



目 录

第一章 数控车床基本操作.....	1
第一节 数控车床.....	2
第二节 数控车床面板.....	15
第三节 数控车床手动操作与试切削.....	22
思考题.....	34
第二章 常用量具与刀具.....	35
第一节 常用量具认知训练.....	36
第二节 常用刀具的认知训练.....	43
思考题.....	50
第三章 轴类零件加工.....	51
第一节 简单阶梯轴加工.....	52
第二节 槽加工及切断.....	63
第三节 外圆锥面加工.....	70
第四节 多阶梯轴零件加工.....	80
思考题.....	85
第四章 套类零件加工.....	86
第一节 通孔类零件加工.....	87
第二节 阶梯孔、盲孔类零件加工.....	93
思考题.....	97



第五章 三角形螺纹类零件加工	98
第一节 三角形圆柱外螺纹加工	99
第二节 三角形圆柱内螺纹加工	110
思考题	114
第六章 槽类及非圆曲线的编程与加工	115
第一节 规则的外圆槽及较宽的径向槽类零件的编程与加工	116
第二节 V 型槽类及内孔槽类零件的编程与加工	123
第三节 端面槽类零件的编程与加工	133
第四节 椭圆曲线及抛物线的编程与加工	139
第五节 变螺距螺纹的编程与加工	151
思考题	158
第七章 数控机床加工技术应用	159
第一节 典型数控车床结构组成及其加工特点	160
第二节 数控车削加工工艺及其工装	162
第三节 典型数控铣床结构组成及其加工特点	168
第四节 数控铣削基本功能指令	172
思考题	177
第八章 数控机床机械故障诊断与排除方法	178
第一节 机械故障类型及诊断方法	179
第二节 主传动系统机械故障及排除方法	184
第三节 进给传动系统机械故障及排除方法	192
第四节 辅助机械部件故障诊断及排除方法	200
第五节 液压与气压系统故障诊断及排除方法	206
思考题	210
参考文献	211



第一章

数控车床基本操作



导读

数控车床是使用较为广泛的数控机床之一。它主要用于轴类零件或盘类零件的内外圆柱面、任意锥角的内外圆锥面、复杂回转内外曲面和圆柱、圆锥螺纹等切削加工，并能进行切槽、钻孔、扩孔、铰孔及镗孔等。



学习目标

1. 了解各种型号的数控机床。
2. 掌握数控车床安全操作规程。
3. 熟悉常用数控车刀的种类与用途。

第一节 数控车床



知识学习

一、数控车床的型号、种类

（一）数控车床概述

数控车床是用计算机数字信号控制的机床。操作时将编制好的加工程序输入到机床专用的计算机中，再由计算机指挥机床各坐标轴的伺服电动机去控制车床各部件运动的先后顺序、速度和移动量，并与选定的主轴转速相配合，车削出形状不同的工件。

数字控制机床（Numerical Control Machine Tools）是用数字代码形式的信息（程序指令），控制刀具按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工的机床，简称数控机床。数控机床是在机械制造技术和控制技术的基础上发展起来的，其过程大致如下：

1948年，美国帕森斯公司接受美国空军委托，研制直升机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以适应，于是提出采用数字脉冲控制机床的设想。

1949年，该公司与美国麻省理工学院（MIT）开始共同研究，并于1952年试制成功第一台三坐标数控铣床，当时的数控装置采用电子管元件。

1959年，数控装置采用了晶体管元件和印刷电路板，出现带自动换刀装置的数控机床，称为加工中心（MC Machining Center），使数控装置进入了第二代。

1965年，出现了第三代的集成电路数控装置，不仅体积小，功率消耗少，且可靠性提高，价格进一步下降，促进了数控机床品种和产量的发展。

20 世纪60年代末，先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统（简称DNC），又称群控系统；采用小型计算机控制的计算机数控系统（简称CNC），使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974年，成功研制使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置（简称MNC），这是第五代数控系统。



20世纪80年代初,随着计算机软、硬件技术的发展,出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置;数控装置趋向小型化,可以直接安装在机床上;数控机床的自动化程度进一步提高,具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。

20世纪90年代后期,出现了PC+CNC智能数控系统,即以PC机为控制系统的硬件部分,在PC机上安装NC软件系统,此种方式系统维护方便,易于实现网络化制造。

(二) 数控车床的型号标记

数控车床的型号标记采用与卧式车床相类似的表示方法,由字母及一组数字组成。例如,数控车床CKA6140型号含义如下:

C——车床;

K——数控;

A——改型;

6——落地及卧式车床组;

1——卧式车床系;

40——床身最大工件回转直径的1/10,即此机床床身最大回转直径为400mm。

(三) 数控车床种类

数控车床按不同的分类方式分为不同的种类。现按所配置的数控系统、数控车床功能、车床主轴配置形式、控制方式及控制运动轨迹分别介绍。

1. 按数控系统分类

目前工厂常用的数控系统有FANUC(法那克)数控系统、SIEMENS(西门子)数控系统、华中数控系统、广州数控系统、三菱数控系统等。每一种数控系统又有多种型号,如FANUC数控系统的型号从0i到23i;SIEMENS(西门子)系统的型号从SINUMERIK802S、802C到802D、810D、840D等。每种数控系统使用的指令各不相同,即使是同一系统但型号不同,其数控指令也略有差异,使用时应以数控系统说明书中的指令为准。

2. 按数控车床功能分类

按数控车床的功能分,数控车床可分为经济型数控车床、普通数控车床、全功能型数控机床、精密型数控机床和车削加工中心五大类。

(1) 经济型数控车床

经济型数控车床是在卧式车床基础上进行改进设计的,一般采用步进电动机驱动的开环伺服系统,其控制部分通常采用单板机或单片机。经济型数控车床成本较低,自动化程序和功能都比较差,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）普通数控车床

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。其数控系统功能强，自动化程度和加工精度比较高，可同时控制两个坐标轴，即X轴和Z轴，应用较广，适用于一般回转类零件的车削加工。

（3）全功能型数控机床

在计算机中采用2~4个微处理器进行控制，其中一个为主控微处理器，其余为从属微处理器。主控微处理器完成用户程序的数据处理、粗插补运算、文本和图形显示等；从属微处理器在主控微处理器的管理下，完成对外部设备，主要是伺服控制系统的控制和管理，从而实现同时对各坐标轴的连续控制。

全功能型数控机床允许的最大速度一般为8~24m/min，脉冲当量为0.01~0.001mm/P（毫米/脉冲），采用交、直流伺服电动机，广泛用于加工形状复杂或精度要求较高的工件。

（4）精密型数控机床

精密型数控机床采用闭环控制，它不仅具有全功能型数控机床的全部功能，而且机械系统的动态响应较快。其脉冲当量一般小于0.001mm/P，适用于精密和超精密加工。

（5）车削加工中心

在普通数控车床的基础上，增加了C轴和铣削动力头，更高级的数控车床带有刀库，可控制X、Z和C三个坐标轴，联动控制轴可以是（X、Z）、（X、C）或（Z、C）。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，除可进行一般车削外，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加工。如图1-1所示。

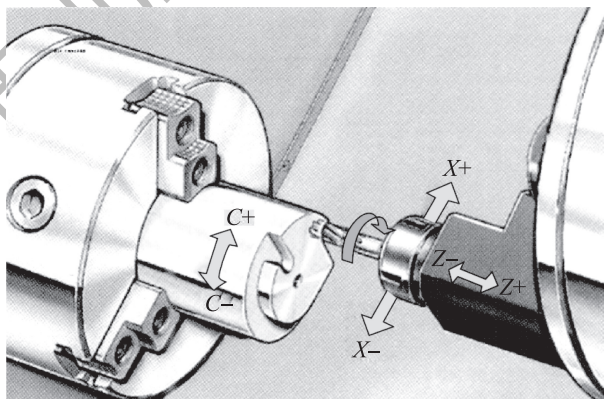


图1-1 C轴加工

3.按车床主轴配置形式分类

按车床主轴配置形式分，数控车床有立式数控车床和卧式数控车床两种。

（1）立式数控车床

立式数控车床主轴轴线处于垂直位置，有一个直径很大的圆形工作台供装夹工件。立式数控车床主要用于加工径向尺寸及轴向尺寸相对较小的大型复杂零件。

（2）卧式数控车床

卧式数控车床主轴轴线处于水平位置，生产中使用较多，常用于加工径向尺寸较小的轴类、盘类和套类等复杂零件。它的导轨有水平导轨和倾斜导轨两种。水平导轨结构用于普通数控车床和经济型数控车床。倾斜导轨结构可以使车床具有较大刚性，且易于排除切屑，用于档次较高的数控车床及车铣加工中心。

4.按控制方式分类

（1）开环控制数控机床

这类数控机床其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。数控系统每发出一个进给指令，经驱动电路功率放大后，驱动步进电动机旋转一个角度，再经过齿轮减速装置带动丝杠旋转，通过丝杠螺母机构转换为移动部件的直线位移。移动部件的移动速度与位移量是由输入脉冲的频率与脉冲数所决定的。此类数控机床的信息流是单向的，即进给脉冲发出去后，实际移动量不再反馈回来，所以称为开环控制数控机床。

