

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 项目一 数控机床概述 .....             | 1  |
| 任务 1 数控机床的产生及发展 .....        | 1  |
| 任务 2 数控机床的工作原理和组成 .....      | 2  |
| 任务 3 数控机床的分类 .....           | 4  |
| 任务 4 数控机床的特点和应用范围 .....      | 8  |
| 任务 5 数控机床的发展趋势 .....         | 10 |
| 项目二 数控车床的基本操作 .....          | 13 |
| 任务 1 数控车床的认知 .....           | 13 |
| 任务 2 数控车床面板功能 .....          | 17 |
| 任务 3 数控车床手动、手轮及 MDI 操作 ..... | 21 |
| 任务 4 程序输入及图形模拟 .....         | 27 |
| 任务 5 数控车床对刀及校刀操作 .....       | 31 |
| 任务 6 数控车床维护保养及常见故障处理 .....   | 40 |
| 任务 7 7S 管理理念 .....           | 50 |
| 项目三 数控编程基础 .....             | 56 |
| 任务 1 数控编程概述 .....            | 56 |
| 任务 2 数控编程规则 .....            | 58 |
| 任务 3 数控加工工艺分析 .....          | 65 |
| 任务 4 数控编程中的数值计算 .....        | 73 |
| 任务 5 计算机辅助数控编程 .....         | 84 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 项目四 数控车床编程（基于 FANUC Oi 系统） ..... | 88  |
| 任务 1 数控车床的编程基础 .....             | 88  |
| 任务 2 数控车床编程的基本指令 .....           | 92  |
| 任务 3 数控车床编程的循环指令 .....           | 106 |
| 项目五 数控铣床编程 .....                 | 122 |
| 任务 1 数控铣床概述 .....                | 122 |
| 任务 2 数控铣床编程基础 .....              | 123 |
| 任务 3 数控铣床编程（SIEMENS802D） .....   | 125 |
| 项目六 加工中心操作、编程及实训 .....           | 160 |
| 任务 1 加工中心基本操作及实训 .....           | 160 |
| 任务 2 加工中心对刀操作及实训 .....           | 166 |
| 任务 3 基础指令、子程序及矩形槽实训 .....        | 175 |
| 任务 4 圆弧插补及圆弧槽实训 .....            | 182 |
| 参考文献 .....                       | 188 |

# 项目一 数控机床概述

## 任务1 数控机床的产生及发展

### 1. 数控机床的产生

随着科学技术的发展，机械产品的结构日趋复杂，其精度日趋提高，性能不断改善，因此对制造机械产品的生产设备——机床，必然会相应地提出高效率、高精度和高自动化的要求。

在机械产品中，单件与小批量产品占到 70% ~ 80%。由于这类产品生产批量小、品种多，而且当产品改型时，机床与工艺设备均需做较大的调整，因此这类产品的生产不仅对机床提出了“三高”要求，而且还要求机床应具有较强的适应产品变化的能力。这类产品的零件一般都采用通用机床来加工，而通用机床的自动化程度不高，基本上是由人工操作来完成的，难以提高生产效率和保证产品质量。特别是一些由曲线、曲面组成的复杂零件，只能借助划线和样板采用手工操作的方法来加工，或者利用靠模和仿形机床来加工，其加工精度和生产效率都受到很大的限制。要实现这类产品生产的自动化，已成为机械制造业中长期未能解决的难题。

数控机床就是为了解决单件、小批量，特别是高精度、复杂型面零件加工的自动化要求而产生的。1952 年，美国 PARSONS 公司与麻省理工学院（MIT）合作研制了第一台三坐标直线插补连续控制的立式数控铣床，它综合应用了电子计算机、自动控制、伺服驱动、精密检测与新型机械结构等多方面的技术成果，是一种新型的机床，可用于加工复杂曲面零件。该铣床的研制成功是机械制造行业中的一次技术革命，使机械制造业的发展进入了一个崭新的阶段。



## 2. 数控机床的发展

从第一台数控机床问世到现在的半个多世纪中,数控机床的品种得以不断发展,几乎所有的机床都实现了数控化。1956年,日本富士通公司研制成功数控转塔式冲床,美国帕克工具公司研制成功数控转塔钻床;1958年,美国K&T公司研制出带自动刀具交换装置的加工中心(Machining Center, MC),1978年以后,加工中心迅速发展,各种加工中心相继问世。在20世纪60年代末期,出现了由一台计算机直接管理和控制一群数控机床的计算机群控系统,即直接数控系统(Direct Numerical Control, DNC)。1967年出现了由多台数控机床连接而成的可调加工系统,这就是最初的柔性制造系统(Flexible Manufacturing System, FMS)。目前已经出现了包括生产决策、产品设计及制造和管理等全过程均由计算机集成管理和控制的计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS),以实现生产自动化。

数控机床的应用领域已从航空工业部门逐步扩大到汽车、造船、机床、建筑等机械制造业,出现了金属成型类数控机床,如数控折弯机、数控弯管机;特种加工数控机床,如数控线切割机、数控火焰切割机、数控激光切割机床等;其他还有数控绘图机、数控三坐标测量机等。

综上所述,数控机床已经成为组成现代机械制造生产系统,实现设计(CAD)、制造(CAM)、检验(CAT)和生产管理等全部生产过程自动化的基本设备。

## 3. 数控机床的概念

数控机床就是采用数字信息控制的机床。具体地讲,凡是用代码化的数字信息将刀具移动轨迹的信息记录在程序介质上,然后送入数控系统,经过译码、运算,从而控制机床刀具与工件的相对运动,加工出所需工件的一类机床即为数控机床。

数控技术(Numerical Control, NC)是指用数字信号构成的控制程序对某个对象进行控制的一门技术。它所控制的一般是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量等物理量。这些量的大小不仅是可以被测量的,而且还可以经A/D转换用数字信号来表示。

# 任务2 数控机床的工作原理和组成

## 1. 数控机床的工作原理

数控机床加工零件的步骤如下所述。



- (1) 根据被加工零件的图样与工艺规程,用规定的代码和程序格式编写加工程序。
- (2) 将所编写的程序指令输入机床数控装置。
- (3) 数控装置将程序代码进行译码、运算后,向机床各个坐标的伺服机构和辅助控制装置发出信号,以驱动机床的各运动部件,并控制所需要的辅助动作,最后加工出合格的零件。

## 2. 数控机床的组成

数控机床的组成如图 1-1 所示。

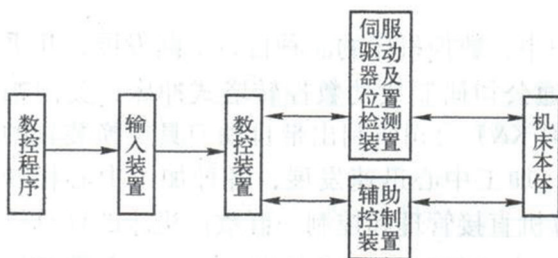


图 1-1 数控机床的组成

### (1) 数控程序

数控程序是数控机床自动加工零件的工作指令的集合。通过对零件进行工艺分析,得到零件的所有运动、尺寸、工艺参数等加工信息,然后用标准的由文字、数字和符号组成的数控代码,按规定的方法和格式编制零件加工的数控程序。

编制程序的工作可由人工进行,或者在数控机床外部用自动编程计算机系统来完成,比较先进的数控机床可以在它的数控装置上直接编程。

数控程序存放在便于输入到数控装置的一种存储载体上,它可以是穿孔纸带、磁卡、磁盘等。采用哪一种存储载体,取决于数控装置的设计类型。

### (2) 输入装置

输入装置的作用是将程序载体上的数控代码变成相应的电信号,并将其传送并存入数控装置内。根据程序存储介质的不同,输入装置可以是光电阅读机、录放机或磁盘驱动器。有些数控机床不用任何程序存储载体,而是将数控程序的内容通过数控装置上的键盘,用手工方式(MDI 方式)输入,或者将数控程序由编程计算机用通信方式传送到数控装置中。

### (3) 数控装置

数控装置是数控机床的核心,它接受输入装置送来的电信号,经过数控装置的系统软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后,输出各种信号和指令来控制机床的各个部分完成规定的、有序的动作。在这些控制信号中,最基本的信号是由插补运算决定的各坐标轴(即做进给运动的各执行部件)的进给位移量、进给方向和速度的指令,经伺服驱动系



统驱动执行部件做进给运动。其他信号还有主运动部件的变速换向和启/停信号；选择和交换刀具的刀具指令信号；控制冷却、润滑的启/停，工件和机床部件的松开、夹紧及分度工作台的转位等辅助指令信号。

#### (4) 伺服驱动系统及位置检测装置

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置（电动机）组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给速度、方向和位移。每个做进给运动的执行部件都配有一套伺服驱动系统。

伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中，使用位置检测装置间接或直接测量执行部件的实际进给位移，然后与指令位移进行比较，最后按闭环控制原理将其差值转换放大后控制执行部件的进给运动。

#### (5) 辅助控制装置

辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的主运动换向、变速、启/停、刀具的选择和变换，以及其他辅助装置动作等指令信号，经必要的编译、逻辑判别和运算，再经功率放大后直接驱动相应的电器，带动机床机械部件和液压气动等辅助装置完成指令规定的动作。此外，机床上的限位开关等开关信号经它处理后，送数控装置进行处理。可编程控制器（PLC）已广泛作为数控机床的辅助控制装置。

#### (6) 机床本体

数控机床本体由主运动部件、进给运动执行部件、床身和工作台，以及辅助运动部件、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库、交换刀具的机械手等部件。数控机床的组成与普通机床相似，但其传动结构要求更为简单，在精度、刚度、抗震性等方面的要求更高，而且其传动和变速系统便于实现自动化控制。

