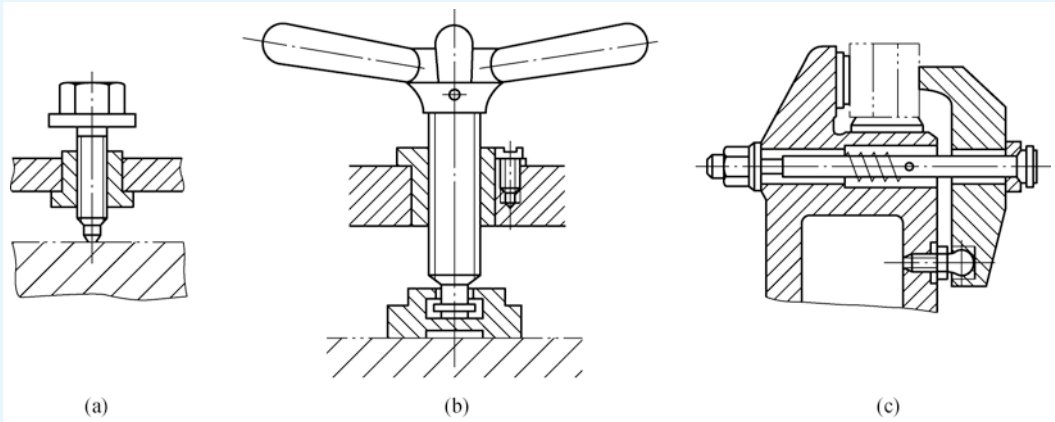


图 1-42 斜楔夹紧机构

1—斜楔；2—工件；3—夹具体

② 螺旋夹紧机构。螺旋相当于斜楔绕在圆柱体上形成，所以夹紧工件仍是楔紧作用，如图 1-43 所示。



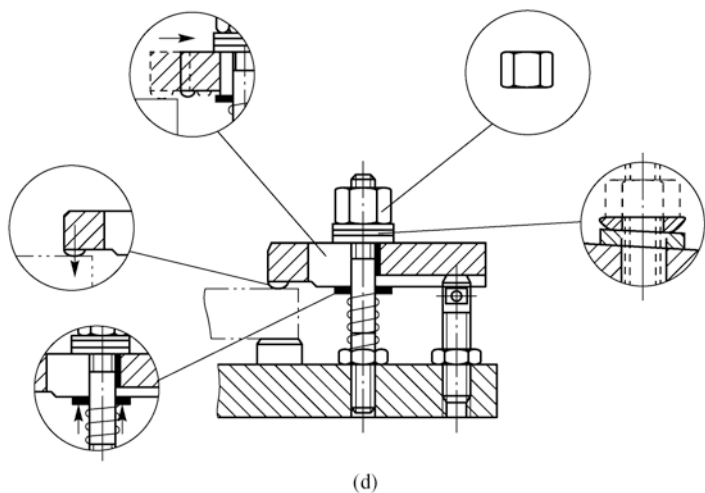


图 1-43 螺旋夹紧机构

③ 偏心夹紧机构。如图 1-44 所示，用偏心件直接或间接夹紧工件的机构称为偏心夹紧机构。偏心件有圆偏心、曲线偏心两种。圆偏心具有结构简单、操作方便、夹紧迅速等优点，但也存在一些缺点，如夹紧力和夹紧行程小、自锁可靠性差、结构抗冲击性较差，故一般用于夹紧行程短及切削载荷小且平稳的场合。