开环控制系统的数控机床结构简单且成本较低。但是，系统对移动部件的实际位移量不进行监测，也不能进行误差校正。因此，步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环控制系统仅适用于加工精度要求不太高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床。如图1-2所示。

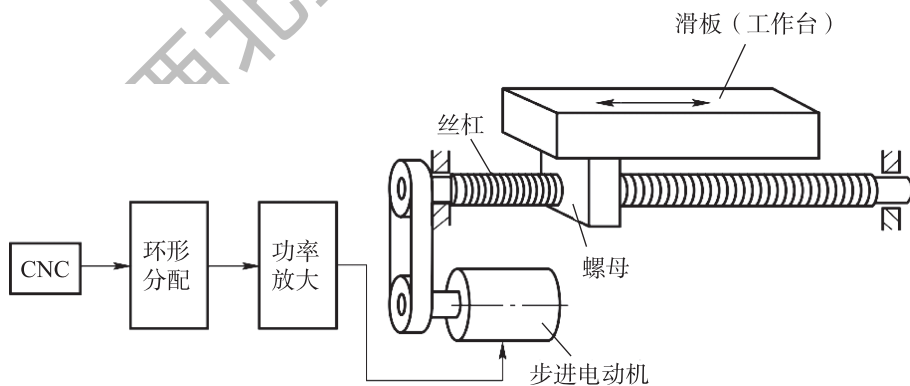


图1-2 开环伺服系统

（2）闭环控制数控机床

闭环控制数控机床是在机床移动部件上直接安装直线位移检测装置，直接对工作台的实际位移进行检测，将测量的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比

较，用差值对机床进行控制，使移动部件按照实际需要的位移量运动，最终实现移动部件的精确运动和定位。从理论上讲，闭环系统的运动精度主要取决于检测装置的检测精度，且与传动链的误差无关，因此其控制精度高。这类数控机床因把机床工作台纳入了控制环节，故称为闭环控制数控机床。闭环控制数控机床的定位精度高，但调试和维修都较困难，系统复杂且成本高。如图1-3所示。

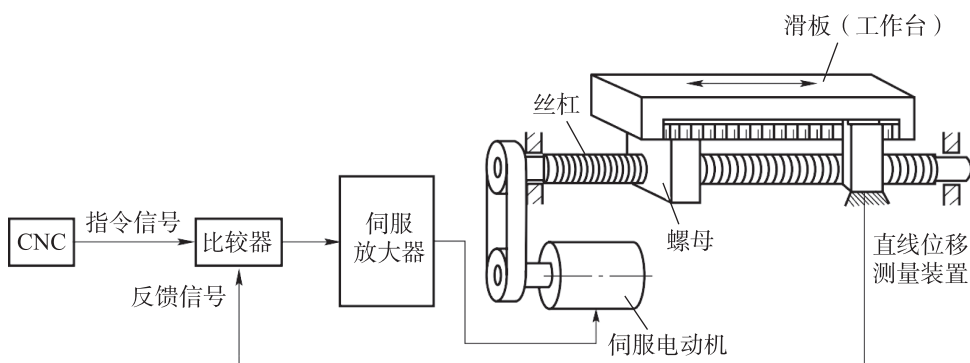


图1-3 闭环伺服系统

（3）半闭环控制数控机床

半闭环控制数控机床是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角位移电流检测装置（如光电编码器等），通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。由于工作台没有包括在控制回路中，因而称为半闭环控制数控机床。

半闭环控制数控系统的调试比较方便，并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体，这样能使结构更加紧凑。如图1-4所示。

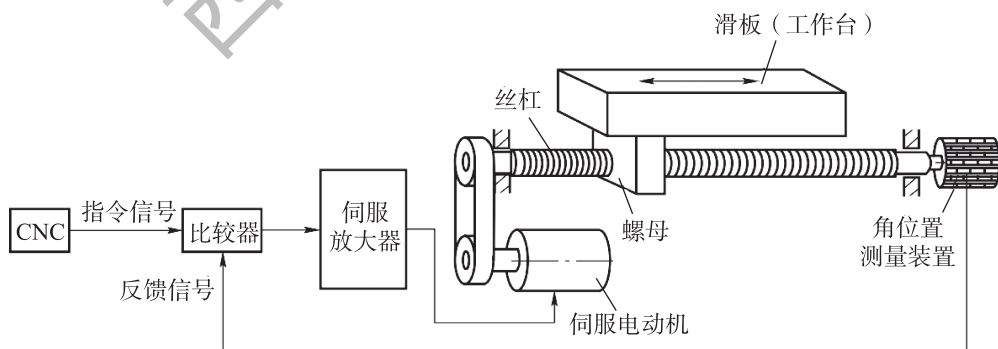


图1-4 半闭环伺服系统

（4）混合控制数控机床

将以上三类数控机床的特点结合起来，就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机



床特别适用于大型或重型数控机床,因为大型或重型数控机床需要较高的进给速度与相当高的精度,其传动链惯量与力矩大,如果只采用全闭环控制,机床传动链和工作台全部置于闭环控制中,闭环调试比较复杂。

混合控制系统又分为两种形式:

①开环补偿型。它的基本控制选用步进电动机的开环伺服机构,另外附加一个校正电路,用装在工作台的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。

②半闭环补偿型。它是用半闭环控制方式取得高精度控制,再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正,以获得高速度与高精度的统一。

5.按控制运动轨迹分类

按控制运动轨迹可分为点位控制数控机床、直线控制数控机床以及轮廓控制数控机床。

(1) 点位控制数控机床

点位控制数控机床的特点是机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位,在移动和定位过程中不进行任何加工。机床数控系统只控制行程终点的坐标值,不控制点与点之间的运动轨迹,因此几个坐标轴之间的运动无任何联系。可以几个坐标同时向目标点运动,也可以各个坐标单独依次运动。

这类数控机床主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床和数控点焊机等。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

(2) 直线控制数控机床

直线控制数控机床可控制刀具或工作台以适当的进给速度,沿着平行于坐标轴的方向进行直线移动和切削加工,进给速度根据切削条件可在一定范围内变化。

直线控制的简易数控车床,只有两个坐标轴,可加工阶梯轴。直线控制的数控铣床,有三个坐标轴,可用于平面的铣削加工。

数控镗铣床、加工中心等机床,它的各个坐标方向的进给运动的速度能在一定范围内进行调整,兼有点位和直线控制加工的功能,这类机床称为点位/直线控制的数控机床。

(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。它不仅能控制机床移动部件的起点与终点坐标,而且能控制整个加工轮廓每一点的速度和位移,将工件加工成要求的轮廓形状。

常用的数控车床、数控铣床及数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。数控火焰切割机、电火花加工机床以及数控绘图机等也采用了轮廓控制系统。轮廓控制系统的结构要比点位/直线控制系统更为复杂,在加工过程中需要不断进行插补运算,然后进行相应的