## 任务3 数控机床的分类

数控机床的种类很多，可以根据其加工工艺、控制原理、功能和组成等角度进行分类。

### 1. 按加工工艺方法分类

#### (1) 普通数控机床

为了不同的工艺需要，与传统的通用机床一样，普通数控机床分为数控车床、铣床、



钻床、镗床及磨床等，而且每一类又有很多品种，如数控铣床就有立铣、卧铣、工具铣及龙门铣等，这类机床的工艺性能与通用机床相似，所不同的是它能自动地加工出精度更高、形状更复杂的零件。

### (2) 数控加工中心

数控加工中心是带有刀库和自动换刀装置的数控机床。典型的数控加工中心有镗铣加工中心和车削加工中心。

数控加工中心又称为多工序数控机床。在加工中心上，可以使零件一次装夹后，进行多种工艺、多道工序的集中连续加工，这就大大减少了机床台数。由于减少了装卸工件、更换和调整刀具的辅助时间，从而提高了机床效率；同时由于减少了多次安装造成的定位误差，从而提高了各加工面之间的位置精度，因此，近年来数控加工中心得以迅速发展。

### (3) 多坐标数控机床

有些复杂形状的零件，即使用三坐标的数控机床还是无法加工，如螺旋桨、飞机机翼曲面等，这就需要3个以上坐标的合成运动才能加工出所需的曲面形状。于是出现了多坐标联动的数控机床，其特点是数控装置能同时控制的轴数较多，机床结构也较复杂。坐标轴数的多少取决于加工零件的复杂程序和工艺要求，现在常用的有四、五、六坐标联动的数控机床。

### (4) 数控特种加工机床

数控特种加工机床包括数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控激光切割机床等。

## 2. 按控制运动方式分类

### (1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床仅控制运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，对两点间的移动速度和运动轨迹没有严格要求，可以沿多个坐标同时移动，也可以沿各个坐标先后移动。为了减少移动时间和提高终点位置的定位精度，一般先快速移动，当接近终点位置时，再减速缓慢靠近终点，以保证定位精度。

采用点位控制的机床有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床和数控测量机等。

### (2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床不仅要控制点的准确定位，而且要控制刀具（或工作台）以一定的速度沿与坐标轴平行的方向进行切削加工。机床应具有主轴转速的选择与控制、切削速度与刀具的选择及循环进给加工等辅助功能。这种机床常用于简易数控车床、数控镗铣床等。

### (3) 轮廓控制数控机床

轮廓控制数控机床能够对两个或两个以上运动坐标的位移及速度进行连续相关的控



制,使合成的平面或空间的运动轨迹能满足零件轮廓的要求。其数控装置一般要求具有直线和圆弧插补功能、主轴转速控制功能及较齐全的辅助功能。这类机床常用于加工曲面、凸轮及叶片等复杂形状的零件。

轮廓控制数控机床有数控铣床、车床、磨床和加工中心等。

### 3. 按所用进给伺服系统的类型分类

#### (1) 开环数控机床

开环数控机床采用开环进给伺服系统。开环控制系统没有位置检测元件,伺服驱动部件通常为反应式步进电动机或混合式伺服步进电动机,如图 1-2 所示。数控系统每发出一个进给指令脉冲,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,再经传动机构带动工作台移动。这类系统信息流是单向的,即进给脉冲发出去后,实际移动值不再反馈回来,所以称为开环控制。

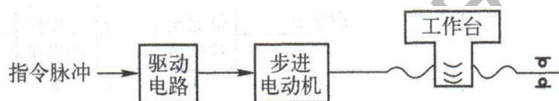


图 1-2 开环控制系统

开环数控系统的优点是结构较简单、成本较低、技术容易掌握。但是,由于受步进电动机的步距精度和传动机构的传动精度的影响,难以实现高精度的位置控制,进给速度也受步进电动机工作频率的限制。因此开环数控机床一般适用于中、小型控制系统的经济型数控机床,特别适用于旧机床改造的简易数控机床。

#### (2) 闭环数控机床

闭环数控机床的进给伺服系统是按闭环控制原理工作的。闭环控制系统如图 1-3 所示。这类控制系统带有直线位移检测装置,直接对工作台的实际位移量进行检测。伺服驱动部件通常采用直流伺服电动机和交流伺服电动机。图中的 A 为速度测量元件, C 为位置测量元件。当位移指令值发送到位置比较电路时,若工作台没有移动,则没有反馈量,指令值使得伺服电动机转动,通过 A 将速度反馈信号送到速度控制电路,通过 C 将工作台实际位移量反馈回去,在位置比较电路中与位移指令值进行比较,用比较后得出的差值进行位置控制,直到差值为零时为止。这类控制系统,因为把机床工作台纳入了控制环节,所以称为闭环控制系统。该系统的优点是可以消除包括工作台传动链在内的传动误差,因而定位精度高。其缺点是由于工作台惯性大,对机床结构的刚性、传动部件的间隙及导轨副的灵敏性等都提出了严格的要求,否则会对系统稳定性带来不利的影响。同时,调试和维修都较困难,系统复杂,成本高,一般适用于精度要求高的数控机床,如数控精密镗铣床。



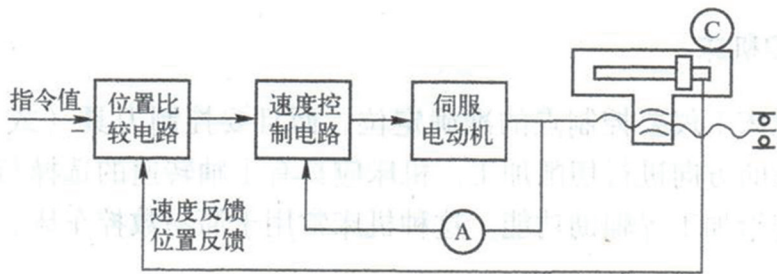


图 1-3 闭环控制系统

### (3) 半闭环数控机床

半闭环控制系统如图 1-4 所示。这类控制系统与闭环控制系统的区别在于它采用了角位移检测元件，检测反馈信号不是来自工作台，而是来自与电动机相联系的角位移检测元件 B。通过测速发电机 A 和光电编码盘（或旋转变压器）B 间接检测出伺服电动机的转角，进而推算出工作台的实际位移量，将此值与指令值进行比较，用其差值来实现控制。从图 1-4 中可以看出，由于工作台没有包括在控制回路中，因而称之为半闭环控制。这类控制系统的伺服驱动部件通常采用宽调速直流伺服电动机，目前已将角位移检测元件与电动机设计成一个整体，系统结构简单、调试方便。半闭环控制系统的性能介于开环控制系统与闭环控制系统之间，其精度没有闭环控制系统高，调试却比闭环控制系统方便，因而得到广泛应用。

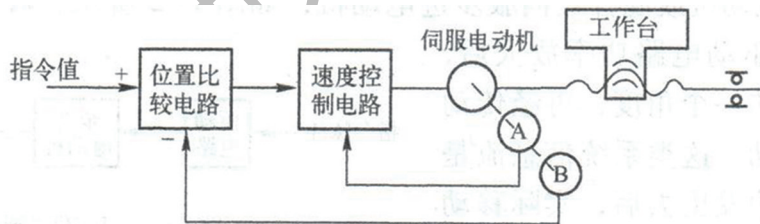


图 1-4 半闭环控制系统

## 4. 按所用数控装置类型分类

(1) 硬件式数控机床 硬件式数控机床（NC 机床）使用硬件式数控装置，它的输入、插补运算和控制功能都由专用的固定组合逻辑电路来实现，不同功能的机床，其组合逻辑电路也不相同。改变或增/减控制、运算功能时，需要改变数控装置的硬件电路。因此其通用性、灵活性差，制造周期长，成本高。20 世纪 70 年代初期以前的数控机床基本上都属于这种类型。现代数控机床已不再采用硬件式数控系统。

(2) 软件式数控机床 这类机床使用计算机数控装置（CNC）。这种数控装置的硬件



电路是由小型或微型计算机再加上通用或专用的大规模集成电路制成的。数控机床的主要功能几乎全部由系统软件来实现，所以不同功能的机床其系统软件也不同，而修改或增/减系统功能时，不需改变硬件电路，只需改变系统软件即可，因此它具有较高的灵活性。同时，由于硬件电路基本是通用的，这就有利于大量生产，提高质量和可靠性，缩短制造周期和降低成本。20 世纪 70 年代中期以后，随着微电子技术的发展和微型计算机的出现，以及集成电路的集成度不断提高，计算机数控装置才得到不断的发展和提高，目前几乎所有的数控机床都采用了计算机数控装置。

#### 5. 按数控装置的功能水平分类

按数控装置的功能水平通常把数控机床分为低、中、高档 3 类。这种分类方式在我国用得较多。低、中、高 3 档的界限是相对的，不同时期的划分标准也不尽不同。就目前的发展水平来看，可以根据一些功能及指标，将各种类型的数控产品分为低、中、高档 3 类。其中，高、中档一般称为全功能数控或标准型数控。在我国还有经济型数控的提法。经济型数控属于低档数控，是指由单板机、单片机和步进电动机组成的数控系统，以及其他功能简单、价格低的数控系统。经济型数控装置主要用于车床、线切割机床及旧机床改造等。

## 任务 4 数控机床的特点和应用范围

### 1. 数控机床的特点

**【加工精度高】** 数控机床是按数字形式给出的指令进行加工的。目前数控机床的脉冲当量普遍达到了  $0.001\text{mm}$ ，而且进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿，因此数控机床能达到很高的加工精度。对于中、小型数控机床，定位精度普遍可达到  $0.03\text{mm}$ ，重复定位精度为  $0.01\text{mm}$ 。此外，数控机床传动系统与机床结构都具有很高的刚度和热稳定性，制造精度高，数控机床的自动加工方式避免了人为干扰因素，同一批零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量十分稳定。

**【对加工对象的适应性强】** 在数控机床上改变加工零件时，只需重新编制（更换）程序，就能实现对新的零件的加工，这就为复杂结构的单件、小批量生产及试制新产品提供了极大的便利。对那些普通手工操作的一般机床很难加工或无法加工的精密复杂零件，数控机床也能实现自动加工。