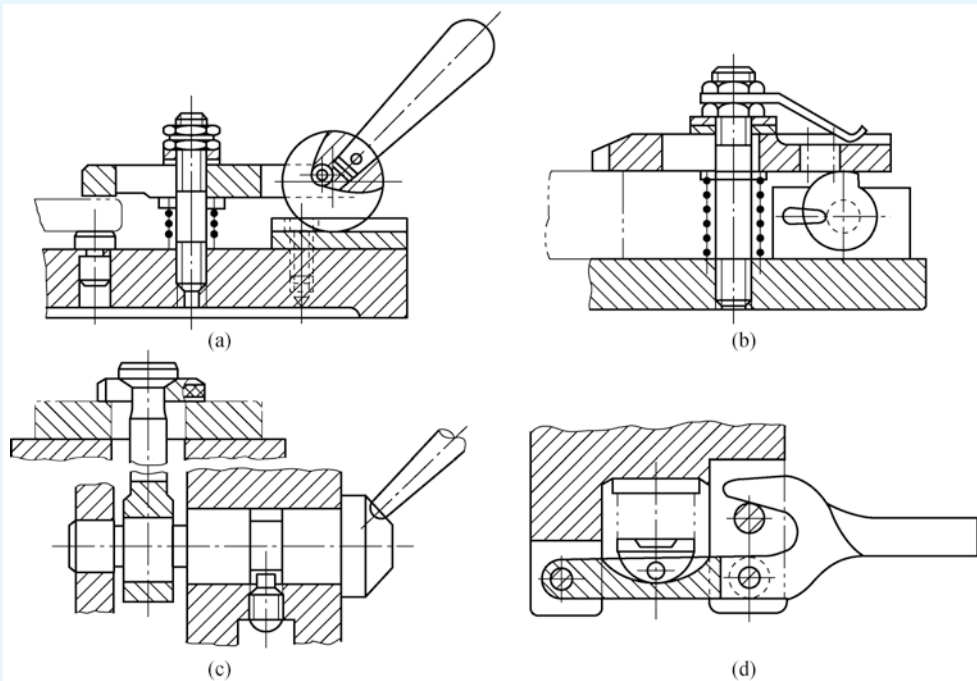


图 1-44 偏心夹紧机构

## （四）常用夹具

常用夹具有平口钳、铣床用卡盘、压板和组合夹具。

### 1. 平口钳

平口钳有机械式和液压式，如图 1-45 所示。



图 1-45 平口钳

### 2. 铣床用卡盘

铣床用卡盘如图 1-46 所示，有三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘等。三爪自定心卡盘用于装夹回转体零件，四爪单动卡盘用于装夹非回转体零件。T 形槽螺栓将卡盘固定在工作台上。



图 1-46 铣床用卡盘

### 3. 压板

对于部分平面类零件或用平口钳和卡盘无法装夹时，往往采用压板装夹的方式。直接用 T 形槽螺栓连接工作台的 T 形槽和压板，同时借助于垫块将工件固定在工作台上。

### 4. 组合夹具

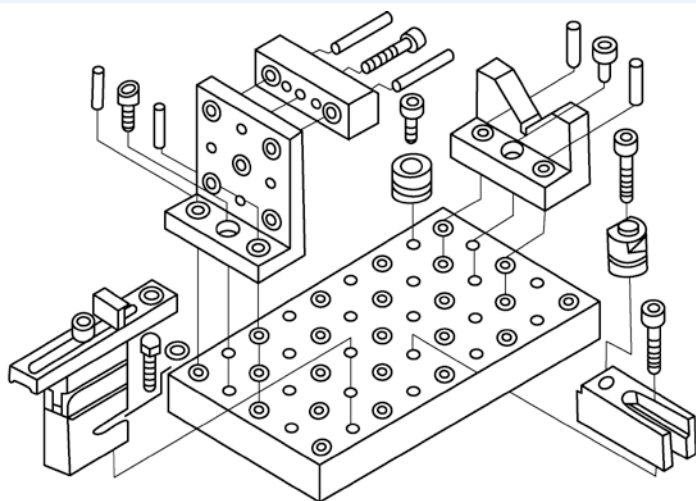
组合夹具是预先制造好的各种不同形状、不同规格尺寸而具有完全互换性及高耐磨性的标准元件所组装成的专用夹具，如图 1-47 所示，有孔系组合夹具和槽系组合夹具之分。

## （五）夹具的选用原则

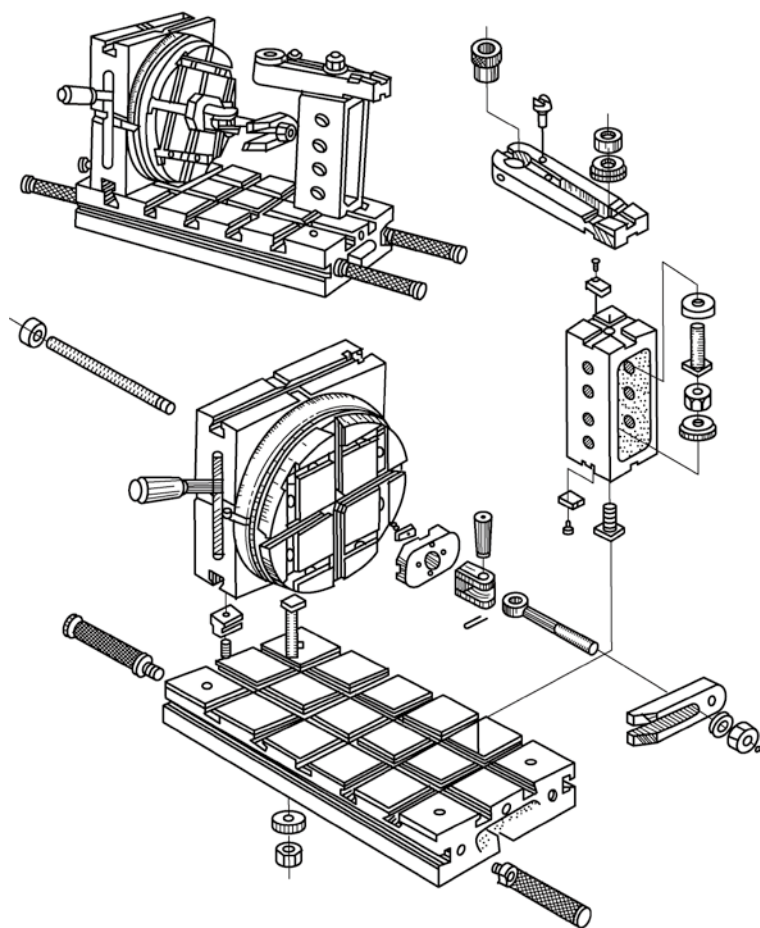
数控加工的特点对夹具提出了两个基本要求：一是保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定；二是要能协调零件与机床坐标系的尺寸。

夹具选用时应遵循以下原则：

- (1) 单件小批量生产时，优先选用组合夹具或其他通用夹具，以缩短生产准备时间和节省生产费用。
- (2) 零件的装卸要快速、方便、可靠，以缩短机床的停顿时间。