速度与位移控制。现代计算机数控装置的控制功能均由软件实现，增加轮廓控制功能不会带来成本的增加。因此，除少数专用控制系统外，现代计算机数控装置都具有轮廓控制功能。

二、数控车床的组成

数控车床由车床主体、控制部分和驱动部分等组成。

（一）车床主体

车床主体主要包括主轴箱、床身、导轨、刀架、尾座、进给机构等。卡盘、尾座、床身及进给机构的实物图如图1-5至图1-8所示。

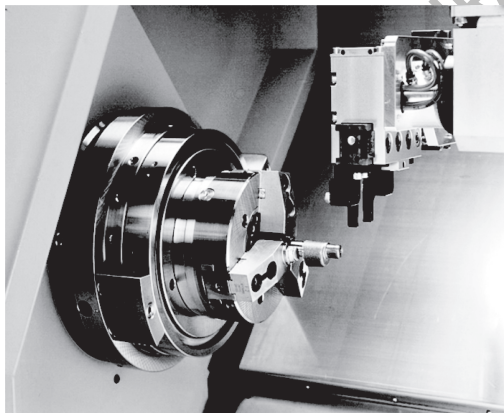


图1-5 卡盘

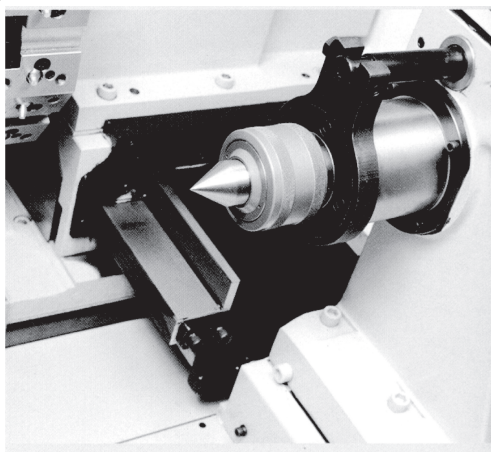


图1-6 尾座

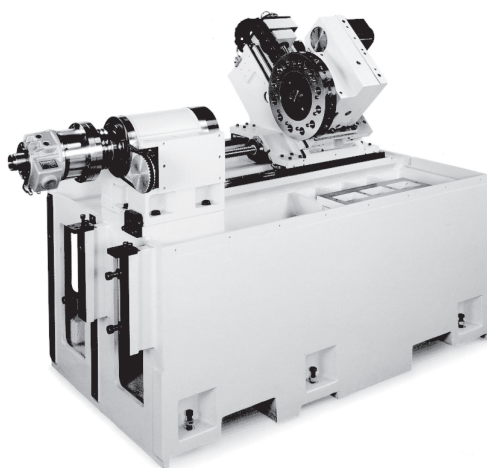
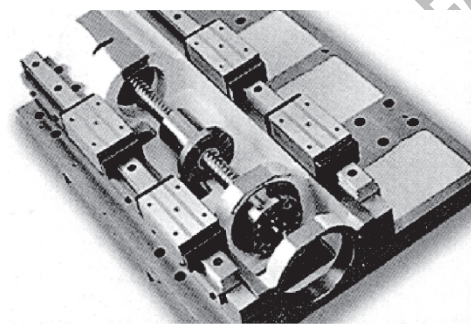
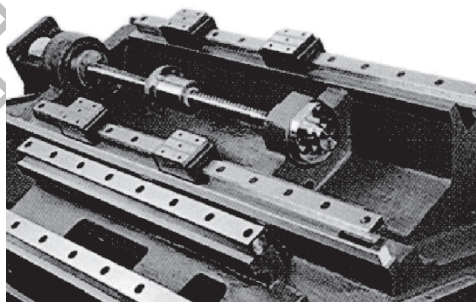


图1-7 床身



(a)



(b)

图1-8 进给机构
(a) X轴; (b) Z轴

(二) 控制部分

控制部分是数控车床的控制中心，由各种数控系统完成对数控车床的控制。如图1-9所示。



图1-9 数控系统操作面板

(三) 驱动部分

驱动部分是数控车床执行机构的驱动部分，包括主轴电动机和伺服电动机。如图1-10和图1-11所示。

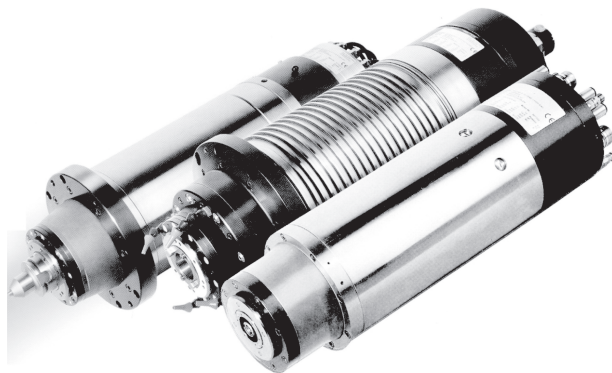


图1-10 主轴电动机

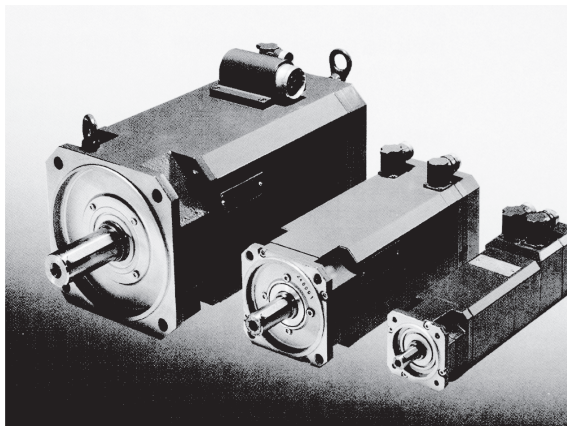


图1-11 伺服电动机

三、数控机床的特点

在大批量生产条件下，采用机械加工自动化可以取得较好的经济效益。大批量生产中加工自动化的基础是工艺过程的严格流程，从而可以建立自动流水线。对于小批量的产品生产，由于生产过程中产品品种的变换频繁、批量小以及加工方法的区别大，因此实现加工自动化存在相当大的难度，不能采用大批量生产的刚性自动化方式。因此，大力发展柔性制造技术成为机械加工自动化的必然出路。

柔性制造技术实际上是计算机控制的自动化制造技术，它包含计算机控制的单台加工设备和各种规模的自动化制造系统。所以数控机床是实现柔性自动化的最重要设备，与其他加工设备相比，数控机床具有如下特点：

（一）适应性强，适合加工单件或小批量复杂工件

数控机床加工工件时，只需要简单的夹具，不需要制作特别的工装夹具，所以改变加工工件后，只需要重新编制新工件的加工程序，就能实现新工件加工，不需要重新调整机床。因此，数控机床特别适合单件、小批量及试制新产品的加工。

（二）加工精度高，产品质量稳定

数控机床的脉冲当量普遍可达 0.001mm/P ，传动系统和机床结构都具有很高的刚度和热稳定性，工件加工精度高，进给系统采用消除间隙措施，并对反向间隙与丝杠螺距误差等由数控系统实现自动补偿，所以加工精度高。特别是因为数控机床加工完全是自动进行的，这就消除了操作人员人为产生的误差，使同一批工件的尺寸一致性好，加工质量十分稳定。



（三）生产率高

工件加工所需时间包括机动时间和辅助时间。数控机床能有效地减少这两部分时间。数控机床主轴转速和进给量的调速范围都比普通机床的范围大，机床刚性好，快速移动和停止采用了加速、减速措施，因而既能提高空行程运动速度，又能保证定位精度，有效地缩短了加工时间。

数控机床更换工件时，不需要调整机床，同一批工件加工质量稳定，无须停机检验，故辅助时间大大缩短。特别是使用自动换刀装置的数控加工中心机床，可以在一台机床上实现多工序连续加工，生产效率的提高更加明显。

（四）减轻劳动强度，改善劳动条件

数控机床加工是自动进行的，工件加工过程不需要人的干预，加工完毕后自动停车，这就使工人的劳动条件大为改善。

（五）良好的经济效益

虽然数控机床价格昂贵，分摊到每个工件上的设备费用较大，但是使用数控机床可节省许多其他费用。例如，工件加工前不用划线工序，工件安装、调整、加工和检验所花费的时间少，特别是其具有不用设计制造专用工装夹具、加工精度稳定、废品率低、减少了调度环节等优势，所以总体成本下降，可获得良好的经济效益。

（六）有利于生产管理的现代化

数控机床使用数字信息与标准代码处理、传递信息，特别是在数控机床上使用计算机控制，为计算机辅助设计、制造以及实现生产过程的计算机管理与控制奠定了基础。

四、数控车床的加工特点

数控车床与普通卧式车床一样，主要用于轴类、盘类等回转体零件的加工，如完成各种内、外圆柱面，圆锥面，圆柱螺纹，圆锥螺纹，切槽，钻扩，铰孔等工序的加工；还可以完成卧式车床上不能完成的圆弧、各种非圆曲线构成的回转面、非标准螺纹、变螺距螺纹等的表面加工。数控车床特别适用于复杂形状的零件或中、小批量零件的加工。如图1-12所示。



图1-12 常见车削工件类型

五、数控车削加工对象

数控车削有普通车削所不具备的许多优点，数控车削的应用范围正在不断扩大，除了能够加工普通车削所能加工的各种零件外，还能加工比较复杂的各种回转体类零件。根据数控车削的特点，从加工角度考虑，适合数控车削的主要加工对象有以下几类。

（一）精度要求高的回转体零件

由于数控车床刚性好，机床配件制造和对刀精度高，能方便和精确地进行人工补偿和自动补偿，所以能加工尺寸精度要求较高的零件，在有些场合可以以车代磨。此外，数控车削的刀具运动是通过高精度插补运算和伺服驱动来实现的，再加上机床的刚性好和制造精度高，所以它能加工直线度、圆度、圆柱度等形状精度要求高的零件。对于圆弧以及其他曲线轮廓，加工出的形状与图样上所要求的几何形状的接近程度比仿形车床要高得多。数控车削对提高位置精度还特别有效，不少位置精度要求高的零件用普通车床车削时，因机床制造精度低以及工件装夹次数多而达不到要求，只能在车削后用磨削或其他方法弥补。例如加工轴承内圈，原来采用三台液压半自动车床和一台液压仿形车床加工，需多次装夹，因而造成较大的壁厚差，达不到图样要求，后改用数控车床加工，一次装夹即可完成滚道和内孔的车削，壁厚差大为减少，且加工质量稳定。