【**自动化程度高，劳动强度低**】数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的，操作者除了安放穿孔带或操作键盘、装卸工件、关键工序的中间检测及观察机床运行外，不需要进行繁杂的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均可大为减轻，加上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，操作者的劳动条件也大为改善。

【**生产效率高**】零件加工所需的时间主要包括机动时间和辅助时间两部分。数控机床主轴的转速和进给量的变化范围比普通机床的大，因此数控机床的每一道工序都可选用最有利的切削用量。由于数控机床的结构刚性好，因此允许进行大切削量的强力切削，这就提高了数控机床的切削效率，节省了机动时间。数控机床的移动部件的空行程运动速度快，工件装夹时间短，辅助时间比一般机床的少。

数控机床更换被加工零件时，几乎不需要重新调整机床，因此节省了零件安装调整时间。数控机床加工质量稳定，一般只做首件检验和工序间关键尺寸的抽样检验，因此节省了停机检验时间。在加工中心上进行加工时，一台机床实现了多道工序的连续加工，生产效率的提高更为明显。

【**良好的经济效益**】数控机床虽然设备昂贵，加工时分摊到每个零件上的设备折旧费高，但在单件、小批量生产情况下，使用数控机床加工可节省划线工时，减少调整、加工和检验时间，节省了直接生产费用；使用数控机床加工零件一般不需制作专用工装夹具，节省了工艺装备费用；数控机床加工精度稳定，减少了废品率，使生产成本进一步降低。此外，数控机床可实现一机多用，节省厂房面积、节省建厂投资。因此，使用数控机床仍可获得良好的经济效益。

【**有利于现代化管理**】采用数控机床加工，能准确地计算出零件加工工时和费用，并有效地简化了检验工装夹具、半成品的管理工作，这些特点都有利于现代化的生产管理。

数控机床使用数字信息与标准代码输入，最适宜于数字计算机联网，成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础。

## 2. 数控机床的应用范围

数控机床具有一般机床所不具备的诸多优点，数控机床的应用范围正在不断扩大，但它并不能完全代替普通机床，也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。

数控机床最适合加工具有以下特点的零件。

- 多品种、中小批量生产的零件。
- 形状结构比较复杂的零件。
- 需要频繁改型的零件。
- 价值昂贵、不允许报废的关键零件。



- 设计制造周期短的急需零件。
- 批量较大、精度要求较高的零件。

根据国外数控机床的应用实践，数控加工的适用范围可用图 1-5 粗略表示。

图 1-5 (a) 所示为随零件复杂程度和生产批量的不同，3 种机床的应用范围的变化。当零件不太复杂且生产批量又较小时，宜采用通用机床；当生产批量很大时，宜采用专用机床；而随着零件复杂程度的提高，数控机床越来越显得适用。目前，随着数控机床的普及，应用范围正由 BCD 线向 EFG 线复杂性较低的范围扩大。

图 1-5 (b) 所示为通用机床、专用机床和数控机床零件加工批量与生产成本的关系。从图中可以看出，在多品种、中小批量生产情况下，采用数控机床总费用更为合理。

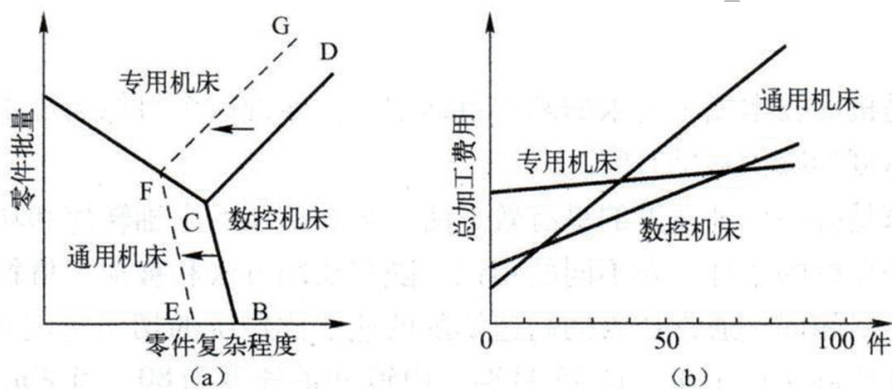


图 1-5 数控机床的加工范围

## 任务 5 数控机床的发展趋势

目前，数控机床已朝着高柔性化、高精度化、高速度化、复合化、制造系统自动化方向发展。

### 1. 高柔性化

柔性是数控机床最主要的特点，也是体现在数控机床的各种发展趋势中的主导方向。

柔性是指机床适应加工对象变化的能力。对于传统的自动化设备和生产线，由于它们是机械或刚性连接和控制的，因此当被加工对象发生变化时，调整困难，甚至是不可能的，有时只得全部更新、更换。数控机床的出现，开创了柔性自动化加工的新纪元，对于



加工对象的变化已具有很强的适应能力。目前,在进一步提高单机柔性化的同时,正努力向单元柔性化和系统柔性化方向发展,体现系统柔性化的 FMC 和 FMS 的发展迅速。

近些年来,不仅中、小批量的生产方式在努力提高柔性化能力,而且在大批量生产方式中,也积极向柔性化方向转变,如出现了 PLC 控制的可调组合机床、数控多轴加工中心、换刀换箱式加工中心、数控三坐标动力单元等具有柔性的高效加工设备和介于传统自动线与 FMS 之间的柔性自动线 (FTL)。

## 2. 高精度化

高精度化一直是数控机床技术发展追求的目标。数控机床的精度包括机床制造的几何精度和机床使用的加工精度两个方面。从 1950 年至 2000 年的 50 年内,普通精度加工由 0.3mm 提升至 0.003mm,精密加工由  $3\mu\text{m}$  提升至  $0.03\mu\text{m}$ ,超精密加工则由  $0.3\mu\text{m}$  提升至  $0.003\mu\text{m}$ ,机床的加工精度提高了两个数量级(平均每 8 年提高约 1 倍)。

提高数控机床的加工精度,一般是通过减小数控系统误差,提高数控机床基础大件结构特性和热稳定性,采用补偿技术和辅助措施来实现的。在减小 CNC 系统误差方面,通常采用提高数控系统分辨率,使 CNC 控制单元精细化,提高位置检测精度,以及在位置伺服系统中为改善伺服系统的响应特性,采用前馈与非线性控制等方法。在采用补偿技术方面,采用齿隙补偿、丝杆螺母误差补偿及热变形误差补偿技术等。通过上述措施,机床的加工精度有了很大提高。

## 3. 高速化

提高生产率是机床技术发展追求的基本目标之一。实现这个目标的最主要、最直接的方法就是提高切削速度和减少辅助时间。

提高主轴转速是提高切削速度的最有效方法。数控机床的主轴转速和功率的大幅度提高为高速切削提供了良好的条件。在不同的年代,随着切削方法和被加工材料的不同,高速切削的界限数值也不尽相同。通常认为的高速切削的速度比传统的切削速度和进给速度高出 5~8 倍。例如,在实际生产中车、铣 45 号钢,1950 年的速度为 80~100m/min,而 2000 年就已经达到了 500~600m/min,50 年内切削速度提高了约 5 倍。

对现有数控机床的使用情况统计显示,数控机床有效切削时间与全部工时之比(机床利用率)仅为 25%~35%,其余的 65%~75% 均消耗在机床调整、程序运行检查、空行程、起/制动空运转、工件上/下料和装夹等辅助时间及待加工时间(由于技术准备和调度不及时引起的非工作时间)与故障停机时间上。因此,需通过提高各轴快速移动速度和加速度、主轴变速的角加速度、刀具(工件)自动交换速度,改善数控系统的操作方便性和监控功能,以及加强信息管理才有可能全面压缩辅助时间和待加工时间,使数控机床的利用率达到 60%~80%。



#### 4. 复合化

复合化包括工序复合化和功能复合化两个方面。数控机床的发展也模糊了粗、精加工工序的概念。加工中心（包括车削中心、磨削中心、电加工中心等）的出现，又把车、铣、镗、钻等类的工序集中到一台机床上来完成，打破了传统的工序界限和分开加工的工艺规程。一台具有自动换刀装置、自动交换工作台和自动转换立/卧主轴头的镗铣加工中心，不仅一次装夹便可以完成镗、铣、钻、铰、攻螺纹和检验等工序，而且还可以完成箱体件 5 个面的粗、精加工的全部工序。

复合化机床的含义是在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成品的全部加工。复合机床根据其结构特点可分为以下两类。

**【功能复合型】**功能复合型机床为跨加工类别的复合机床，包括不同加工方法和工艺的复合，如车铣中心，车、铣、镗型多用途制造中心，激光铣削加工机床，车、镗、铣、磨复合机床，冲孔、成型与激光切割复合机床，金属烧结与镜面切削复合机床，等离子加工与冲压复合机床等。

**【工序复合型】**工序复合型机床应用切具（铣头）自动交换装置、主轴立/卧式转换头、双摆铣头、多主轴头和多回转刀架等配置，增加工件在一次安装下的加工工序数，如多面多轴联动加工的复合机床和主/副双主轴车削中心等。

增加数控机床的复合加工功能将进一步提高其工序集中度，不仅可以减少多工序加工零件的上/下料时间，而且更主要的是可避免零件在不同机床上进行工序转换而增加的工序间输送和等待时间，复合数控机床具有良好的工艺适应性，避免了在制品的储存和传输等环节，提高了加工效率。

#### 5. 制造系统自动化

自 20 世纪 80 年代中期以来，以数控机床为主体的加工自动化已从“点”（单台数控机床）发展到“线”的自动化（FMS、FTL）和“面”的自动化（柔性制造车间），并结合信息管理系统的自动化，逐步形成整个工厂“体”的自动化。在国外，已出现 FA（自动化工厂）和 CIM（计算机集成制造）工厂的雏形实体。尽管由于这种高自动化的技术还不够完备，投资过大，回收期较长，但数控机床的高自动化及向 FMC、FMS 系统集成方向发展的趋势仍是机械制造业发展的主流。

