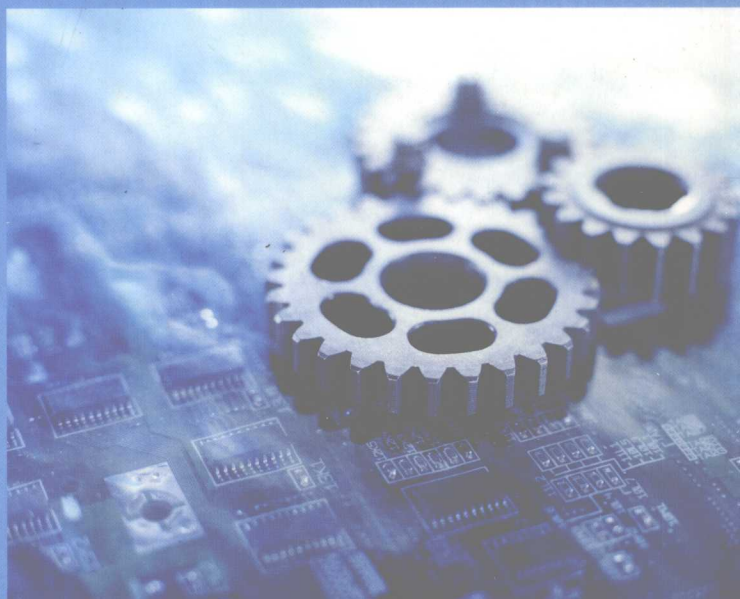




中等职业技术教育机电类专业规划教材
根据教育部中等职业技术学校新教学大纲要求编写

数控机床及编程

主 编 唐 波
副主编 曾卫众
曹爱群



中等职业技术教育机电类专业规划教材

数控机床及编程

主 编 唐 波
副主编 曾卫众 曹爱群

中南大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床及编程/唐波主编. —长沙:中南大学出版社,2006.7
ISBN 7-81105-336-5

I. 数... II. 唐... III. 数控机床 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 070213 号

中等职业技术教育机电类专业规划教材

数控机床及编程

主 编 唐 波

副主编 曾卫众 曹爱群

责任编辑 谭 平

责任印制 文桂武

出版发行 中南大学出版社

社址:长沙市麓山南路

邮编:410083

发行科电话:0731-8876770

传真:0731-8710482

印 装 益阳长城印务有限公司

开 本 787 × 1092 1/16 印张 14 字数 352 千字

版 次 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 7-81105-336-5/G · 132

定 价 22.00 元

图书出现印装问题,请与出版社调换

前 言

数控机床与编程是现代热门的技术之一，要学好数控技术，对学习者的知识储备与素质有一定的要求。编者建议，在先行学习课程中，应包含机械制图、机械加工技术、金工实训、计算机应用、AutoCAD 绘图等课程。

本书主要介绍了数控车床与铣床的手动编程方法，包括工艺分析与编程技术两大模块。编者站在初学者的角度看问题，尽量规避一些很深理论，注重数控编程独特思维方法的培养，语言通俗易懂，知识相关性强。

编者长期担任数控机床编程的教学工作，因此，在教材章节规划上，符合教师教学实际需要。从学校实际出发，本书第5章介绍了数控仿真软件的使用方法，为达到最佳教学效果，宜安排一定课时的上机操作课，或组织学生到相关工厂进行数控学习。

希望本书能成为一块“敲门砖”，为你叩开数控技术的大门。本书在编写过程中，参考了一些文献资料等出版物，以及网上一些相关资料，在此表示衷心感谢！

由于编者水平所限，对书中错误与不妥之处，请读者予以批评指正。

编者

目 录

第1章 数控机床概述	(1)
1.1 数控技术的基本概念	(1)
1.2 数控机床的组成和分类	(2)
1.3 数控机床的坐标系统	(6)
1.4 数控机床的特点与发展方向	(9)
习题	(13)
第2章 数控加工工艺分析及编程基础	(14)
2.1 数控加工工艺的共性要素探讨	(14)
2.2 数控车床加工工艺分析	(21)
2.3 数控铣床加工工艺分析	(27)
2.4 数控机床工作原点的确定	(33)
2.5 点坐标的确定	(35)
2.6 手工编程基础	(37)
习题	(40)
第3章 数控车床编程	(42)
3.1 辅助功能 M 代码	(42)
3.2 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T	(45)
3.3 准备功能 G 代码	(46)
习题	(92)
第4章 数控铣床编程	(99)
4.1 辅助功能 M 代码	(99)
4.2 主轴功能 S、进给功能 F 和刀具功能 T	(99)
4.3 准备功能 G 代码	(99)
4.4 手工编程综合应用	(129)
习题	(137)
第5章 数控加工仿真软件的使用	(145)
5.1 华中数控系统仿真模拟	(145)

5.2	FANUC(法兰克)数控系统仿真模拟	(167)
5.3	SIEMENS(西门子)数控铣床仿真模拟	(193)
附 录		(206)
附表 1	数控车床准备功能(G 代码)一览表	(206)
附表 2	数控铣床准备功能(G 代码)一览表	(207)
附录 3	全国数控技能大赛数控车床考试说明	(209)
附录 4	全国数控技能大赛数控铣床考试说明	(209)
附表 5	全国数控技能大赛数控车床技术要求	(210)
附表 6	全国数控技能大赛数控铣床(加工中心)技术要求	(212)
参考文献		(216)