（二）表面质量要求高的回转体零件

数控车床具有恒线速度切削功能，能加工出表面粗糙度值极小而均匀的零件。在材质、精车余量和刀具已确定的情况下，表面粗糙度取决于进给量和切削速度。在普通车床上车削锥面和端面时，由于转速恒定不变，致使车削后的表面粗糙度值与机床配件值不一致，只有某一直径处的表面粗糙度值最小，使用数控车床的恒线速度切削功能，就可选用最佳线速度来切削锥面和端面，使车削后的表面粗糙度值既小又一致。数控车削还适用于车削各部位表面粗糙度要求不同的零件，表面粗糙度值要求大的部位选用大的进给量，要求小的部位选用小的进给量。

（三）表面形状复杂的回转体零件

由于数控车床具有直线和圆弧插补功能，所以可以车削任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件。壳体零件封闭内腔的成型面在普通车床上是无法加工的，而在数控车床上则很容易加工出来。组成零件轮廓的曲线可以是数学方程描述的曲线，加工中心也可以是列表曲线。对于由直线或圆弧组成的零件轮廓，直接利用机床的直线或圆弧插补功能；对于由非圆曲线组成的零件轮廓，应先用直线或圆弧去逼近，然后再用直线或圆弧插补功能进行插补切削。

（四）带特殊螺纹的回转体零件

普通车床所能车削的螺纹相当有限，它只能车削等导程的直、锥面的公、英制螺纹，而且一台车床只能限定加工若干种导程。但数控车床能车削增导程、减导程以及要求等导程和变导程之间平滑过渡的螺纹。数控车床车削螺纹时，主轴转向不必像普通车床那样交替变换，它可以一刀又一刀不停顿地循环，直到完成，所以车削螺纹的效率很高。数控车床可以配备精密螺纹切削功能，再加上采用硬质合金成型刀片，以及使用较高的转速，所以车削出来的螺纹精度高、表面粗糙度值小。



第二节 数控车床面板



知识学习

一、掌握FANUC-0i Mate-TD系统数控车床面板功能

(一) 操作模式选择按键

FANUC-0i Mate-TD 系统数控车床面板如图1-13所示。



图1-13 FANUC-0i Mate-TD 系统数控车床面板



常用数控车床控制面板按键的功能解释如下。

1. 自动操作方式

自动操作方式按照程序的指令控制机床连续自动加工。

2. 编辑方式

编辑方式下，可以对工件加工程序进行存储和编辑。

3. MDI（手动数据输入）

用于临时执行程序（执行成功后程序消失，FANUC系统程序段不超过10段），可通过CNC键盘输入一段程序，然后按循环启动键执行该程序。系统参数的修改必须在此方式下进行；主轴转速可在此方式下用M41、M42、M43、M44指令指定主轴转速级数，用M03、M04、M05指令指定主轴的正转、反转和停止；用M08、M09指令开断切削液；用相应的刀具指令调刀。

4. 远程执行

在该模式下可以直接执行由外部数据源（纸带、电缆）传入的程序（机床不保存的程序）。

5. 返回参考点

按下此键，指示灯亮，机床处于手动返回参考点方式，通过按X或Z轴正方向键，机床分别在X或Z轴方向返回参考点。在此方式下机床的软超程保护功能和螺距补偿功能才有效。

6. 快速点动

按下此快速点动键并同时按下相应的方向点动键，在快速倍率1%、25%、50%、100%中任选一键，其指示灯亮，其余皆灭，该键上的百分数就是当前的快速倍率。可使刀架按不同倍率快速移动。

7. 机动速度进给

以特定的进给速度控制机床某坐标轴移动。

8. 回手摇脉冲进给方式

按下此键，并按下[X]键或[Z]键选择所需的进给倍率，可通过手轮使刀架前后或左右运动进行试切削对刀。

9. 程序的单段运行

在自动方式下，按一下单段运行键，该键指示灯亮，单段执行功能有效。每按一次循环启动键，则执行一段程序，当此段程序执行完毕将停下来，再按循环启动键，则执行下一段程序。主要用于测试程序。

10. 回程序段任选跳步操作

按下此键，指示灯亮，程序段任选跳步功能有效，对凡在程序段前有“/”符号的程序段全部跳过不执行；再按一下此键，则该指示灯灭，该功能失效。



11. 程序选择性停止

执行至M01时是否暂停。

12. 进给暂停

在自动操作方式和MDI方式下，按下此键，程序执行被暂停，再按下循环启动键，程序继续执行。

13. 程序的单段运行

在自动操作方式下，按一下单段运行键，该键指示灯亮，单段执行功能有效。每按一次循环启动键，则执行一段程序，当程序执行完毕停下来，再按动循环启动键，再执行下一段程序。主要用于测试程序。

14. 机床锁住操作

按下此键，指示灯亮，机床处于锁住状态。再按一次，指示灯灭，机床锁住状态解除。机床处于锁住状态时，在手动方式下，各坐标轴移动操作只能使位置显示值变化，而机床各轴不动，主轴、冷却、刀架照常工作。在自动操作方式和MDI方式下，程序能照常运行，位置显示值变化，而机床各轴不动，主轴、冷却、刀架照常工作。

15. 试运行

在自动操作方式下按下此键试运行操作，也称空运行，用于在不切削的情况下实验、检查新输入的工件加工程序的操作。

16. 同循环启动键

在自动操作方式和MDI方式下按下此键，启动程序。

17. 程序运行开始

模式选择旋转在“AUTO”和“MDI”位置时按下有效，其余时间按下无效。

18. 循环停止

自动方式下，遇到M00指令程序停止。

19. 主轴正转

手动开机床主轴正转。

20. 主轴停转

手动开机床主轴停转。

21. 主轴反转

手动开机床主轴反转。

22. 急停键

它在机床操作面板上是一个红色按钮，如发生紧急情况，立即按下此键使机床的全部动作停止，该按钮自锁；故障排除后，顺时针旋转按钮即可复位。

23. 主轴倍率

主轴速度调节旋钮调节主轴速度，速度调节范围为0 ~ 120%。

24. 进给倍率

调节旋钮调节数控程序运行中的进给速度，速度调节范围为0 ~ 120%。

(二) MDI操作面板

数控系统MDI操作面板如图1-14所示。

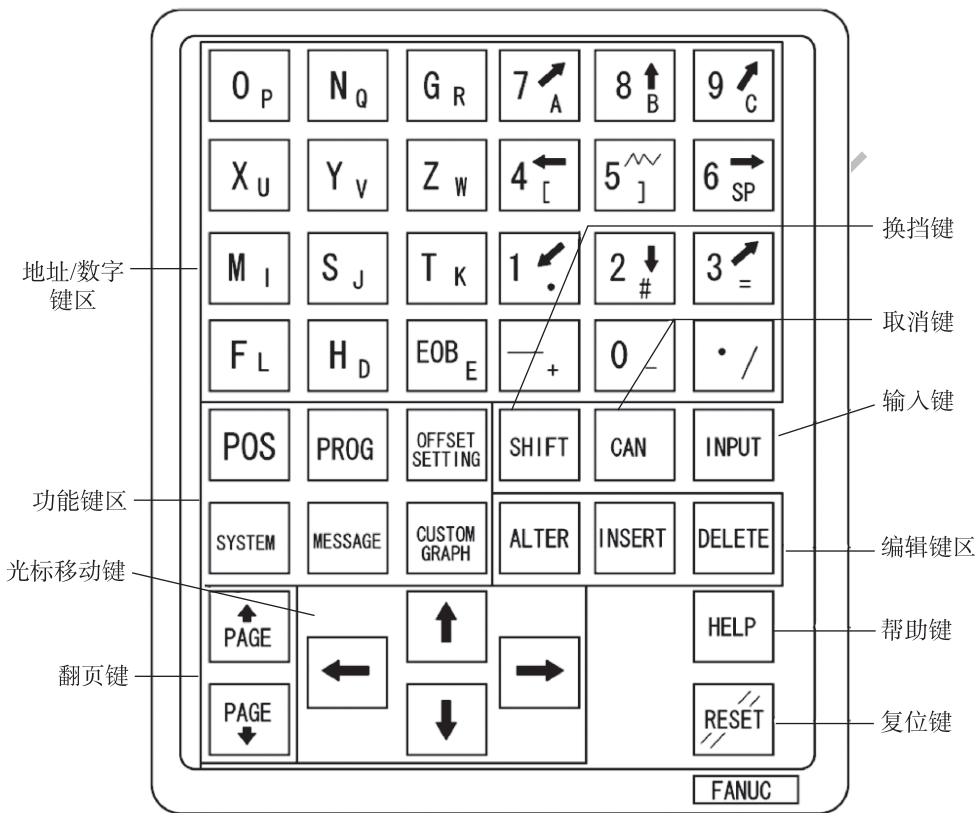


图1-14 数控系统MDI操作面板

- ①显示坐标的位置。
- ②显示程序的内容。
- ③显示或输入刀具偏置量和磨耗值。
- ④上挡键。
- ⑤删除输入域中的字符。
- ⑥数据的输入键。
- ⑦系统参数页面。



- ⑧信息页面。
- ⑨图形参数设置页面。
- ⑩插入键。
- ⑪输入所编写的数据指令。
- ⑫删除光标所在的代码。
- ⑬按该键可以进行显示器的上翻页。
- ⑭按该键可以进行显示器的下翻页。
- ⑮复位键。