制造系统的自动化除了进一步提高其自动编程、自动换刀、自动上/下料、自动加工等自动化程度外，在自动检测、自动监控、自动诊断、自动对刀、自动传输、自动调度、自动管理等方面也得到进一步发展，同时也提高了其标准化和进线的适应能力，达到“无人化”管理正常生产的目标。

## 项目二 数控车床的基本操作

### 任务1 数控车床的认知

数控机床以其精度高、效率高、能适应小批量、多品种复杂零件的加工等优点，在机械加工中日益得到广泛应用。其中数控车床能自动完成轴类或盘类等回转体零件的内、外圆柱面，圆锥面，圆弧面和直、锥螺纹等切削加工，并能进行切削、钻孔、扩孔和铰孔等加工，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%。

#### 1. 数控车床的特点

数控车床与普通车床的加工对象、结构组成及工艺特点有很大的相似之处，但由于数控车床带有数控系统，因此与普通车床相比有很大的区别。数控车床的具体特点如下。

(1) 数控车床采用了全封闭或半封闭的防护装置，从而可防止切屑或切削液飞出，避免给操作者带来意外伤害。

(2) 数控车床一般配有自动排屑装置，而且采用自动排屑装置的数控车床大都采用斜床身结构布局，从而使排屑更加方便。

(3) 数控车床主轴转速高，而且大都采用了液压卡盘，因此夹紧力调节方便，工件装夹安全可靠，同时也降低了操作工人的劳动强度。

(4) 数控车床采用了自动回转刀架，在加工过程中可自动完成换刀操作，从而可以连续完成多道工序的加工。

(5) 数控车床的主传动与进给传动采用了各自独立的伺服电动机，从而使传动链变得简单，同时，各电动机既可单独运动，也可实现多轴联动。

(6) 为了拖动轻便，数控车床的润滑都比较充分，大部分采用油雾自动润滑。



## 2. 数控车床的分类

### (1) 按车床主轴位置分类

1) 卧式数控车床。卧式数控车床的机床主轴与机床床身平行，主要用于加工径向尺寸小、轴向尺寸相对较大的零件，它分为平床身卧式数控车床和斜床身卧式数控车床。平床身卧式数控车床的优点是加工工艺性好，其刀架水平放置；有利于提高刀架的运动精度；缺点是床身下部空间小，排屑困难。斜床身卧式数控车床的优点是车床外形美观，占地面积小，易于排屑和切削液的排流；而且便于操作者操作与观察，易于安装上下料机械手，实现全面自动化；另外还可采用封闭截面整体结构，以提高床身的刚度；缺点是倾斜角太大会影响导轨的导向性和受力情况，一般倾斜角多为  $45^\circ$ 、 $60^\circ$ 、 $70^\circ$ 。

2) 立式数控车床。立式数控车床简称数控立车，其主轴垂直于水平面。立式数控车床有一个直径很大的圆形工作台，用来装夹工件。这类车床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

### (2) 按刀架数量分类

1) 单刀架数控车床。数控车床一般都配置有各种形式的单刀架，最常见的刀架有四方刀架和转塔刀架。

2) 双刀架数控车床。这类车床的双刀架配置可以平行分布（图 2-1），也可以相互垂直分布（图 2-2）。

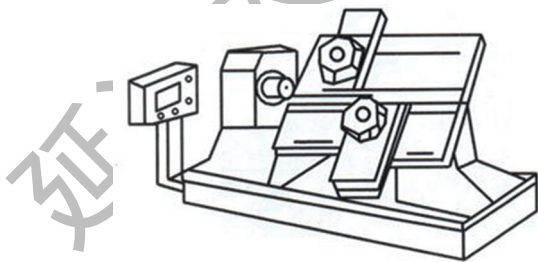


图 2-1 平行交错双刀架

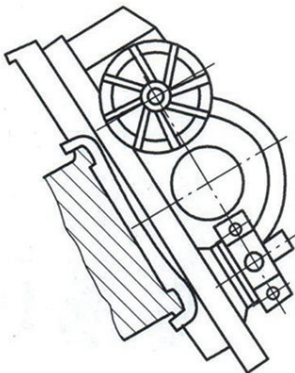


图 2-2 垂直交错双刀架





### (3) 按功能分类

1) 经济型数控车床。经济型数控车床是指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。这类车床成本较低，自动化程度和功能都比较差，车削加工精度也不高，适用于要求不高的回转类零件的车削加工。

2) 全功能数控车床。全功能数控车床是指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。这类车床可同时控制 X 轴和 Z 轴两个坐标轴，数控系统功能强，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。

3) 车削加工中心。车削加工中心是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，联动控制可以是 (X, Z)、(X, C)、(Z, C)。由于增加了 C 轴和铣削动力头，这种数控车床的加工功能大大增强，除了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。

### 3. 数控车床的结构

数控车床主要由数控装置、主轴模块、进给驱动模块、刀架尾座模块、冷却润滑模块等组成，其中数控装置是车床最重要的部分。

(1) 数控装置。数控装置的核心是计算机及其软件。它在数控车床中起“指挥”作用，数控装置接收由加工程序送来的各种信息，并经处理和调配后，向驱动机构发出执行命令；在执行过程中，其驱动、检测等机构同时将有关信息反馈给数控装置，以便经处理后发出新的执行命令。数控装置的操作部分由操作面板、控制面板和显示屏组成。

(2) 主轴箱及主轴。数控车床的主传动系统一般采用直流或交流无级调速电动机，通过带传动带动主轴旋转，实现自动无级调速及恒线速度控制，而起机械传动变速和变向作用的机构已经不复存在。对于改造式（具有手动操作和自动控制加工双重功能）数控车床则基本上保留其原有的主轴箱。

数控车床主轴的回转精度，直接影响零件的加工精度；其功率、回转速度影响加工的效率；其同步运行、自动变速及定向准停等要求，影响车床的自动化程度。机床的主传动由交流变频电动机经  $v$  带传至主轴箱，通过主轴箱内的齿轮传到主轴，主轴转速靠液压缸及变频电动机实现变速。

(3) 进给系统。数控车床的进给系统包括滚珠丝杠副和机床导轨。滚珠丝杠副由丝杠、螺母、滚珠等零件组成，由伺服电动机直接带动旋转或通过同步带带动旋转，其中横向进给传动系统带动刀架做横向（X 轴）移动，控制工件的径向尺寸；纵向进给装置带动刀架做轴向（Z 轴）运动，控制工件的轴向尺寸。滚珠丝杠副其优点是摩擦阻力小，可消除轴向间隙及预紧，故传动效率及精度高，运动稳定，动作灵敏。但结构较复杂，制造技



术要求较高，所以成本也较高。另外，自行调整其间隙大小时，难度也较大。

数控车床的导轨是保证进给运动准确性的重要部件，它在很大程度上影响车床的刚度、精度及低速进给时的平稳性，是影响零件加工质量的重要因素之一。数控车床的导轨分为滑

动导轨和滚动导轨两种。目前只有少部分数控车床仍沿用传统的金属型滑动轨道，大部分机床已经采用贴塑导轨，这种新型滑动导轨的摩擦因数小，耐磨性、耐蚀性及吸振性好，润滑条件也比较优越。滚动导轨的摩擦因数小、运动轻便、位移精度和定位精度高、耐磨性好、抗振性较差、结构复杂、防护要求高。

(4) 卡盘。经济型数控车床的卡盘与普通车床的卡盘基本一样，靠机械力来夹紧。全功能数控车床采用液压卡盘，靠液压动力夹持加工零件。液压卡盘主要由固定在主轴后端的液压缸和固定在主轴前端的卡盘两部分组成，分成中空卡盘和中实卡盘两种。其夹紧力的大小通过调节液压系统的压力进行控制，具有结构紧凑、动作灵敏、能够实现较大夹紧力的特点。

(5) 刀架。数控车床的刀架有电动四方刀架、电动回转刀架及排式刀架。一般说来，经济型数控车床采用电动四方刀架，全功能数控车床采用电动回转刀架。

(6) 尾座。在数控车床上加工长轴类零件时需要使用尾座。一般来说，车床尾座分为手动尾座和可编程尾座两种。尾座套筒的动作与主轴互锁，即在主轴转动时，按动尾座套筒退出按钮，尾座套筒不动作，只有在主轴停止状态下，尾座套筒才能退出，以保证安全。

#### 4. 数控车床主要技术参数

以 CK6136i 数控车床为例，具体介绍数控车床的规格及主要技术参数。车床的数控系统为 FANUC Series 0iMate-TB，具体参数见表 2-1。

表 2-1 CK6136i 数控车床规格及技术参数

| 型号        | CK6136i               |
|-----------|-----------------------|
| 主轴转速      | 交流变频调速 34- 3000 r/min |
| 主轴通孔直径    | 40 mm                 |
| 刀架种类      | 六工位电动刀架               |
| 设备容量      | 8kV • A               |
| X 轴快速移动速度 | 6 m/min               |
| Z 轴快速移动速度 | 8 m/min               |
| X 轴最大行程   | 240 mm                |
| Z 轴最大行程   | 490 mm                |



## 任务2 数控车床面板功能

### 1. CRT/MDI 数控操作面板

图 2-3 所示为 FANUC 0i Mate-TB 的数控操作面板，其主要由 CRT 显示屏和编辑面板组成。

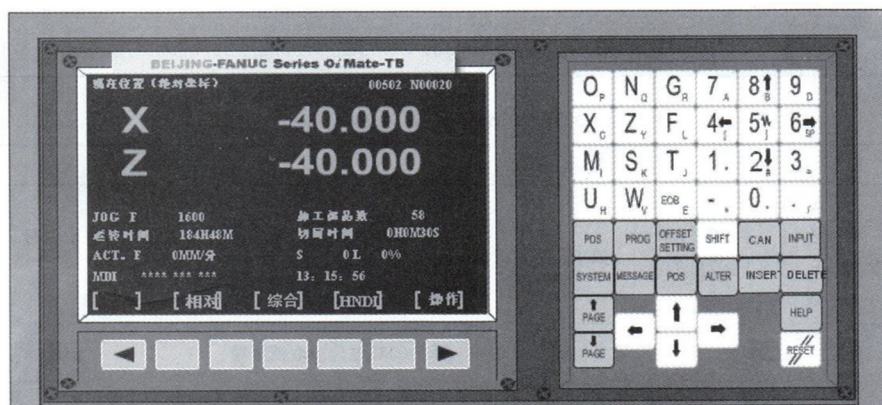


图 2-3 FANUC 0i Mate-TB 的数控操作面板

(1) FANUC 0i Mate-TB 的 CRT 显示屏如，图 2-4 所示。CRT 显示屏下方软键的功能是可变的，在不同方式下，软键功能为 CRT 画面最下方显示的软键功能提示。