(a) 孔系组合夹具



(b) 槽系组合夹具

图 1-47 组合夹具

(3) 在成批生产时才考虑采用专用夹具, 并力求结构简单。

(4) 夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各表面的加工, 即夹具要敞开, 其定位、夹紧机构元件不能影响加工中的进给(如产生碰撞等)。

(5) 为提高数控加工的效率, 批量较大的零件加工时可以采用多工位、气动或液压夹具。

### 任务拓展

通过本次课的讲解, 学生分组练习铣刀的安装和工件的装夹, 设定评分标准。

## 任务五 数控加工坐标系认识及进给操作

### 【任务目标】

1. 了解机床坐标系与工件坐标系。
2. 了解机床零点、参考点、工件零点。
3. 掌握返回参考点的方法。
4. 掌握建立工件坐标系的相关指令。
5. 掌握绝对坐标、增量坐标及极坐标的概念及相关指令。
6. 掌握数控铣床/加工中心手动、手轮进给操作方法。
7. 能使用手动、手轮方式熟练操作机床进行进给运动, 为对刀等操作打基础。

### 任务描述

每位学生熟练掌握数控铣床回零、手动及手轮进给操作方式, 会使用手动及手轮操作方式控制主轴及工作台的进给运动, 保证运动方向的准确性。

### 知识储备

## 一、机床坐标系

机床坐标系是为了确定工件在机床中的位置、机床的运动部件的特殊位置(如换刀点、参考点等)及运动范围(如行程范围、保护区)等而建立的几何坐标系。

机床坐标系的原点称为机床原点或机床零点, 是机床上的固定点, 由制造厂确定, 用  $M$  表示。

### 1. 建立坐标系的基本原则

建立坐标系的基本原则如下:

(1) 采用右手笛卡尔直角坐标系。其中有三个基本轴, 即  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴和围绕基本轴旋转的  $A$ 、 $B$ 、 $C$  旋向, 如图 1-48 所示。此外还有三个辅助轴, 分别是平行于基本轴的  $U$ 、 $V$ 、 $W$  轴

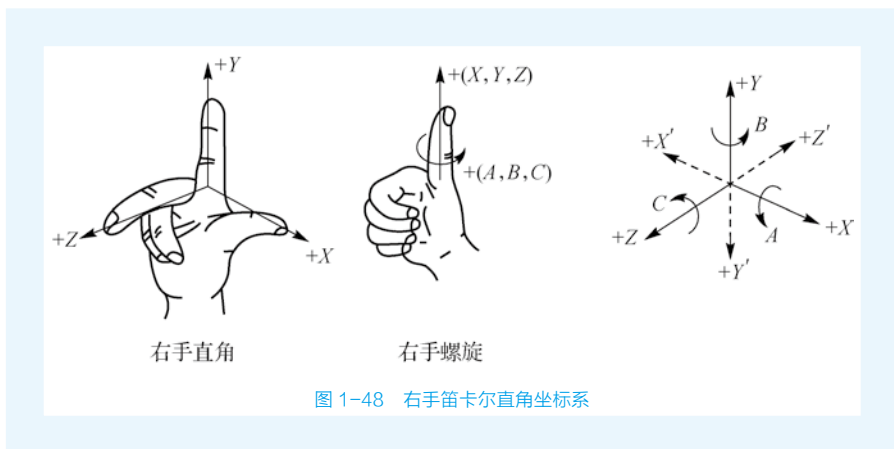


图 1-48 右手笛卡尔直角坐标系

(2) 采用假设工件固定不动, 刀具相对工件移动的原则。

(3) 远离工件的方向为坐标轴的正方向。

## 2. 坐标的确定

(1) Z轴。规定机床(如铣床、钻床、车床、磨床等)传递切削力的主轴轴线为Z轴。

(2) X轴。X轴一般是水平的, 平行于装夹平面。对于刀具旋转的机床(如数控铣床/加工中心), 则做如下规定: 当Z轴水平时, 从刀具主轴后向工件看, 正X为右方向(相应机床为卧式); 当Z轴垂直时, 由主轴向立柱看, 正X为右方向(相应机床为立式)。

(3) 其他坐标轴。由右手笛卡尔坐标系来确定Y轴及U、V、W轴和A、B、C旋向。

(4) 坐标方向判定。当某一坐标上刀具移动时, 用不加撇号的字母表示该轴运动的正方向; 当某一坐标上工件移动时, 用加撇号的字母(如A'、X'等)表示该工件运动的正方向。加与不加撇号所表示的运动方向正好相反。

## 3. 建立机床坐标系指令(G53)

建立机床坐标系指令格式如下:

G53;

## 二、机床参考点

机床参考点是由机床制造厂家人为定义的点。机床参考点与机床零点之间的坐标位置关系是固定的, 并被存放在数控系统的相应机床数据中, 一般不允许改变, 用R表示。

数控系统启动后, 所有的轴都要回一次参考点(也称回零), 以便校正行程测量系统, 建立机床坐标系。

### 1. 返回参考点的方法

返回参考点的方法有手动返回(回零)和自动返回(程序指令)。

### 2. 自动返回参考点指令(G28)

自动返回参考点指令格式如下:

G28 X\_ Y\_ Z\_;

其中, X、Y、Z为指定的某一中间点坐标, 而非参考点。

系统执行G28指令后, 进给轴以快速点定位方式经中间点移动至参考点。如图1-49所示, 刀



具现在  $A$  点位置，需让刀具经过  $B$  点返回参考点  $R$ ，则指令应为“G28 X150.Y95.”。

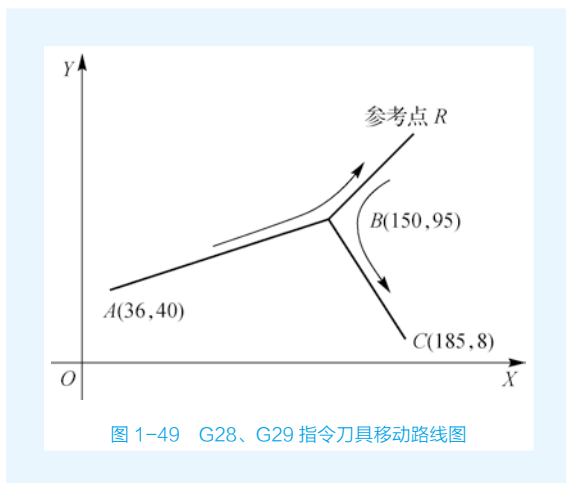


图 1-49 G28、G29 指令刀具移动路线图

### 3. 从参考点返回指令（G29）

从参考点返回指令格式如下：

G29 X\_ Y\_ Z\_；

其中，X、Y、Z 为返回的终点坐标。

系统执行 G29 指令后，进给轴从参考点经 G28 指令设定的中间点快速移动至返回点。如图 1-49 所示，刀具已经 G28 指令回到参考点  $R$ ，需要从参考点返回至  $C$  点，指令应为“G29 X185.Y8.”，执行该指令后，刀具经过  $B$  点回到  $C$  点。

## 三、工件坐标系

用于加工工件和编制程序而使用的坐标系称为工件坐标系，也称程序坐标系。工件坐标系的原点为工件零点，也称编程零点，用  $W$ （或  $P$ ）表示。

工件零点可由使用人员根据具体情况确定，但坐标轴的方向应与机床坐标系一致，且与之有确定的关系。

### 1. 选择工件零点的原则

- (1) 让工件在图中的尺寸容易换算成坐标值，尽量直接用图样尺寸作为坐标值。
- (2) 尽量选择便于对刀的位置。

数控铣床工件零点常选在工件上表面的一个外角上或工件的中心点。

### 2. 建立工件坐标系指令（G54~G59）

建立工件坐标系指令格式如下：

G54；

G55；

G56；

G57；

G58；

G59；

## 四、绝对坐标与增量坐标

### 1. 概念

绝对坐标：坐标值是相对于坐标系原点给出的。

增量坐标：坐标值是相对于前一点给出的，也称相对坐标。

### 2. 表示方法

数控铣床用 G90 来定义绝对坐标，用 G91 来定义增量坐标。两点（见图 1-50）的表示方法示例如下：

点 B 的绝对坐标：G90 X20.Y30.

点 B 相对于点 A 的增量坐标：G91 X-10.Y-20.

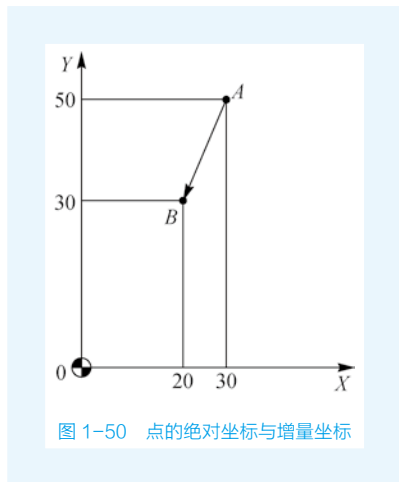


图 1-50 点的绝对坐标与增量坐标

## 五、极坐标

在平面内取一点  $O$  称为极点，引一条射线  $OX$  称为极轴，规定角度正方向，那么一点  $A$  可用  $OA$  的长度（极半径）和  $OA$  与  $OX$  的夹角（极角）来表示其相对于  $O$  的位置，即为极坐标表示法，如图 1-51 所示。