二、数控车床安全操作规程

（一）安全操作基本注意事项

- ①工作时请穿好工作服、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注意不要移动或损坏安装在机床上的警告标牌。
- ③注意不要在机床周围放置障碍物，工作空间应足够大。
- ④某一项工作如需两人或多人共同完成时，应注意相互间的协调配合。
- ⑤不允许采用压缩空气清洗机床、电气柜及NC单元。

（二）工作前的准备工作

- ①机床开始工作前要预热，认真检查润滑系统是否正常工作，如果机床长时间未开动，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为了调整刀具所用的工具不要遗忘在机床内。
- ④检查大尺寸轴类零件的中心孔是否合适，如果中心孔太小，工作中易发生危险。
- ⑤刀具安装好后应进行1~2次试切削。
- ⑥检查卡盘是否夹紧。
- ⑦机床开动前，必须关好机床防护门。

（三）工作过程中的安全注意事项

- ①禁止用手接触刀尖和铁屑，铁屑必须要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禁止加工过程中量活、变速，更不能用手擦拭工件，也不能清扫机床。



- ④车床运转中，操作人员不得离开岗位，发现异常现象应立即停车。
 - ⑤经常检查轴承温度，温度过高时应找相关人员进行检查。
 - 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，他人使用须经本人同意。
 - ⑧工件伸出车床100mm以外时，须在伸出位置设防护物。
 - ⑨禁止进行尝试性操作。
 - ⑩手动回归原点时，注意机床各轴位置要距离原点100mm以上，机床原点回归顺序为：首先+X轴，其次+Z轴。
 - ⑪使用手轮或快速移动方式移动各轴位置时，一定要看清机床X、Z轴各方向“+、-”标牌后再移动。移动时先慢转手轮观察机床移动方向无误后，方可加快移动速度。
 - ⑫编完程序或将程序输入机床后，须先进行图形模拟，确认无误后再要进行机床试运行，并且刀具应离开工件端面100mm以上。
 - ⑬程序运行注意事项。对刀应准确无误，刀具补偿号应与程序调用刀具号相符；检查机床各功能按键的位置是否正确；光标要放在主程序开头；加注适量冷却液；站立位置应合适，启动程序时，右手做按停止按钮的准备，程序在运行当中手不能离开停止按钮，如有紧急情况立即按下停止按钮。
 - ⑭加工过程中认真观察切削及冷却状况，确保机床、刀具的正常运行及工件的质量，并关闭防护门以免铁屑、润滑油飞出。
 - ⑮在程序运行中须暂停车床来测量工件尺寸时，要待机床完全停止、主轴停转后方可进行测量，以免发生人身事故。
 - ⑯关机时，要等主轴停转3min后方可关机。
 - ⑰未经许可禁止打开电器箱。
 - ⑱各手动润滑点必须按说明书要求润滑。
 - ⑲修改程序的钥匙在程序调整完后要立即拿掉，不得插在机床上，以免无意间改动程序。
 - ⑳使用机床时，每日必须使用切削油开机循环0.5h，冬天时间可稍短一些，切削液要定期更换，一般在1~2个月。
- 机床若数天不使用，则每隔一天应对NC及CRT部分通电2~3h。

（四）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注意检查或更换磨损了的机床导轨上的油擦板。



- ③检查润滑油、冷却液的状态，及时添加或更换。
- ④依次关掉机床操作面板上的电源和总电源。

三、数控车床日常维护及保养

（一）数控车床日常维护及保养

数控车床日常维护及保养方法，如表1-1所示。

表1-1 数控车床日常维护及保养

检查周期	检查部位	检查要求
每天	导轨润滑油箱	检查油标、油量，检查润滑泵能否定时启动供油及停止
每天	Z轴向导轨面	清除切屑及其他脏物，检查导轨面有无划伤
每天	压缩空气气源压力	检查气动控制系统压力
每天	主轴润滑恒温油箱	工作正常，油量充足并能调节温度范围
每天	机床液压系统	油箱、液压泵无异常噪声，压力指示正常，管路及各接头无泄漏
每天	各种电气柜散热通风装置	各电气柜冷却风扇工作正常，风道过滤网无堵塞
每天	各种防护装置	导轨、机床防护罩等无松动、无漏水
每半年	滚珠丝杠	清洗丝杠上旧润滑脂，涂上新润滑脂
不定期	切削液箱	检查液面高度，经常清洗过滤器等
不定期	排屑器	经常清理切屑
不定期	清理废油池	及时取走滤油池中的废油，以免外溢
不定期	调整主轴驱动带松紧程度	按机床说明书调整
不定期	检查各轴导轨上的镶条	按机床说明书调整

（二）数控系统日常维护及保养

数控系统使用一段时间后，某些元器件或机械部件发生老化、损坏。为延长元器件的寿命和零部件的磨损周期应在以下几个方面注意维护：

①尽量少开数控柜和强电柜门，车间空气中一般含有油雾、潮气和灰尘。一旦落在数控装置内的电路板或电子元件上，容易引起元器件间绝缘电阻下降，并导致元器件损坏。

②定期清理数控装置的散热通风系统，散热通风口过滤网上灰尘积聚过多，会引起数控装置内温度过高（一般不允许超过55℃），致使数控系统工作不稳定，甚至发生过热报警。

③经常监视数控装置电网电压，数控装置允许电网电压在额定值的 $\pm 10\%$ 范围内波动。如果超过此范围就会造成数控系统不能正常工作，甚至引起数控系统内某些元器件损坏。为此，需要经常监视数控装置的电网电压。电网电压质量差时，应加装电源稳定器。

④数控车床若长时间不用也应定期进行维护保养，至少每周通电空运行一次，每次不少于1个小时，在环境温度较高的雨季更应如此。利用电子元器件本身的发热来驱散数控装置内的潮气，以保证电子部件性能的稳定可靠。如果数控车床闲置半年以上不用，应将直流伺服电动机的电刷取出来，以免换向器表面受到化学腐蚀作用，使换向性能受损，甚至损坏整台电动机。机床长期不用还会出现后备电池失效，使机床初始参数丢失或部分参数改变，因此应注意及时更换后备电池。

第三节 数控车床手动操作与试切削

知识学习

一、车床常用刀具

常用数控车刀的种类、形状和用途，如图1-15所示。

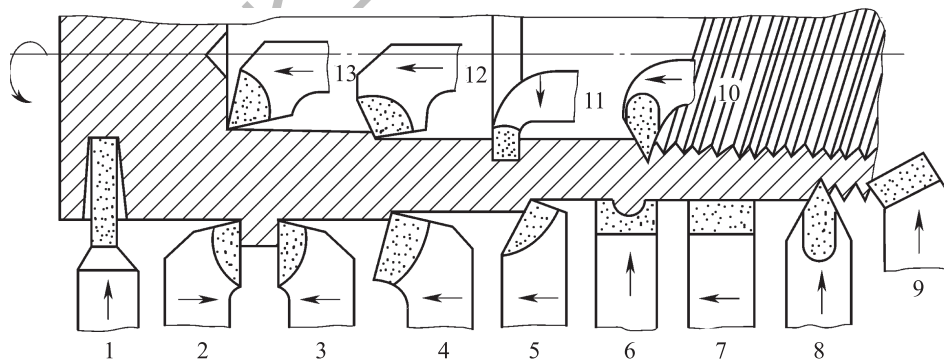


图1-15 常用数控车刀的种类、形状和用途

- 1—切断刀；2—右偏刀；3—左偏刀；4—弯头车刀；5—直头车刀；
6—成型车刀；7—宽刃精车刀；8—外螺纹车刀；9—端面车刀；
10—内螺纹车刀；11—内切槽刀；12—通孔车刀；13—盲孔车刀

数控外圆车刀类同一般车床外圆车刀，常用的有整体式、焊接式、机夹式和可转位式。为适应数控加工特点，数控车床常采用可转位车刀，并采用涂层刀片，以提高加工效率。

为了减少换刀时间和方便对刀，便于实现机械加工的标准化，数控车削加工时，应尽量采用机夹刀和机夹刀片。数控车床一般选用可转位车刀。这种车刀就是使用可转位刀片的机夹车刀，把经过研磨的可转位多边形刀片用夹紧组件夹在刀杆上，其夹紧方式如图1-16（a）至图1-16（c）所示。车刀刀片每边都有切削刃，当某切削刃磨损钝化后，只需松开夹紧元件，将刀片转一个位置，即可用新的切削刃继续切削，只有当多边形刀片所有的刀刃都磨钝后，才需要更换刀片。可转位刀具的优点有：

- ①避免了硬质合金钎焊时容易产生裂纹的缺点；
- ②可转位刀片适合用气相沉积法在硬质合金刀片表面沉积薄层更硬的材料（碳化钛、氮化钛和氧化铝），以提高切削性能；
- ③换刀时间较短；
- ④由于可转位刀片是标准化和集中生产的，刀片几何参数一致，切屑控制稳定。