(2) FANUC 0i Mate-TB 的编辑面板如图 2-5 所示，其各功能键的符号和用途见表 2-2、表 2-3。

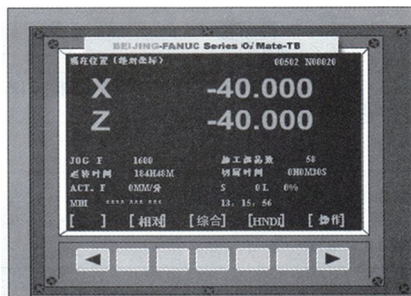


图 2-4 FANUC 0i Mate-TB 的 CRT 显示屏






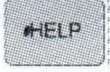
图 2-5 FANUC 0i Mate-TB 的编辑面板





表 2-2 FANUC 0i Mate-TB 主菜单功能键的符号和用途

| 序号 | 键符号   | 按键名称  | 用途  |
|----|---|-------|---|
| 1  |    | 位置键   | 屏幕显示当前位置画面，包括绝对坐标、相对坐标、综合坐标和余移动量、运行时间、实际速度等   |
| 2  |    | 程序键   | <p>屏幕显示程序画面，显示的内容由系统的操作方式决定</p> <p>1) 在 AUTO（自动执行）或 MDI（手动数据输入）方式下，显示程序内容、当前正在执行的程序段和模态代码、当前正在执行的程序段和下一个将要执行的程序段、检视程序执行或 MDI 程序</p> <p>2) 在 EDIT（编辑）方式下，显示程序编辑内容、程序目录</p> |
| 3  |    | 刀偏设定键 | 屏幕显示刀具偏移值、工件坐标系等  |
| 4  |    | 系统键   | 屏幕显示参数画面、系统画面   |
| 5  |  | 信息键   | 屏幕显示报警信息、操作信息   |
| 6  |  | 图形显示键 | 辅助图形画面，CNC 描述程序轨迹   |

表 2-3 FANUC 0i Mate-TB 功能键的符号和用途

| 序号 | 键符号   | 按键名称   | 用途   |
|----|---|--------|--|
| 1  |  | 数字与字符键 | 用于输入数据到输入区域，系统自动判别取字母还是取数字。字母和数字通过  键切换输入 |
| 2  |  | 复位键    | 用于 CNC 复位或取消报警   |
| 3  |  | 帮助键    | 按此键可显示如何操作机床，如 MDI 键的操作。可在 CNC 发生报警时提供报警的详细信息、帮助功能   |

续表

| 序号 | 键符号   | 按键名称  | 用途  |
|----|---|-------|---|
| 4  |    | 换挡键   | 在有些键顶部有两个字符。按住此键来选择字符, 当一个特殊字符在屏幕上显示时, 表示键面右下角的字符可以输入 |
| 5  |    | 输入键   | 用于键入参数、设定偏置量与显示页面内的数值输入                               |
| 6  |    | 取消键   | 按此键可删除已输入到键的输入缓冲区的最后一个字符或符号                           |
| 7  |    | 替换键   | 替换光标所在的字  |
|    |    | 插入建   | 在光标所在的字后插入  |
|    |    | 删除键   | 删除光标所在的字, 如光标为一程序段首的字则删除该段程序, 此外还可删除若干段程序、一个程序或所有程序   |
| 8  |   | 光标移动键 | 向程序的指定方向逐字移动光标  |
| 9  |  | 翻页键   | 由屏幕显示的页面向上、向下翻页                                       |
| 10 |  | 分段键   | 该键是段结束符   |

## 2. 机床操作面板 (以 FANUC 0i Mate-TB 的机床操作面板为例)

FANUC 0i Mate-TB 的机床操作面板如图 2-6 所示。其主要用于控制机床的运动和选择机床运行状态, 由模式选择旋钮、数控程序运行控制开关等多个部分组成, FANUC 0iMate-TB 的机床操作面板按键功能见表 2-4。

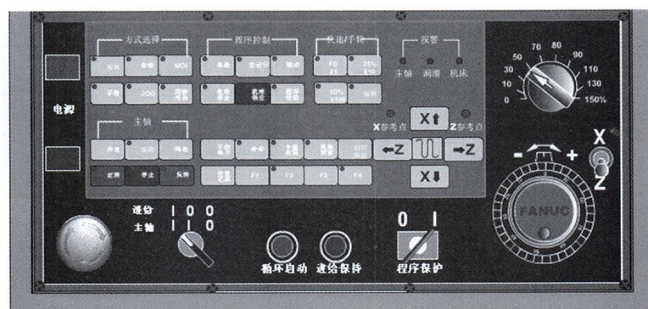


图 2-6 FANUC 0i Mate-TB 的机床操作面板





表 2-4 FANUC 0i Mate-TB 的机床操作面板按键功能

| 序号 | 键符号 | 按键名称    | 用途                               |
|----|-----|---------|----------------------------------|
| 1  |     | 自动模式键   | 进入自动加工模式                         |
| 2  |     | 编辑键     | 用于输入程序或编辑程序                      |
| 3  |     | 手动数据输入键 | 用于输入程序或修改参数                      |
| 4  |     | 手轮给进键   | 按此键切换成通过手轮移动各轴                   |
| 5  |     | 手动模式键   | 通过手动按键连续移动各轴                     |
| 6  |     | 主轴键     | 机床主轴手动控制开关, 可实现主轴正转、反转、升速、降速、停止等 |
| 7  |     | 单段键     | 按下此键程序单段执行                       |
|    |     | 空运行键    | 按下此键各轴以固定速度快速执行                  |
|    |     | 跳步键     | 在自动模式下按此键, 跳过程序段开头带有“/”的程序       |
| 8  |     | 程序停止键   | 自动模式下遇到 M01 指令程序停止               |
| 9  |     | 机床锁住键   | 按下此键, 机床各轴被锁住                    |
| 10 |     | 手动换刀键   | 在手动方式下, 按此键进行换刀                  |



续表

| 序号 | 键符号   | 按键名称     | 用途                        |
|----|---|----------|---------------------------|
| 11 |    | 切削液开关键   | 按下此键，切削液开                 |
| 12 |    | 快速/手轮住率键 | 进行手轮和快速倍率的切换              |
| 13 |    | 紧急停止按钮   | 按下此按钮，可使机床和数控系统紧急停止，旋转可释放 |
| 14 |    | 倍率旋钮     | 调节进给量                     |
| 15 |   | 循环启动按钮   | 在“自动”或“MDI”模式下，按下此键自动加工程序 |
| 16 |  | 程序编辑开关   | 置于“0”状态时可编辑程序             |
| 17 |  | 手轮       | 通过转动手轮沿着 X、Z 方向移动各轴       |

### 任务3 数控车床手动、手轮及 MDI 操作

#### 1. 机床坐标系

数控机床出厂时，制造厂家在机床上设置了一个固定的点，以这一点为坐标原点而建立的坐标系称为机床坐标系。它是用来确定工件坐标系的基本坐标系，是机床本身所固有的坐标系。



### (1) 坐标系和运动方向的命名原则

①刀具相对静止而工件运动的原则。不论机床的具体结构是工件静止、刀具运动，还是工件运动、刀具静止，在确定坐标系时，一律看作是刀具相对静止的工件运动。

②机床坐标的规定。基本坐标轴 X、Y、Z 关系及其正向用右手直角定则确定。如图 2-7 所示，大拇指的方向为 X 轴的正向，食指的方向为 Y 轴的正向，中指的方向为 Z 轴的正向。

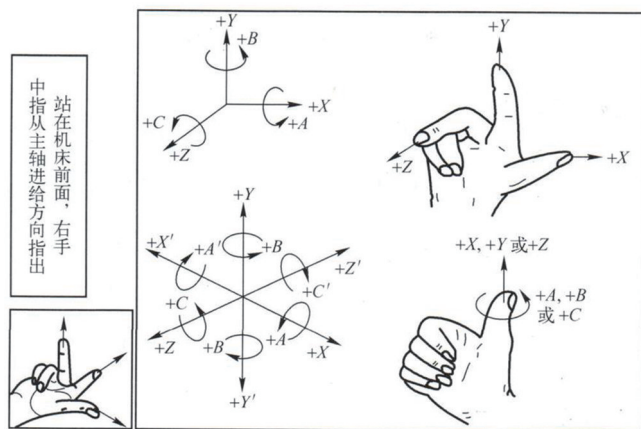


图 2-7 数控机床标准坐标系

③正向的规定。增大刀具与工件之间距离的方向为坐标轴正向。

### (2) 数控机床坐标轴判定的方法和步骤

①Z 轴。规定平行于机床主轴轴线的坐标轴为 z 轴。规定刀具远离工件的方向为 Z 轴的正向。

②X 轴。X 轴通常是水平轴，且平行于工件装夹平面。对于工件旋转的机床，X 轴的方向是在工件径向上，且平行于横滑座，刀具离开工件旋转中心的方向为 X 轴正向。对于刀具旋转的立式机床，规定水平方向为 X 轴方向，且当从刀具（主轴）向立柱看时，X 轴正向在右边；对于刀具旋转的卧式机床，规定水平方向仍为 X 轴方向，且从刀具（主轴）尾端向工件看时，右手所在方向为 X 轴正向。