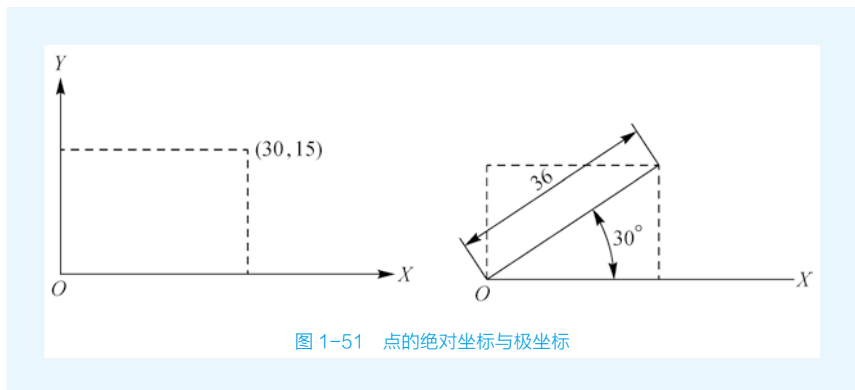


图 1-51 点的绝对坐标与极坐标

数控铣床除了可以采用直角坐标编程，还可以采用极坐标编程。极坐标编程中用  $X$  表示极半径，用  $Y$  表示极角。极坐标编程指令代码如下：

G16；

取消极坐标编程指令代码如下：

G15；










## 任务实施

### 一、回零








采用增量测量方式的数控机床开机后，都必须做回零操作，即返回参考点操作。通过该操作建立起机床坐标系。采用绝对测量方式的数控机床开机后，不必做回零操作。

检查各轴坐标读数，确保各轴离机床零点 100 mm 以上，否则不能进行回零操作，系统会

出现报警；若距离不够，则需要手动模式下移动机床各轴，使其满足以上要求。回零步骤如下：

- (1) 按下回零按钮.
- (2) 按下 Z 向移动按钮.
- (3) 按下手动正向进给按钮.
- (4) 分别按下  和相应的手动正向进给按钮.
- (5) 当机床原点指示灯   亮后，表示回零成功。


## 二、手动进给

在手动操作模式下，持续按下操作面板上的进给轴按钮   及其方向选择按钮 ，使刀具沿着所选方向连续移动。同时按下快速按钮，使各轴实现快速移动。

## 三、手轮进给

在手轮进给方式中，刀具或工作台可以通过旋转手摇脉冲发生器实现微量移动。使用手轮进给轴选择旋钮，选择要移动的轴。手摇脉冲发生器旋转一个刻度时，刀具移动的最小距离与最小输入增量相等，刀具移动的距离还可以比之最小距离放大 10 倍、100 倍。

手轮进给操作步骤如下：

- (1) 按下手轮方式选择按钮.
- (2) 旋转手摇脉冲发生器上的轴选择旋钮和倍率旋钮，使之处于相应的位置。
- (3) 旋转手轮，刀具移动。

### 任务拓展

- (1) 写出图 1-52 中 6 个点的绝对坐标和增量坐标。

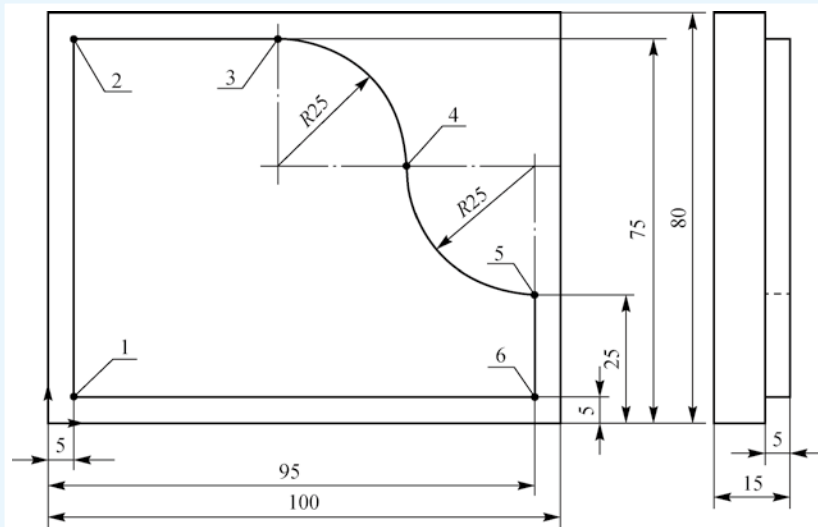


图 1-52 绝对坐标和增量坐标练习

(2) 用极坐标编程加工图 1-53 所示正多边形 (注意角度判定方法: 以  $X$  轴正方向为  $0^\circ$ , 逆时针为正角, 顺时针为负角)。

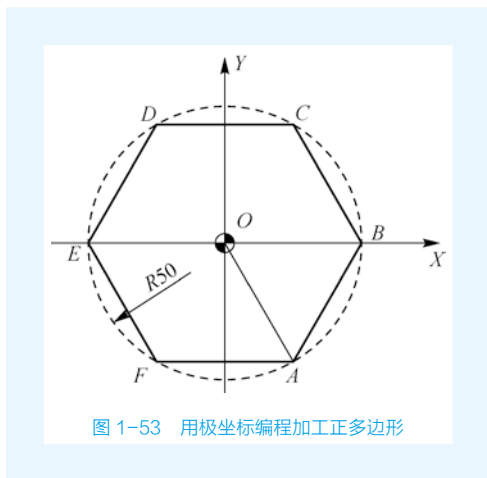


图 1-53 用极坐标编程加工正多边形

## 任务六 数控铣床编程格式、常用功能及MDI操作

### 【任务目标】

1. 了解数控加工程序的格式及组成。
2. 了解程序段的格式与组成。
3. 掌握常用指令的分类与属性。
4. 掌握主轴功能、进给功能、刀具功能的含义、格式及用法。
5. 掌握常用辅助功能的含义、格式及用法。
6. 掌握数控铣床 / 加工中心 MDI 方式的操作方法。
7. 能使用 MDI 方式对常用功能进行操作, 为对刀等操作打基础。