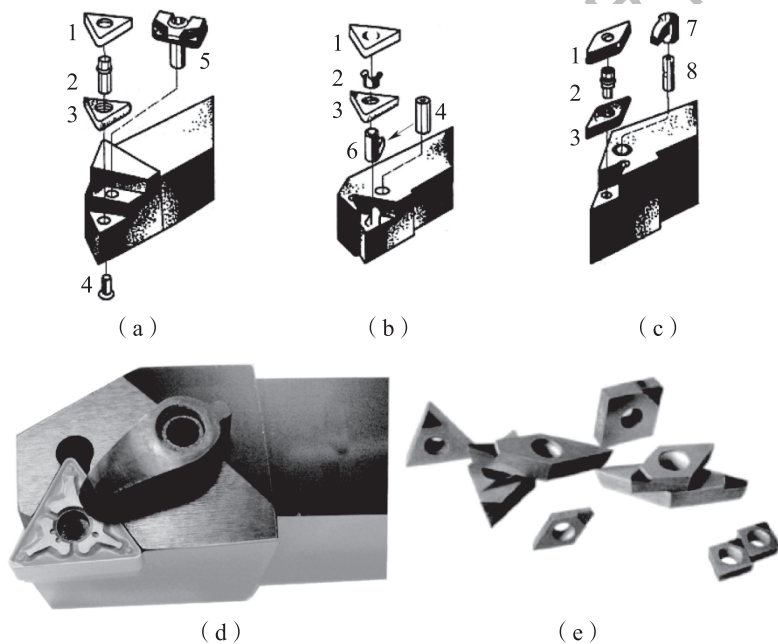


图1-16 可转位刀具

（a）楔块上压式夹紧；（b）杠杆式夹紧；（c）螺钉上压式夹紧；
（d）螺钉上压式夹紧；（e）常见可转位刀具刀片

1—刀片；2—定位销；3—刀垫；4—螺钉；5—楔块夹紧；6—杠杆；7—上压式夹紧；8—螺钉夹紧

二、坐标系

数控机床上，为确定机床运动方向和距离，必须有一个坐标系才能实现，我们把这种固有的坐标系称为机床坐标系。该坐标系的建立必须依据一定的原则。

在数控车床上，一般来讲，通常使用两个坐标系：一个是机床坐标系；另一个是工件坐标系，也称为编程坐标系。

（一）机床坐标系

为了确定机床的运动方向和移动距离，必须在机床上建立一个坐标系，该坐标系就是机床坐标系。机床坐标系是机床固有的坐标系，它是制造和调整机床的基础，也是设置工件坐标系的基础。在机床经过设计、制造和调整，机床坐标系就已经由机床生产厂家确定好了，一般情况下用户不能随意改动。

①前置刀架：刀架与操作人员在同一侧，操作人员站在数控车床前面，刀架位于主轴和操作人员之间，经济型数控车床和水平导轨的普通数控车床常采用前置刀架，X轴正方向指向操作人员。

②后置刀架：刀架与操作人员不在同一侧，主轴位于刀架和操作人员之间，倾斜导轨的全功能型数控车床和车削中心常采用后置刀架，X轴正方向背向操作人员。

1. 机床原点、机床参考点

数控车床的坐标系如图1-17所示。它是以前机床原点为坐标原点建立起来的。

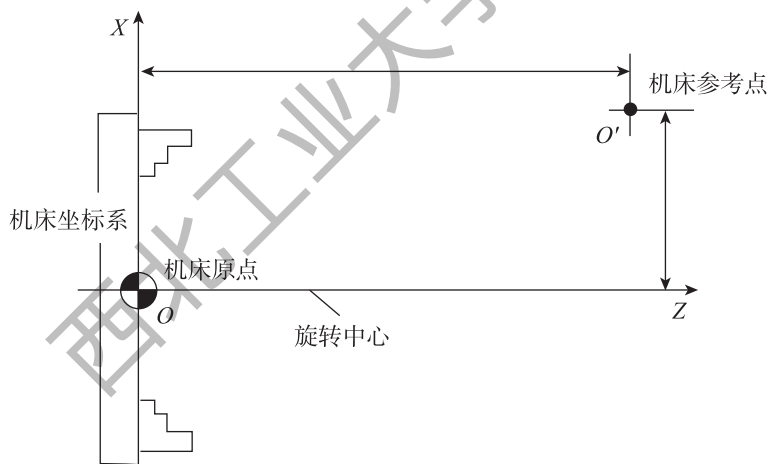


图1-17 机床坐标系

机床原点是机床上一个固定的点，一般数控车床的机床原点处于主轴旋转中心与卡盘后端面的交点。

常见数控车床坐标系如图1-18和图1-19所示。

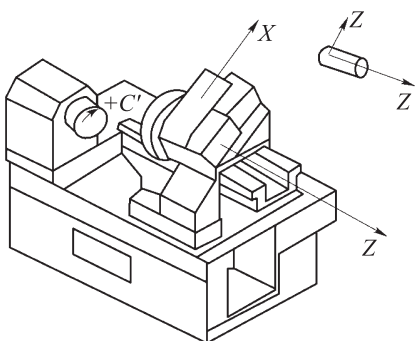


图1-18 斜床身后置刀架数控车床坐标系

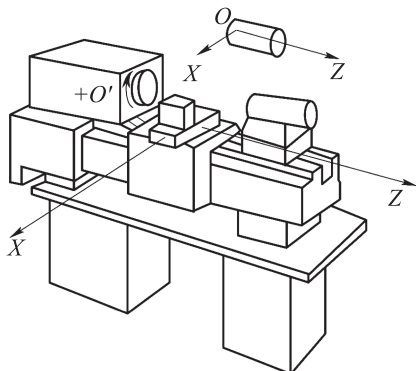


图1-19 水平床身前置刀架数控车床坐标系

参考点也是机床上一个固定的点，它使刀具退到一个固定不变的位置。该点与机床原点的相对位置如图1-17所示（图中的 O' 即为参考点）。参考点的固定位置由Z向和X向的机械限位挡块或者电气装置来限定，一般设在车床正向最大极限位置。当进行回参考点（也叫回零点）的操作时，装在纵向和横向滑板上的行程开关碰到相应的挡块后，就会向数控系统发出信号，由系统控制滑板停止运动，完成回参考点的操作。对操作人员来说，参考点比机床原点更常用、更重要。

机床通电后，必须进行返回参考点的操作，当完成返回参考点的操作后，CRT屏幕上则立即显示出此时刀架中心（对刀参考点）在机床坐标系中的位置，这就相当于在数控系统内部建立了一个以机床原点为坐标原点的机床坐标系。刀具移动才有了依据，否则不仅加工无基准，而且还会发生碰撞等事故。后置刀架与前置刀架的机床坐标系如图1-20所示。

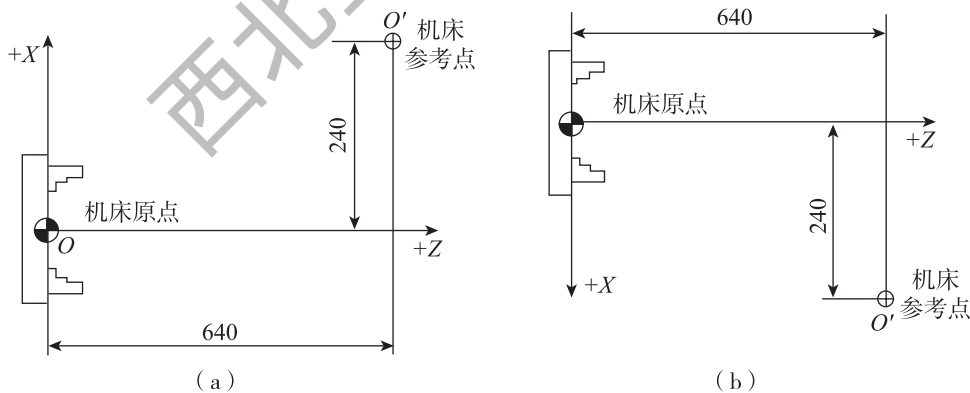


图1-20 数控车床机床原点与参考点

(a) 后置刀架；(b) 前置刀架

2. 机床坐标系的确定原则

数控机床上的坐标系采用右手直角笛卡尔坐标系如图1-21所示，右手的拇指、食指、

中指保持相互垂直，拇指的指向为X轴的正方向，食指指向为Y轴的正方向，中指指向为Z轴的正方向。围绕X、Y、Z轴旋转的圆周进给坐标轴分别用A、B、C表示。根据右手螺旋定则（右手握轴）以大拇指指向+X、+Y、+Z方向，则食指、中指等指向圆周进给运动的+A、+B、+C方向。