③Y 轴。Y 轴垂直于 X、Z 轴。Y 轴的正向根据 X 和 Z 轴正向按照右手直角定则来判断。

④旋转运动 A、B 和 C。A、B 和 C 是表示其轴线分别平行于 X、Y 和 Z 轴的旋转运动。A、B 和 C 的正向可用右手螺旋定则确定。

⑤附加坐标轴的定义。如果在 X、Y、Z 轴以外，还有平行于它们的坐标轴，可分别指定为 U、V、W。

标准坐标系采用右手直角定则。基本坐标轴 X、Y、Z 的关系及正向用右手直角定则





判定。拇指为 X 轴，食指为 Y 轴，中指为 Z 轴，围绕 X、Y、Z 各轴的回转运动及其正向 +A、+B、+C 分别用右手螺旋定则判定，拇指为 X、Y、Z 的正向，四指弯曲的方向为对应 A、B、C 的正向。

## 2. 数控车床坐标系

数控车床坐标轴及其方向如图 2-8 所示。

数控车床坐标系一般有两种建立方法，第一种方法：刀架和操作者在同一侧，X 轴的正向指向操作者，如图 2-8a 所示，适用于平床身（水平导轨）卧式数控车床。另一种方法：刀架和操作者不在同一侧，X 轴的正向背向操作者，如图 2-8b 所示，适用于斜床身和平床身斜滑板（斜导轨）的卧式数控车床。

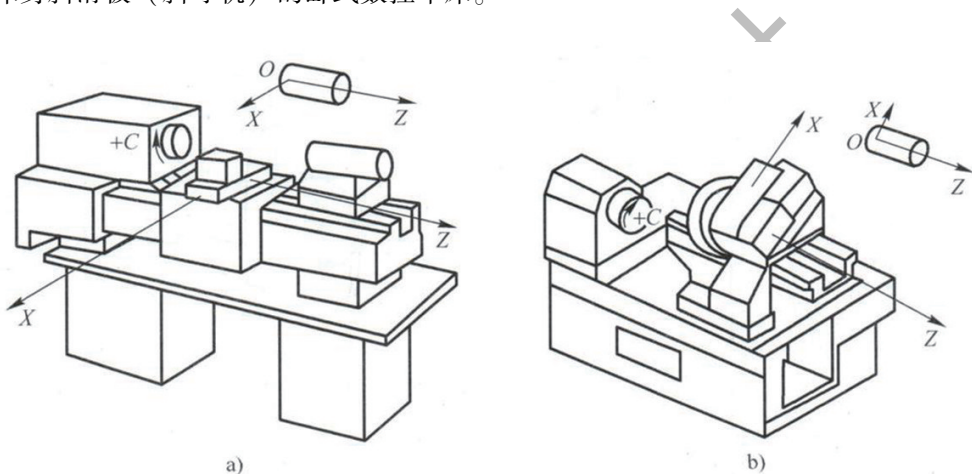


图 2-8 数控车床坐标轴及其方向

a) 前置刀架数控车床机床坐标系 b) 后置刀架数控车床机床坐标系

## 3. 机床原点、机床参考点

(1) 机床原点。数控机床经过设计、制造和调整，机床原点便被确定下来，它是机床上固定的一个点。数控车床机床坐标系的建立如图 2-9 所示。

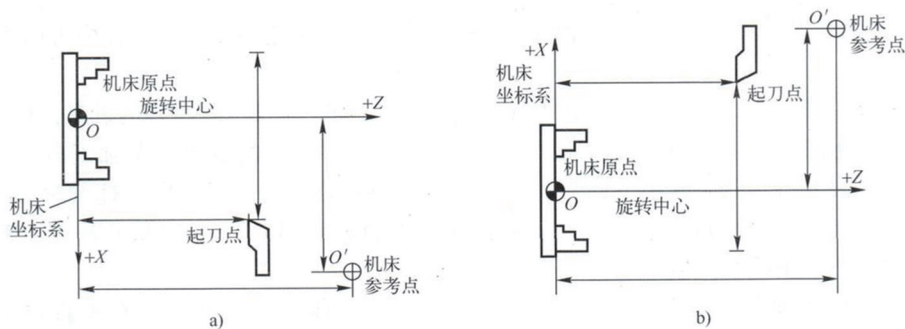


图 2-9 数控车床机床坐标系的建立

a) 前置刀架数控车床机床坐标系建立 b) 后置刀架数控车床机床坐标系建立



(2) 机床参考点。数控装置通电时并不知道机床零点的位置，为了正确地在机床工作时建立机床坐标系，通常在每个坐标轴的移动范围内（一般在 X 轴和 Z 轴的正向最大行程处）设置一个机床参考点（测量起点）。

机床参考点的位置由设置在机床 X 向、Z 向滑板上的机械挡块的位置来确定。当刀架返回机床参考点时，装在 X 向和 Z 向滑板上的两挡块分别压下对应的开关，向数控装置发出信号，停止刀架滑板运动，即完成了“回参考点”的操作。

#### 4. 数控车床安全操作规程

为了合理地使用数控车床，保证机床正常运转，必须制定比较完善的数控车床安全操作规程，通常包括以下内容。

(1) 开机前应对数控车床进行全面细致的检查，包括操作面板、导轨面、卡爪、尾座、刀架、刀具等，确认无误后方可操作。

(2) 机床启动操作应按顺序进行，即总闸→机床通电开关→NC 启动。

(3) 不允许在卡盘或床身上敲击或校正工件，床面上不准放置工具或工件。

(4) 在切削铸铁、气割下料的工件前，导轨上的润滑油要擦去，工件上的型砂杂质应清除干净。

(5) 使用切削液时，要在导轨上涂上润滑油。

(6) 程序输入后，应仔细核对代码、地址、数值、正负号、小数点及语法是否正确。

(7) 检查各坐标轴是否回参考点，限位开关是否可靠。若某轴在回参考点前已在参考点位置，应先将该轴沿负方向移动一段距离后，再手动回参考点。

(8) 正确测量和计算工件坐标系，并对所得结果进行检查。

(9) 未装工件前，空运行一次程序，看程序能否顺利进行，刀具和夹具安装是否合理，有无超程现象。

(10) 主轴运转前，必须将卡盘扳手取下，确保安全。

(11) 操作数控车床时只能一人操作，其他人在一旁观看。在加工过程中操作者不得离开岗位或托他人代管，不能做与工作无关的事情。暂时离岗按暂停按钮，要正确使用急停开关，工作中严禁随意拉闸断电。

(12) 首件加工应采用单段程序切削，并随时注意调节进给倍率控制和进给量。

(13) 对刀后，检验每把刀的刀位点的实际位置与屏幕上显示的工件坐标值是否一致，如有偏差，必须重新对刀。

(14) 试切和加工中，刃磨刀具和更换刀具后，要重新测量刀具位置并修改刀补值和刀补号。必须在确认工件夹紧后才能启动机床，严禁工件转动时测量、触摸工件。

(15) 数控车床在运行（主轴转动）时不能测量工件，不能用手去摸工件表面，更不



允许用纱头去擦拭工件表面。

(16) 紧急停车和机械锁定后,应重新进行机床“回参考点”操作,才能再次运行程序。

(17) 自动加工和空运行时必须关上安全防护门。

(18) 数控加工时精力要高度集中,发生故障应立即停车断电,保护现场,及时上报,不得隐瞒,并配合老师做好分析调查工作。

(19) 加工结束后应清扫机床并加防锈油,停机时应将各坐标轴停在正向极限位置。

#### 5. 数控加工文明生产

(1) 操作机床期间必须穿工作服,并紧扣袖口、拉好衣服拉链,否则不许上机。禁止戴手套操作机床,有长发的女生要戴帽子或发网。不准多人同时操作一台机床。

(2) 数控机床的操作必须在指导老师指导下进行,未经指导老师同意,不允许开动机床。自己编制的程序须经指导老师审查后方可上机运行。

(3) 启动机床前应检查是否已经将扳手等工具从机床上拿开,放置妥当。机床主轴启动,开始切削时应关好防护门,正常运行时,禁止按急停按钮(若急停后应回零),加工中严禁开启防护门。

(4) 机床运转中,绝对禁止变速。变速或换刀时,必须保证机床完全停止,开关处于“OFF”位置,以防机床发生事故。机床开动期间严禁离开工作岗位做与操作无关的事情,手要时常放在急停或复位按钮上,集中精力,如遇紧急情况迅速按红色急停按钮,并报告指导老师,经修正后方可继续加工。

(5) 严禁在车间内嬉戏、打闹。严禁在机床间穿梭。

(6) 学生不得擅自修改、删除机床参数和系统文件,造成事故者,将追究责任。

(7) 学生必须在每天下班前 10min 关闭机床、将工具归位、清洁机床,在指导老师指导下对各运动副加润滑油、打扫车间的环境卫生,养成良好的实习习惯。

#### 【任务实施】

数控车床基本操作。

##### 1. 开机操作

打开机床总电源,按系统电源键,直至 CRT 显示屏出现“NOT READY”提示后,旋开急停旋钮,当“NOT READY”提示消失后,开机成功。

**注意:**在开机前,应先检查机床润滑油是否充足,电源柜门是否关好,操作面板各按键是否处于正常位置,否则将可能影响机床正常开机。

##### 2. 机床回零操作

将方式选择在回零模式,快速倍率旋钮旋至最大倍率 100%,依次按+X、+Z 轴进给方向键(车床回参考点应先回 X 轴参考点,再回 Z 轴参考点),待 CRT 显示屏中各轴机械