### 任务描述

每位学生熟练掌握 MDI 操作方式, 会使用 MDI 方式完成对机床基本功能 (如主轴正反转、换刀等) 的操作。

### 知识储备

要想使用 MDI 方式对机床进行操作, 就必须掌握数控加工程序的基础知识。

### 一、加工程序的组成

某段数控车削加工程序如下:

```

O0001; ----- 程序开始
N10 G97 G99 F0.15;
N20 T0101;
N30 M03 S600;
N40 G00 X53.Z2.; ----- 程序内容
...
N120 M09;
N130 M30; ----- 程序结束

```

### 1. 程序开始

通常用程序名(程序号)作为程序的开始,程序名用字母O(不同系统不一样)加四位数字组成,数字可从0000到9999。

### 2. 程序内容

程序内容是整个加工程序的核心,它由若干个程序段组成,用来表示数控机床除程序结束外的全部动作。

### 3. 程序结束

常以程序结束指令M02或M30构成最后的程序段,表示该程序运行结束。

## 二、程序段的组成与格式

一个程序由若干个程序段组成,程序段又由若干个代码字(功能字、指令字)组成。代码字由表示地址的英文字母和数字构成。

程序段格式如下:

```
N_ G_ X_ Y_ Z_ F_ S_ T_ M_ LF
```

FANUC系统中的两个重要规定如下:

(1) 尺寸功能字后面的坐标数字中的小数点不能省略,如要输入X200,正确的输入方式为“X200.”。

(2) LF通常用“;”(分号)表示。例如,“N60 G01 X37.Z-22.F0.07;”。

## 三、常用工艺指令的分类与属性

### 1. 常用工艺指令的分类

常用工艺指令分为准备型工艺指令、辅助型工艺指令及其他工艺指令。

- (1) 准备型工艺指令:又称准备功能G指令,G00~G99。
- (2) 辅助型工艺指令:指辅助功能M指令,M00~M99。
- (3) 其他工艺指令:如主轴功能S指令、进给功能F指令、刀具功能T指令等。

### 2. 常用工艺指令的属性

常用工艺指令有模态和非模态两类属性。

(1) 模态指令:表示该指令已经在程序段中指定,在接下来的程序段中一直持续有效,直到出现同组的另一个指令时,该指令才失效。

(2) 非模态指令:仅在编入的程序段内才有效的指令,如G04、M00等。

## 四、主轴功能 (S 功能)

用来控制主轴转速的功能称为主轴功能。主轴的转速分为恒转速和恒线速两种。

### 1. 恒转速 $n$

恒转速的单位是 r/min, 用准备功能 G97 来指定, 如 “G97 S1000” 表示主轴以 1 000 r/min 的速度旋转。

### 2. 恒线速 $vc$

恒线速的单位是 m/min, 用准备功能 G96 来指定, 如 “G96 S90” 表示主轴以 90 m/min 的速度来旋转, 即铣削时,

$$vc = \pi dn/1000 \text{ (m/min)}$$

式中,  $d$  为刀具直径, mm;  $n$  为主轴转速, r/min。

## 五、进给功能 (F 功能)

用来指定刀具相对于工件运动的速度的功能称为进给功能。进给功能分每分钟进给和每转进给两种。

### 1. 每分钟进给

每分钟进给表示为进给速度  $F$ , 单位为 mm/min, 用准备功能 G94 来指定, 如 “G94 F200” 表示刀具的进给速度为 200 mm/min。

### 2. 每转进给

每转进给表示为进给量  $f$ , 单位为 mm/r, 用准备功能 G95 来指定, 如 “G95 F0.2” 表示刀具的进给量为 0.2 mm/r。

## 六、刀具功能 (T 功能)

系统用来选刀的功能为刀具功能。

刀具功能指令称通常用 T 加两位数字组成, 即 T $\times\times$ , 表示刀库上的刀具号, 如 T01 表示刀库选取 1 号刀。

## 七、准备功能 (G 功能)

准备功能是由于数控机床做好某些准备动作的指令。具体内容将在后面课程中详细讲解。

## 八、常用辅助功能 (M 功能)

辅助功能是控制数控机床做辅助动作的指令, 如冷却泵的开停、主轴正反转、程序的结束等。

### 1. M00 和 M01

M00: 程序停止。

M01: 程序选择停止 (计划停止)。

M00 和 M01 都用于程序中间停止, 执行指令后机床所有动作均暂停, 以便进行精度的检测等, 重新按下循环启动按钮后, 再执行该指令后的程序。

M01 是只有按下机床控制面板上的 “选择停止” 开关后, 该指令才有效, 否则机床继续执行后面的程序。

## 2. M02 和 M30

M02 和 M30 都表示程序结束，但在使用 M02 时，自动运行结束后，光标停在程序结束处，而用 M30 时，自动运行结束后，光标自动返回到程序开头处，按下循环启动后就可以再一次运行程序。

## 3. M03、M04 和 M05

M03：主轴正转。

M04：主轴反转。

M05：主轴停止。

这三个指令都是用来控制主轴旋转状态的。从主轴箱向尾座看，主轴顺时针旋转为正转，逆时针旋转为反转。

## 4. M06

M06 为换刀功能，即机床完成换刀动作。

通常，无机械手换刀功能的加工中心选刀与换刀配合使用，如“T02 M06”表示选取 2 号刀并完成换刀。

## 5. M07、M08 和 M09

M07 和 M08：冷却液开。

M09：冷却液关。

这三个指令都用来控制冷却液开关的状态。有些机床有两个冷却泵，则用 M07 和 M08 来分别控制开启；而有些机床用 M07 来开启气态冷却，则用 M08 来开启液态冷却。通常数控车床用 M08 作为冷却液开启指令。