GB/T 19660-2005中规定：机床某一部件运动的正方向，是增大工件和刀具之间距离的方向。

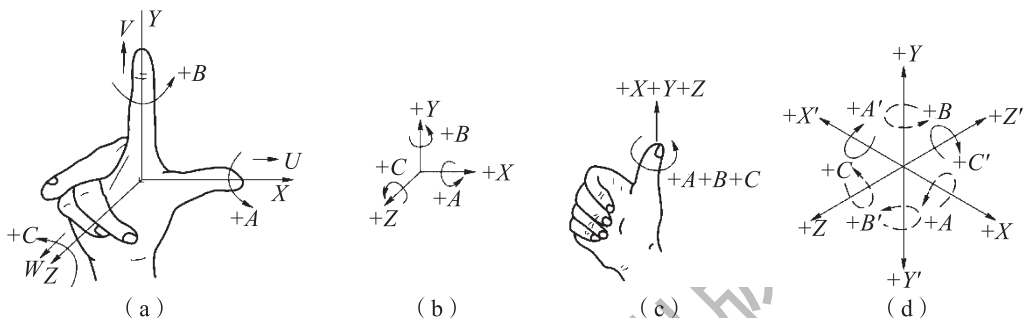


图1-21 笛卡尔坐标系

（1）Z坐标的运动

Z坐标轴与传递切削力的主轴方向一致。Z坐标的正方向为增大工件与刀具之间距离的方向。

例：①对于车床、磨床等，主轴带着工件旋转。

②对于铣床、钻床、镗床等，主轴带着刀具旋转。

a.如果机床没有主轴（如牛头刨床），Z轴垂直于工件装夹面。

b.如在钻镗加工中，钻入和镗入工件的方向为Z坐标的负方向，而退出为正方向。

（2）X坐标的运动

X坐标轴一般是水平的，平行于工件的装夹面。这是在刀具或工件定位平面内运动的主要坐标。

例：①对于工件旋转的机床（如车床、磨床等），X坐标的方向是在工件的径向上，且平行于横滑座，刀具离开工件旋转中心的方向为X轴正方向。

②对于刀具旋转的机床（如铣床、镗床、钻床等）。

a.如果Z轴是垂直的，当从刀具主轴向立柱看时，X的正方向指向右方。

b.如果Z轴（主轴）是水平的，当从主轴向工件方向看时，X的正方向指向右方。

（3）Y坐标的运动

Y坐标轴垂直于X和Z坐标轴。Y运动的正方向根据X和Z坐标的正方向，按照右手直角笛卡尔坐标系来判断。

（二）工件坐标系

工件坐标系是编程人员在程序编制中使用的坐标系，程序中的坐标值均以此坐标系为依据，因此又称为编程坐标系。在进行数控程序编制时，必须首先确定工件坐标系和坐标原点。

零件图样给出以后，首先应该找出图样上的设计基准点，图样上其他各尺寸都是以该基准来进行标注的。同时，在零件加工过程中有工艺基准，设计基准应尽量与工艺基准统一。一般情况下，将该基准称为工件原点。

以工件原点为坐标原点建立起来的坐标系称为工件坐标系。工件坐标系是人为设定的，从理论上讲，工件坐标系的坐标原点选在任何位置都是可以的，但在实际编程过程中，其设定的依据是既要符合图样尺寸的标注习惯，又要便于编程。所以，应合理设定工件坐标系。工件坐标系一旦建立便一直有效，直到被新的工件坐标系所取代。

编程时，工件的各个尺寸坐标都是相对于工件原点而言的。因此，数控车床的工件原点也称为程序原点。

通常在车床上将工件原点选择在工件右端面与主轴回转中心的交点上，也可将工件原点选择在工件左端面与主轴回转中心的交点上，这样工件坐标系也就建立起来了。加工坐标系应与机床坐标系的坐标方向一致，X轴对应径向，Z轴对应轴向，C轴（主轴）的运动方向则以从机床尾架向主轴看，逆时针为+C向，顺时针为-C向，如图1-22和图1-23所示。加工坐标系的原点选在便于测量或对刀的基准位置，一般在工件的右端面或左端面上。

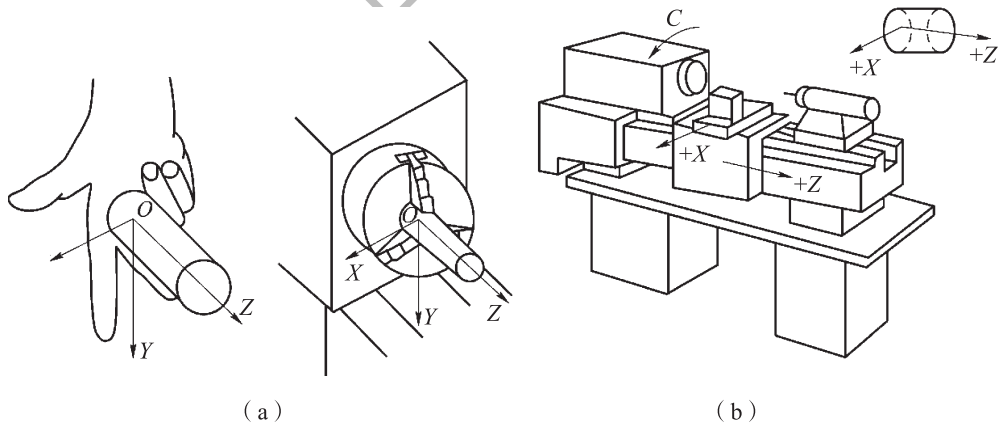


图1-22 数控机床坐标系

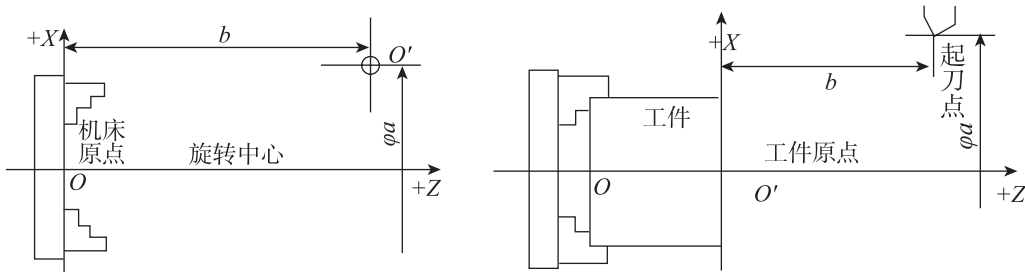


图1-23 数控机床坐标系（左）与工件坐标系（右）

三、数控车床坐标系及机床原点

有些数控车床坐标系不是设置在车床卡盘与主轴轴线的交点处，而是设置在+X、+Z的极限位置。此时机床坐标系原点与机床参考点重合。回参考点操作又称回零操作。

四、装夹方案确定

在数控车床上根据工件结构特点和工件加工要求，确定合理装夹方式，选用相应的夹具。如轴类零件的定位方式通常是一端外圆固定，即用三爪自定心卡盘、四爪单动卡盘或弹簧套固定工件的外圆表面，但此定位方式对工件的悬伸长度有一定的限制。工件的悬伸长度过长则会在切削过程中产生较大的变形，严重时将无法切削。对于切削长度过长的工件可以采用一夹一顶或两顶尖装夹。数控车床常用的装夹方法有以下几种。

（一）自定心卡盘装夹

三爪自定心卡盘是数控车床最常用的卡具。它的特点是可以自定心，夹持工件时一般不需要找正，装夹速度较快，但夹紧力较小，定心精度不高，适用于装夹中小型圆柱形、正三边或正六边形工件，不合同轴度要求高的工件的二次装夹。

常见的三爪卡盘有机械式和液压式两种。数控车床上经常采用液压卡盘，液压卡盘特别适合于批量生产。

（二）软爪装夹

由于三爪自定心卡盘定心精度不高，当加工同轴度要求高的工件的二次装夹时，常常使用软爪，如图1-24所示。软爪是一种可以加工的卡爪，在使用前根据被加工工件尺寸制造而成。