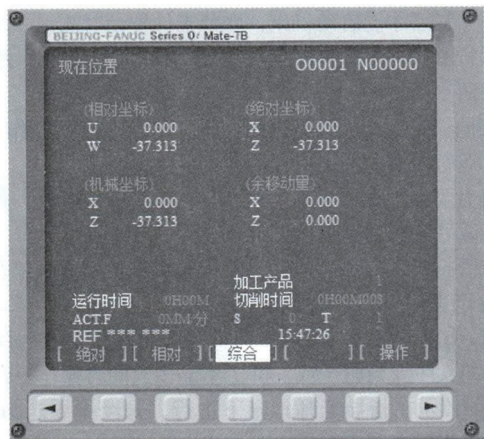


图 2-10 FANUC 系统回参考点屏幕显示情况

坐标值均为零时，回零操作成功。

图 2-10 所示为 FANUC 系统回参考点屏幕显示情况，机械坐标系坐标为 0 时，表明坐标轴已回到参考点，如 X 轴。机械坐标系坐标不为 0 时，表明坐标轴未回到参考点，如 Z 轴。

机床回零操作应注意以下几点。

(1) 当机床工作台或主轴当前位置已处于参考点位置、接近机床零点或处于超程状态时，应采用手动模式，将机床工作台或主轴移至各轴行程中间位置，否则无法完成回零操作。

(2) 回参考点后用自动、JOG（手动）或

MDI 手动数据输入等工作模式结束回参考点操作。

(3) 当数控机床出现以下几种情况时，应重新回机床参考点。

- ①机床关机以后重新接通电源开关。
- ②机床解除紧急停止状态以后。
- ③机床超程警报信号解除之后。
- ④机床锁住解除后。

### 3. 关机操作

按系统电源键，关闭“机床总电源”，关机成功。注意：关机后应立即进行加工现场及机床的清理与保养。

### 4. JOG 模式操作

将操作模式选择至 JOG 模式，分别按住各轴选择键+Z、+X、-X、-Z 即可使机器向相应的轴和方向连续进给；若同时按住快速移动键，则可快速进给。

### 5. 手轮模式操作

将操作模式选择为手轮，通过手轮上的轴向选择可选择轴向运动，顺时针转动“手轮脉冲器”，轴正向移动，反之，则轴负向移动。通过选择脉冲量 X1、X10、X100（分别是 0.001 mm/格、0.01mm/格、0.1mm/格）来确定进给速度。

### 6. 手动数据模式

将操作模式选择为 MDI 模式，按编辑面板上的程序键，选择程序屏幕，按下对应 CRT 显示区的软键 [MDI]，系统会自动加入程序号 00000，用通常的程序编辑操作编制一个要执行的程序，在程序段的结尾不能加 M30（在程序执行完毕后，光标将停留在最后一个程序段）。输入若干段程序，将光标移动到程序首句，按循环启动键即可运行。



若只需在 MDI 输入运行主轴转动等单段程序，只需在程序号 00000 后输入所需运行的单段程序，光标位置停在末尾，按循环启动键即可运行。要删除在 MDI 方式中编制的程序，可输入地址 00000，然后按下 MDI 面板上的删除键或直接按复位键。

## 任务 4 程序输入及图形模拟

### 1. 程序的结构与组成

程序是由程序名、程序内容和程序结束三部分组成的。

例如：

O0001

程序名

N10T0101；

N20 G97 G99 S1000 M03；

N30 M08；

N40 G00 X44 Z0；

程序内容

N100 M30

程序结束

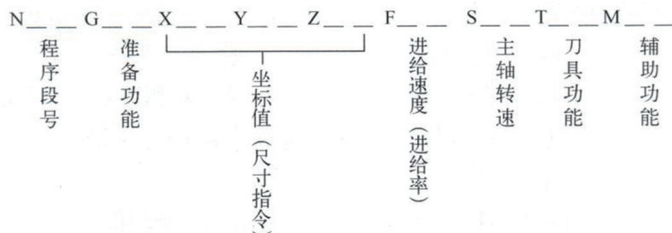
(1) 程序名。即为程序的开始部分，为了便于区别存储器中的程序都要有程序编号，在编号前采用程序编号地址码。例如在 FANUC 系统中采用英文字母“O”加四位数字为程序编号地址，而有的系统采用“P”“%”开头。西门子数控系统程序的命名由“文件名”+“.”+“扩展名”组成，文件名开始的两个符号必须是字母，其后的符号可以是字母、数字或下划线，最多为 8 个字符，不得使用分隔符。扩展名为“MPF”（主程序）或“SPF”（子程序）。

(2) 程序内容。程序内容是整个程序的核心，由许多程序段组成，每个程序段由一个或多个指令组成，它表示数控机床要完成的全部动作。

(3) 程序结束。用程序结束指令 M02 或 M30 作为整个程序结束的符号，结束整个程序。

### 2. 程序段格式

这是指程序段中字、字符和数据的安排形式。它是由表示地址的英文字母、特殊文字和数字集合而成的。



(1) 地址 N 为程序段号，现代 CNC 系统中很多都不要求段号，即程序段号可有可无。

(2) 地址 F 为进给功能指令，可以是进给量或进给率，FANUC 系统由 G98 和 G99 指定，西门子系统由 G94 和 G95 指定。开机以后数控车床进给速度的单位为 mm/r，数控铣床进给速度的单位为 mm/min，FANUC 系统与西门子系统进给速度单位指令代码见表 2-5。

表 2-5 FANUC 系统与西门子系统进给速度单位指令代码

| 数控系统             | FANUC 系统 | 西门子系统 |
|------------------|----------|-------|
| 每分钟进给量/ (mm/min) | G98      | G94   |
| 每转进给量/ (mm/min)  | G99      | G95   |

(3) 地址 S 为主轴转速功能指令，单位为 r/min 或 m/min，由 G97 或 G96 指定。开机以后数控系统转速单位为 r/min。

(4) 地址 T 为刀具功能指令，指定加工时所选用的刀具型号，数控车床可直接用刀具号进行换刀操作。FANUC 系统由 T 加四位数字组成，前两位为刀具号，后两位为刀具补偿号，如 T0101。

(5) 地址 M 为辅助功能指令，由字母 M 和其后的两位数字组成，从 M00 ~ M99，共 100 种。这类指令主要是用于现代机床加工操作的工艺性指令。常用的 M 指令有以下几种。

①M00——程序停止。在执行完 M00 指令程序后，主轴停转、进给停止、切削液关闭、程序停止。当重新按下机床控制面板上的循环启动 (cycle start) 按钮后，继续执行下一段程序。

②M01——选择程序停止。该指令的作用与 M00 相似。所不同的是，必须在操作面板上预先按下任选停止按钮，执行完 M01 指令程序段后，程序停止；如果不按下任选停止按钮，则 M01 指令无效。

③M02——程序结束。该指令用于程序全部结束，命令主轴停转、进给停止及切削液关闭。

④M03、M04、M05——主轴顺时针旋转、主轴逆时针旋转及主轴停止。

⑤M06——换刀。用于具有刀库的数控机床（如加工中心）的换刀功能。

⑥M08——切削液开。打开切削液。





⑦M09——切削液关。关闭切削液。

⑧M30——程序结束并返回。在完成程序段的所有指令后，使主轴停转、进给停止和切削液关闭，将程序指针返回到第一个程序段并停下来。

(6) 地址 X、Y、Z 为尺寸指令，表示机床上刀具运动到达的坐标位置或转角。尺寸单位有米制、寸制之分；米制用 mm 表示，寸制用 in 表示。

(7) 地址 G 为准备功能指令，由字母 G 相其后的 1~3 位数字组成，常用的有 G00~G99，很多现代 CNC 系统的准备功能已扩大至 G150。准备功能的主要作用是指定机床的运动方式，为数控系统的插补运算做准备。

### 【任务实施】

#### 1. 数控程序的输入

将程序保护锁调到开启状态，按 EDIT 键，选择编辑工作模式。按 PROG（程序）键，显示程序编辑窗口（图 2-11）或程序目录窗口（图 2-12）。输入新程序名如“00001”，按 INSERT，再按 EOB 和 INSERT。程序段的输入：程序段+EOB，然后 INSERT，换行后继续输入程序。

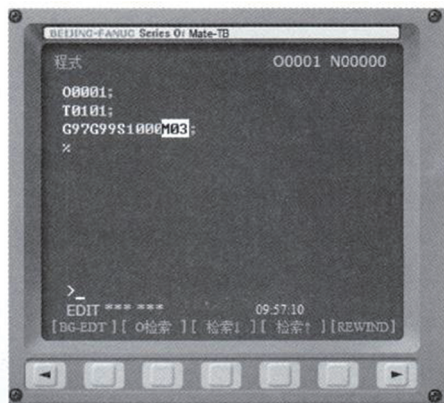


图 2-11 程序编辑窗口

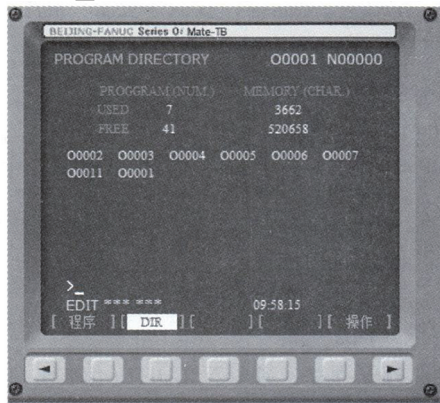


图 2-12 程序目录窗口

具体输入过程：主功能 EDIT（编辑）→PROG（程序）→程序名→INSERT（插入）→EOB→INSERT→程序段+EOB→INSERT。

**注：**若程序在输入过程中出现错误，可通过面板上的 DELETE 删除。

按 CAN 可依次删除输入区最后一个字符，按 [DIR] 软键可显示数控系统中已有的程序目录。

#### 2. 数控程序的编辑

##### (1) 程序的查找与打开

方法一如下。



- ①按 EDIT 键，使机床处于编辑模式下。
- ②按 PROG（程序）键，显示程序画面。
- ③按 [程序] 软键，再按 [操作] 软键，出现 [0 检索]。
- ④按 [0 检索] 软键，便可依次打开存储器中的程序。
- ⑤输入程序名，如“00010”，按 [0 检索] 软键，便可打开该程序。

方法二如下。

- ①按 EDIT 键，使机床处于编辑模式下。
- ②按 PROG 程序键，显示程序画面。
- ③输入要打开的程序，如“00010”。
- ④按光标键向下移动即可打开该程序。