### 任务实施

在 MDI 运行方式中，通过 MDI 面板可以编制执行最多 10 行的程序，程序格式和通常程序一样。在 MDI 方式中编制的程序不能被存储，MDI 运行适用于简单的测试操作。

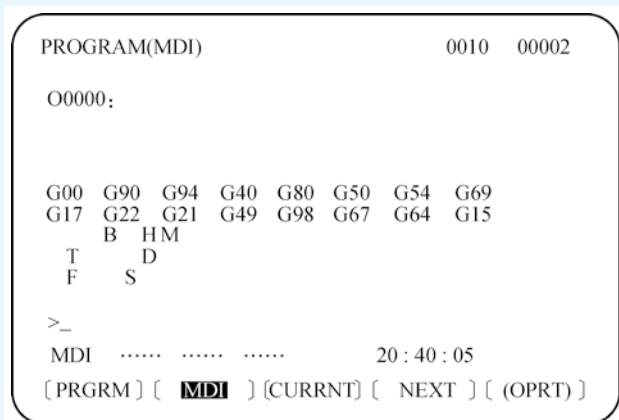




图 1-54 MDI 界面

MDI 运行操作步骤如下:

(1) 按下 MDI 方式按钮。



(2) 按下 MDI 操作面板上的  功能键。屏幕显示如图 1-54 所示。界面中自动加入程序号 O0000。


(3) 用通常的程序编辑方式, 编制一个要执行的程序。

(4) 为了执行程序, 需将光标移到程序头 (从中间点启动也是可以的), 按下循环启动按钮 , 程序启动运行。

(5) 当执行程序结束语句 (M02 或 M30) 或者执行 “;” 以后, 程序自动清除并结束运行。通过指令 M30, 控制自动回到程序的开头。

要在中途停止或结束 MDI 操作, 方法如下:

(1) 停止 MDI 操作: 按下操作面板上的进给保持按钮 , 进给保持按钮指示灯亮, 程序暂停。再次按下循环启动按钮 , 机床重新启动。

(2) 结束 MDI 操作: 按下 MDI 面板上的复位按钮 , 自动运行结束, 并进入复位状态。

### 任务拓展

让每位学生按照以下要求进行 MDI 操作:

- (1) 让主轴以 600 r/min 的速度正转。
- (2) 让主轴停止。
- (3) 换 2 号刀。
- (4) 冷却液开。

## 任务七 建立工件坐标系 (对刀)

### 【任务目标】

1. 了解工件坐标系的建立方法;
2. 掌握工件坐标系参数表的设置;
3. 了解寻边器、Z 轴设定器的结构;
4. 掌握试切法对刀的方法及步骤;
5. 掌握使用寻边器、Z 轴设定器对刀的方法及步骤;
6. 能通过对刀操作建立工件坐标系。

### 任务描述

每位学生熟练掌握工件坐标系的建立方式, 会使用寻边器及 Z 轴设定器或是试切法完成对数控铣床的对刀操作。






## 知识储备


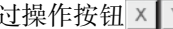

所谓对刀，其目的就是确定工件零点在机床坐标系中的位置，从而建立机床坐标系，即将对刀后的数据输入工件坐标系 G54-G59 的参数表中，在程序中调用该坐标系。工件坐标系 G54-G59 的参数是该原点在机床坐标系的坐标值，它储存在机床内，无论停电、关机或者换班后，都能保持不变。同时，通过对刀可以确定加工刀具和基准刀具的刀补，即通过对刀确定出加工刀具与基准刀具在 Z 轴方向上的长度差，以确定其长度补偿值。

根据工件表面是否已经被加工，可将对刀分为试切法对刀和借助仪器或量具对刀两种方法。

### 一、试切法对刀

试切法对刀适用于尚需加工的毛坯表面或加工精度要求较低的场合。其具体操作步骤如下：

(1) 启动主轴。按下机床操作面板上的 MDI 按钮  和数控操作面板上的程序按钮 ，输入“M03 S800”，然后按下循环启动按钮 ，主轴开始正转。

(2) 按下手动操作按钮 ，然后通过操作按钮 ，将刀具移动到工件附近，并在 X 轴方向上使刀具离开工件一段距离，Z 轴方向上使刀具移动到工件表面以下，然后换用手轮将刀具慢慢移向工件的左表面，当刀具稍稍切到工件时，停止 X 轴方向的移动。此时，按下数控操作面板上的位置功能键 ，显示出机床的机械坐标值，并记录该数值。

将刀具离开工件左边一定距离，抬刀，移至工件的右侧，再下刀，在工件的右表面再进行一次试切，并记录下该处的机械坐标值。将两处的机械坐标值相加再除以 2，就得到该工件的中心坐标的机械坐标值，将所得的值输入 G54 的 X 坐标中即可。