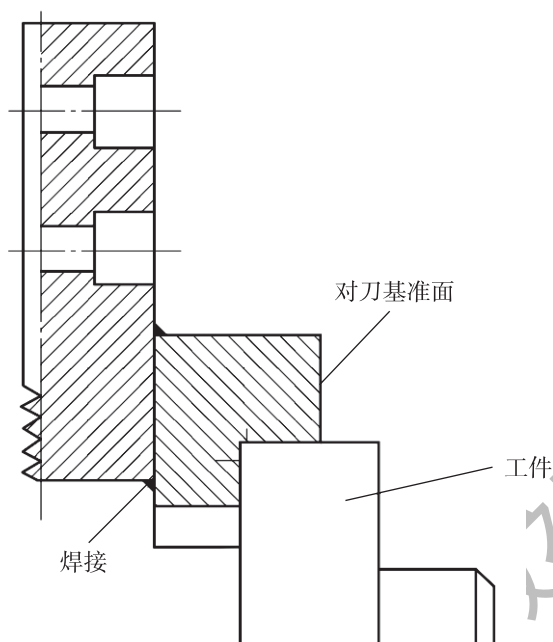


图1-24 软爪装夹

(三) 四爪单动卡盘装夹

用四爪单动卡盘装夹时，夹紧力较大，装夹精度较高，不受卡爪磨损的影响，但夹持工件时需要找正，如图1-25所示，适于装夹偏心距较小、形状不规则或大型的工件等。

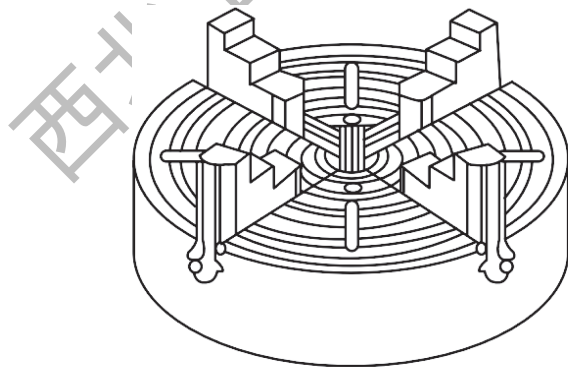


图1-25 四爪单动卡盘

(四) 中心孔定位装夹

1. 两顶尖拨盘

顶尖分为前顶尖和后顶尖。前顶尖有两种形式，一种是插在主轴锥孔内，另一种是



夹在卡盘上。后顶尖是插在尾座套筒内，其也有两种形式，一种是固定式，另一种是回转式。两顶尖只对工件起定心和支撑作用，工件安装时要用鸡心夹头或对分夹头夹紧工件的一端，必须通过鸡心夹头或对分夹头带动工件旋转。这种方式适用于装夹轴类零件，利用两顶尖定位还可以加工偏心工件。

2. 拨动顶尖

拨动顶尖有内、外拨动顶尖和端面拨动顶尖两种。内、外拨动顶尖是通过带齿的锥面嵌入工件拨动工件旋转。端面拨动顶尖是利用端面的拨爪带动工件旋转，适合装夹直径为 $\phi 50 \sim \phi 150\text{mm}$ 的工件。

用两端中心孔定位，容易保证定位精度，但由于顶尖细小，装夹不够牢靠，不宜用大的切削用量进行加工。

3. 一夹一顶

一端用三爪或四爪卡盘，通过卡爪夹紧工件并带动工件转动，另一端用尾顶尖支撑。这种方式定位精度较高，装夹牢靠。

（五）心轴与弹簧卡头装夹

以孔为定位基准，用心轴装夹来加工外表面。以外圆为定位基准，采用弹簧卡头装夹来加工内表面。用心轴或弹簧卡头装夹工件的定位精度高，装夹工件方便、快捷，适用于装夹内外表面的位置精度要求较高的套类零件。

（六）利用其他工装夹具装夹

数控车削加工中有时会遇到一些形状复杂和不规则的零件，不能用三爪或四爪卡盘等夹具装夹，需要借助其他工装夹具装夹，如花盘、角铁等。对于批量生产的工件，还要采用专用夹具装夹。

五、定位装夹的基本原则

在数控机床上加工零件时，定位安装的基本原则与普通机床相同，要合理选择定位基准和夹紧方案。为提高数控机床的效率，在确定定位基准与夹紧方案时应注意以下三点：

- ①力求设计、工艺与编程计算的基准统一；
- ②尽量减少装夹次数，尽可能在一次定位装夹后，加工出全部待加工表面；
- ③避免采用占机人工调整式加工方案，以充分发挥数控机床的效能。



六、选择夹具的基本原则

数控加工的特点对夹具提出了两个基本要求，一是要保证夹具的坐标方向与机床的坐标方向相对固定；二是要协调零件和机床坐标系的尺寸关系。除此之外，还要考虑以下几点：

①当零件加工批量不大时，应尽量采用组合夹具、可调式夹具和其他通用夹具，以缩短生产准备时间，节省生产成本。当达到一定批量生产时才考虑用专用夹具，并力求结构简单。

②零件的装卸要快速、方便、可靠，以缩短机床的停止时间。

③夹具上各零部件应不妨碍机床对零件各表面的加工，即其定位夹紧机构元件不能影响加工中的走刀（如发生碰撞等）。

此外，为提高数控加工的效率，在批量生产中，还可采用多位、多件夹具。

七、切削用量的选择

对于高效率的数控机床加工来说，被加工材料、切削刀具、切削用量是三大要素。这些条件决定着加工时间、刀具寿命和加工质量。经济、有效的加工方式，要求必须合理地选择切削条件。

在确定每道工序的切削用量时，应根据刀具的耐用度和机床说明书的规定去选择，也可以结合实际经验用类比法确定切削用量。对于表面粗糙度和精度要求较高的零件，要留有足够的精加工余量，数控加工的精加工余量可比通用机床的加工余量小一些。



任务实施

八、开机、参考点

（一）数控车床开机操作

操作步骤：接通数控车床电源，打开机床电源开关，启动数控系统电源按钮。

（二）回参考点操作

按回参考点REF按钮，按×按钮，再按>按钮，再按Z按钮，再按>按钮，即可回参考点。

在回原点模式下，先将X轴回原点，按控制面板上的×按钮，使X轴方向移动指示灯变亮，按>按钮，此时X轴将回原点，X轴回原点灯变亮，CRT上的X坐标变为“390.00”。同样，再按Z轴方向移动按钮Z，使Z轴方向指示灯变亮，按>按钮，此时Z轴将回原点，Z轴回原点灯变亮。

（三）操作注意事项

- ①严格遵守数控车床启动前操作要求；
- ②开机后应首先执行“回参考点”操作；
- ③一般先回X轴；
- ④当数控机床断电后（或按下紧急停止按钮），应重新回机床参考点。

四、手动（JOG）操作与试切削

（一）手动（JOG）操作

1. 坐标轴控制

- ①按下操作面板上的“手动”按钮，使其指示灯亮，机床进入手动加工模式。

分别按X、Y、Z按钮，选择移动的坐标轴，分别按>、—按钮，控制机床的移动方向。

- ②如果同时按下快速移动键和相应的坐标轴键，则坐标轴以快进速度运行。

③按下[JOG]键，选择手动工作模式，再按下[手轮模式]键，则实现用手持操作器控制各坐标轴增量移动，增量值大小由手持操作器中步距按钮控制，“X1、X10、X1000”分别表示0.001mm、0.01mm、0.1mm。

2. 主轴控制

按下[JOG]键，选择手动工作模式，按[主轴正转]、[主轴停转]、[主轴反转]按钮控制主轴的转动和停止。



（二）工件装夹、刀具装夹训练

1. 工件装夹训练

取 $\phi 50\text{mm} \times 70\text{mm}$ 的45钢毛坯，装夹在三爪自定心卡盘上，伸出50mm左右，用划线盘校正后用卡盘扳手旋紧三爪自定心卡盘，夹紧工件。

2. 刀具装夹训练

将外圆车刀装在刀架上，用垫刀片垫起，使刀尖与机床主轴等高，刀杆与主轴轴线垂直，刀头伸出20~30mm，用刀架扳手夹紧。

训练时所用工、量、刀具如表1-3所示。

表1-3 工、量、刀具清单

序号	名称	规格	精度	单位	数量
1	卡盘扳手			副	1
2	刀架扳手			副	1
3	垫刀片			块	若干
4	加力杆			个	1
5	划线盘			个	1
6	游标卡尺	0~150mm	0.02mm	把	1
7	外圆车刀	90°		把	1

（三）试切削训练

1. 手动切削工件端面

- ①按[JOG]键，选择手动工作模式，使主轴正转。
- ②按相应方向键，使车刀接近工件端面，车刀接近工件端面时，进给倍率一般为2%~4%。
- ③使刀具沿X轴正方向退出（退出距离为稍大于工件直径）。
- ④使刀具沿Z轴负方向切入一定深度（不超过1mm）。
- ⑤调小进给速度，进给倍率选2%~4%，使刀具沿X轴负方向进给，切削至工件中心。
- ⑥使刀具沿Z轴正方向退出。
- ⑦按复位键停止主轴转动。

2. 手动切削工件外圆

- ①按[JOG]键，选择手动工件模式，使主轴正转。
- ②按相应方向键，使车刀接近工件端面，进给倍率一般为2%~4%。



- ③使刀具沿Z轴正方向退出工件。
- ④使刀具沿X轴负方向切入一定深度（约2mm）。
- ⑤调小进给速度，进给倍率选2%~4%，使刀具沿Z轴负方向切削至要求长度。
- ⑥使车刀沿X轴正方向退出。
- ⑦使刀具沿Z轴正方向退出。
- ⑧重复以上切削步骤，直至加工出任务一所要求的尺寸。
- ⑨按复位键停车。

（四）切削结束

拆下工件和车刀，清理机床。

思考题

- 1.数控车床的加工特点有哪些？
- 2.简述数控车床的安全操作规程。
- 3.数控车床在什么情况下需重新返回参考点？
- 4.工作坐标系建立的原则是什么？