#### (2) 程序的删除

- ①按 EDIT 键，使机床处于编辑工作模式下。
- ②按 PROG（程序）键，显示程序画面。
- ③输入要删除的程序名。
- ④按 DELETE（删除）键，即可删除该程序。
- ⑤例如输入“0~9999”，再按 DELETE 键，即可删除所有程序。

#### (3) 字的插入

- ①打开程序，并处于 EDIT（编辑）工作模式下。
- ②按光标键，查找字要插入的位置。
- ③输入要插入的字。
- ④按 INSERT 键即可。

#### (4) 字的替换

- ①打开程序，并处于 EDIT（编辑）工作模式下。
- ②按光标键，查找到将要被替换的字。
- ③输入替换的字。
- ④按 ALTER 键即可。

#### (5) 字的删除

- ①打开程序，并处于 EDIT（编辑）工作模式下。
- ②按光标键，查找到将要删除的字。
- ③按 DELETE 键即可删除。

### 3. 数控程序的模拟

在进行程序检查时，可以通过图形显示功能来描绘刀具路径。具体操作步骤如下。





- (1) 将刀架停在安全位置。
- (2) 按下机床锁住按钮。
- (3) 选择 EDIT（编辑）工作模式。
- (4) 调出要模拟的程序，将光标停在程序开头。



5) 按  键，图形模拟参数界面如图 2-13 所示，按 [图形] 软键，将会出现带有坐标系的模拟界面。



图 2-13 图形模拟参数界面

- 6) 选择 MEM 或 AUTO（自动）工作模式，按下循环启动按钮。

在模拟时，注意观察图形模拟的走刀轨迹，若发现轨迹错误，可按  键强行打断，将程序调出来反复查找错误，将错误修改后再次模拟。

## 任务 5 数控车床对刀及校刀操作

### 1. 零件的安装

数控车床上零件的安装方法与普通车床一样，要合理选择定位基准和夹紧方案，主要注意以下两点。

(1) 力求设计、工艺与编程计算基准统一，这样有利于提高编程时数值计算的简便性和精确性。



(2) 尽量减少装夹次数，尽可能在一次装夹后加工出全部待加工面。

根据零件的尺寸、精度要求和生产条件选择最常用的车床通用的自定心卡盘，如图 2-14 所示。自定心卡盘可以自定心，夹持范围大，适用于截面为圆形、三角形、六边形的轴类和盘类零件。

## 2. 数控车床刀具的安装

装刀和对刀是数控车床加工操作中非常重要和复杂的一项基本工作。装刀与对刀的精度，将直接影响加工程序的编制和零件的尺寸精度。车刀安装的正确与否，将直接影响切削能否顺利进行和工件的加工质量。安装车刀时，应注意以下几个问题。

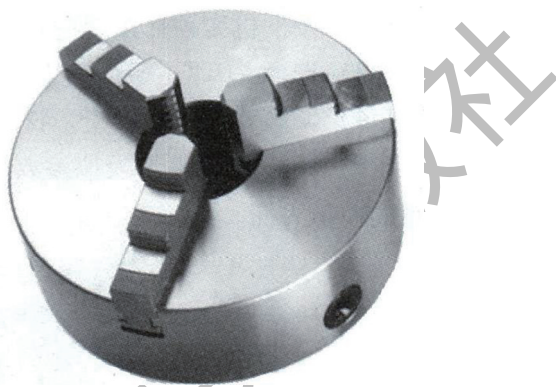


图 2-14 自定心卡盘

(1) 车刀安装在刀架上，伸出部分不宜太长，伸出量一般为刀杆高度的 1.5 ~ 2 倍。伸出过长会使刀杆刚性变差，切削时易产生振动，影响工件的表面粗糙度值。

(2) 车刀垫片要平整，数量要少，垫片与刀架对齐。车刀至少要用两个螺钉压紧在刀架上，并逐个轮流拧紧。

(3) 车刀刀尖应与工件轴线等高。

(4) 外形加工的车刀刀杆中心线应与进给方向垂直，否则会使主偏角和副偏角的数值发生变化。例如螺纹车刀安装歪斜，会使螺纹牙型半角产生误差。用偏刀车削台阶时，必须使车刀主切削刃与工件轴线之间的夹角在安装后等于或大于  $90^\circ$ ，否则车出来的台阶与工件轴线不垂直。

## 3. 工件坐标系

(1) 工件坐标系的概念。工件坐标系又称编程坐标系，是编程人员为方便编写数控程序而建立的坐标系，一般建立在工件上或零件图样上。

(2) 工件坐标系建立的原则。工件坐标系的建立有一定的原则，否则无法编写数控加工程序或编写的数控程序无法加工。具体有以下几个方面。



1) 工件坐标系方向的设定。工件坐标系的方向必须与采用的数控机床坐标系方向一致, 在卧式数控车床上加工工件, 工件坐标系 Z 轴正向应向右, X 轴正向向上或向下 (前置刀架向下, 后置刀架向上) 与卧式数控车床机床坐标系一致。

2) 工件坐标系的原点位置的设定。工件坐标系的原点又称为工件原点或编程原点。理论上编程原点的位置可以任意设定, 但为方便对刀及求解工件轮廓上的基点坐标, 应尽量选择在工件的设计基准和工艺基准上。对于数控车床常按以下要求进行设置。

①X 轴零点设置在工件轴线上, 数控车床默认为直径编程, 所以一般采用直径编程, 如用半径编程, 需用指令转换。

②Z 轴零点一般设置在工件右端面上, 也可以设置在工件左端面上。

#### 4. 对刀点和换刀点

对刀点是数控加工中刀具相对于工件运动的起点, 是零件加工程序的起始点, 所以对刀点也称“程序起点”。对刀的目的是确定工件原点在机床坐标系中的位置, 以及工件坐标系与机床坐标系的关系。

对刀点可设在工件上并与工件原点重合, 也可设在工件外任何便于对刀之处, 但该点与工件原点之间必须有确定的坐标联系。一般情况下, 对刀点既是加工程序执行的起点, 也是加工程序执行的终点。

车床刀架的换刀点是指刀架转位换刀时所在的位置。换刀点的位置可以是固定的, 也可以是任意一点。它的设计原则是以刀架转位时不碰撞工件和机床上其他部件为准则, 通常和刀具起始点重合。

#### 5. 对刀原理

刀补值的测量过程称为对刀操作。常用的对刀方法有两种: 试切法对刀和对刀仪对刀。对刀仪又分为机械检测对刀仪和光学检测对刀仪。各类数控机床的对刀方法各有差异, 但其原理和目的是一致的, 即通过对刀操作, 将刀补值测出后输入 CNC 系统, 加工时系统根据刀补值自动补偿两个方向的刀偏量, 使零件加工程序不因刀具 (刀位点) 安装位置的不同而影响切削。

#### 6. 校刀原理

在 MDI 模式下, 按 PROG 键, 输入如下。

T0101; (调用 1 号刀)

G98 F1000; (进给速度 1000 mm/min)

G01 X (直径值) Z10; (刀具到达外圆延长线 10 mm 的地方)

按循环启动键, 运行程序, 程序结束后, 观察刀具位置及显示的绝对坐标, 若正确, 则对刀正确, 否则查找原因重新对刀。



## 7. 工件测量

常用量具根据其种类和特点,可分为如下三种类型。

(1) 万能量具。这类量具一般都有刻度,在测量范围内可以测量零件的形状和尺寸的具体数值,如游标卡尺、千分尺、百分表和万能量角器等。

(2) 专用量具。这类量具不能测出实际尺寸,只能测定零件形状和尺寸是否合格,如卡规、塞规、塞尺等。

(3) 标准量具。这类量具只能制成某一固定尺寸,通常用来校对和调整其他量具,也可作为标准与被测零件进行比较,如量块。

测量数控车床外形轮廓尺寸精度时,常用的量具主要有游标卡尺、千分尺、游标万能角度尺、R 规和百分表等。用游标卡尺测量工件时,对工人的手感要求较高,测量时游标卡尺夹持工件的松紧程度对测量结果影响较大。因此,其实际测量时的测量精度不是很高。千分尺的测量精度通常为  $0.01\text{mm}$ ,测量灵敏度要比游标卡尺高,而且测量时也更容易控制夹持工件的松紧程度。因此,千分尺主要用于较高精度轮廓尺寸的测量。游标万能角度尺主要用于各种角度和垂直度的测量,测量时采用透光检查法。R 规主要用于各种圆弧的测量,测量时采用透光检查法。百分表则借助于磁性表座进行同轴度、圆跳动、平行度等几何公差的测量。

### 【任务实施】

#### 1. 工件装夹

将铝棒装夹在自定心卡盘中,伸出  $30 \sim 50\text{mm}$ ,找正后夹紧。

#### 2. 刀具装夹

按要求把外圆车刀装入刀架 1 号刀位、切断刀装入 3 号刀位、外螺纹刀装入 5 号刀位、镗刀装入 2 号刀位、内螺纹刀装入 4 号刀位、内沟槽刀装入 6 号刀位,分别夹紧。

#### 3. 对刀

对刀是数控加工中的重要操作,通过车刀刀位点的试切削,测出工件坐标系在机床坐标系中的位置,将其存储到 G54 等零点偏置存储器或到具长度补偿中,运行程序时调出存储器中数值。数控车床工件坐标系原点一般建立在工件右端面轴线上。

数控车床加工中使用到具较多,采用零点偏置指令对到时,需把车到设置在一个零点偏置指令中,使用不方便,故数控车床加工常采用到具长度补偿对到,通过该对到测出工件坐标系原点在机床坐标系中的位置并输入到到具长度补偿等存储器中,运行程序时调用该到具长度补偿,使到具在工件坐标系中运行。

(1) FANUC 系统外圆车到试切对到操作。MDI 工作模式下输入 M03 S1000 指令,按循环启动键,使主轴转动,或者手动方式下按主轴正转按钮,使主轴转动。