也可通过测量得到 X 的坐标值。当刀具在工件左边试切后，将相对坐标值中的 X 值归零，然后再在工件右边试切一次。此时，得到 X 轴的相对坐标值，将该值除以 2，就得到了工件在 X 轴上的中点相对坐标值，此时，将刀具抬起，移向工件中点，当到达工件该相对坐标值时，停止移动。将光标移动到 G54 的 X 坐标上，输入 X0，按下“测量”软键，X 的机械坐标值就输入 G54 的 X 中。

(3) 用同样方法分别试切工件的前后表面，可得到工件的 Y 坐标值。

(4) X、Y 轴对好后，再对 Z 轴。将刀具移向工件上表面，在工件上表面上试切一下，此时，Z 轴方向不动，读取 Z 向的机械坐标值，输入 G54 的 Z 坐标中。或者输入 Z0，然后按“测量”软键即可。

以上对刀操作步骤是将工件零点建立在工件的中心。但在实际加工时，通常为了便于编程和检查尺寸，坐标系建立在某个特定的位置则更加合理。此时，一般过程为先以工件中心作为工件零点对好位置，再移到指定的位置，并把此处的机械坐标值输入 G54 中，即可完成坐标系的建立。为避免出错，最好将工件中心位置相对坐标系的坐标设置为零，再进行移动。

如果工件坐标系设置在工件的某个角上，那么在 X、Y 方向对刀时，只需试切相应的一个表面即可。但此时应注意在输入相应的机械坐标值时，应加上或减去刀具的半径值。

### 二、借助仪器或量具对刀

在实际加工中，一些较精密零件的加工精度往往控制在几丝甚至几微米之内，试切对刀法不能满足精度要求；另外，有的工件表面已经进行了精加工，不能对工件表面进行切削。因此，常借助仪器和量具进行对刀。

#### 1. 使用光电式寻边器对刀

光电式寻边器如图 1-55 所示。



工作原理：将光电式寻边器安装到刀柄上，然后装到主轴上，利用手轮控制，使光电式寻边器以较慢的速度移向工件的测量表面，当顶端上的圆球接触到工件的某一对刀表面时，整个机床、寻边器和工件之间便形成一条闭合的电路，寻边器上的指示灯发光，并发出声音。其具体操作步骤、数值记录和录入与试切法对刀的原理相同，所不同的是这种对刀方法对工件没有破坏作用，而是利用光电信号，提高了对刀精度。

## 2. 使用机械式偏心寻边器对刀

机械式偏心寻边器如图 1-56 所示。其结构分为上下两段，中间有孔，内有弹簧，通过弹簧拉力将上下两段紧密结合到一起。



图 1-55 光电式寻边器



图 1-56 机械式偏心寻边器

工作原理：将寻边器安装到刀柄上，并装到主轴上，让主轴以  $200 \sim 400 \text{ r/min}$  的转速转动，此时，在离心力作用下，寻边器上下两部分是偏心的，当用寻边器的下部分去碰工件的某个表面时，在接触力的作用下，寻边器的上下两部分将逐渐趋向于同心，同心时的坐标值即为对刀值。其具体操作步骤、数值记录和录入与试切对刀法相同。

上述两种方法只适用于  $X$  和  $Y$  向的对刀， $Z$  向可采用对刀块对刀。仪器的灵敏度在  $0.005 \text{ mm}$  之内，故对刀精度可以控制在  $0.005 \text{ mm}$  之内。使用机械式偏心寻边器对刀时，主轴转速不宜过高，因为转速过高，离心力变大，会使寻边器内的弹簧拉长而损坏。

## 3. 使用对刀块或 $Z$ 轴设定器进行 $Z$ 向对刀

$Z$  向可采用对刀块对刀、 $Z$  轴设定器对刀。对刀块通常是高度为  $100 \text{ mm}$  的长方体，用热变形系数较小，耐磨、耐蚀的材料制成。 $Z$  轴设定器又分为光电式  $Z$  轴设定器和指针式  $Z$  轴设定器两种，如图 1-57 和图 1-58 所示。



图 1-57 光电式  $Z$  轴设定器



图 1-58 指针式  $Z$  轴设定器

利用对刀块进行 Z 向对刀时，主轴不转，当刀具移到对刀块附近时，改用手轮控制，沿 Z 轴一点点向下移动。每次移动后，将对刀块移向刀具和工件之间，若对刀块能够在刀具和工件之间轻松穿过，则间隙太大；若不能穿过，则间隙过小。反复调试，直到对刀块在刀具和工件之间能够穿过，且感觉对刀块与刀具及工件有一定摩擦阻力，此时间隙合适。然后读出此时的 Z 轴的机械坐标值，减去 100 后，输入图 1-59 所示的 Z 坐标中，Z 向对刀完成。Z 轴设定器对刀法和对刀块法一样，但精度更高。



图 1-59 参数补偿界面

除以上方法外，还可利用塞尺对刀。对于圆柱形坯料，有的还可借助百分表对刀。

### 任务实施

- (1) 对刀。各小组成员轮流进行试切法对刀或利用光电（或机械）式寻边器对刀。
- (2) 验证。对刀完成后，在 MDI 模式下，输入程序段“G90 G54 G00 X0 Y0 Z50；”，将光标移动到开头，把进给倍率和快速倍率调到最低，按下自动运行键，观察刀具移到的位置，验证对刀数据是否正确。
- (3) 对机床进行日常保养后，关闭机床。