第1章 数控机床概述

1.1 数控技术的基本概念

数控技术是20世纪中期发展起来的机床控制技术。现代计算机数控技术是综合了计算机、自动控制、电机、电气传动、测量、监控、机械制造等技术学科领域最新成果而形成的一门跨学科的边缘科学技术。数控技术是柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)和工厂自动化(FA)的基础技术之一,是现代机械制造业中的高新技术之一。

1.1.1 数控

数字控制(Numerical Control,简称NC)是一种自动控制技术,是用数字化信号对机床的运动及其加工过程进行控制的一种方法。

1.1.2 数控机床

数控机床(NC Machine)就是采用数控技术的机床,或者说是装备了数控系统的机床。

国际信息处理联盟(IFIP)第五技术委员会对数控机床作了如下定义:数控机床是一种装有程序控制系统的机床,该系统能逻辑地处理具有特定代码和其他符号编码指令规定的程序。

1.1.3 数控系统

数控系统(NC System)就是上述定义中所指的那种程序控制系统,它能逻辑地处理输入到系统中具有特定代码的程序,并将其译码,从而使机床运动并加工零件。

上述定义中关键的是“程序控制”,这是现代工业自动控制的核心所在。同学们在进行金工实训时,已初步掌握了一些基本技能,但要你在普通车床上加工椭圆弧,在普通铣床上加工曲面,你们谁有把握?但这在数控机床上却是很轻易的事情,你所要做的就是编出加工程序,由数控系统控制机床自动完成加工过程。

自从1952年美国麻省理工学院伺服机构实验室研制出第一台三坐标数控铣床以来,数控系统在制造业,特别是在军事、航空航天工业中被广泛地应用,它的发展阶段见表1-1。

表 1-1 数控系统的发展阶段

第一阶段		第二阶段	
逻辑数控(NC)		计算机数控(CNC)	
第一代	电子管时代	第四代	计算机数字控制 CNC
第二代	晶体管时代	第五代	基于微处理器的 NC
第三代	小规模集成电路时代	第六代	基于 PC 平台的 NC

1.1.4 数控程序

输入数控系统中的、使数控机床执行一个确定的加工任务的、具有特定代码和其他符号编码的一系统指令，称为数控程序(NC Program)或零件程序(Part Program)。

1.1.5 数控编程

生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程，称为数控编程(NC Program)。

1.1.6 数控加工

根据零件图样及工艺要求等原始条件编制零件数控加工程序，输入数控系统，控制数控机床中刀具与工件的相对运动，从而完成零件的加工。

1.2 数控机床的组成和分类

1.2.1 数控机床的组成

数控机床通常由以下几部分组成：控制介质(或数据传输接口)、数控装置、伺服系统、机床和反馈系统，如图 1-1 所示。

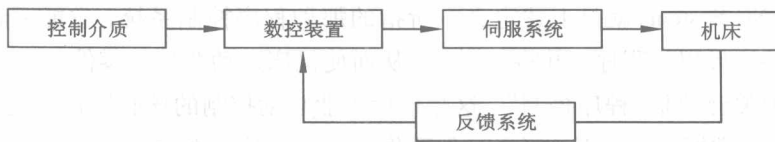


图 1-1 数控机床的组成

1. 控制介质

要对数控机床进行控制，就必须在人与机床之间建立某种联系，这种联系的媒介物即称为控制介质。在控制介质上保存着加工零件所必需的全部操作信息和刀具移动、工件移动信息。实际上指的是数控程序以什么介质来存储。

目前，数控加工程序的保存和传送(到数控机床)有三种方法：

(1) 使用穿孔纸带或磁带作为信息载体。它是把零件加工指令及数据先用规定的文字、

数字与符号书写在程序单上,即手工编制零件程序,再按一定的规则在纸带上穿出一排排的孔。这是早期的方式,现在基本上已淘汰,只在一些老式数控机床上才看得到。

(2) 使用磁盘作为信息载体。它是把零件加工指令及数据先用规定的文字、数字与符号,书写在程序单上,既可以手工编制零件程序,也可直接在计算机中自动编程,再把编制好的程序拷贝到磁盘上。当然,数控机床本身也必须具备有可以阅读磁盘的磁盘驱动器。这种方式的缺点是程序受磁盘容量大小的限制。这种方式在20世纪90年代前期应用较多,现在也在使用。

(3) 计算机直接控制(DNC)。计算机直接控制就是直接在计算机中进行编程,再把编制好的加工程序通过DNC系统直接传送到数控机床进行数控加工。同时它也可以把数控机床中的数据传送到计算机中,实现双向传送。它的优点是传送的数据量几乎不受限制,使用起来方便快捷,目前大多数数控机床(特别是数控铣床、加工中心等)都可采用这种方式来进行数据的交换。

2. 数控装置

数控装置是数控机床的中枢,目前绝大部分数控机床都采用微型计算机控制。数控装置接受控制介质输入的信息,经过处理与运算后去控制机床的动作。结构如图1-2所示。

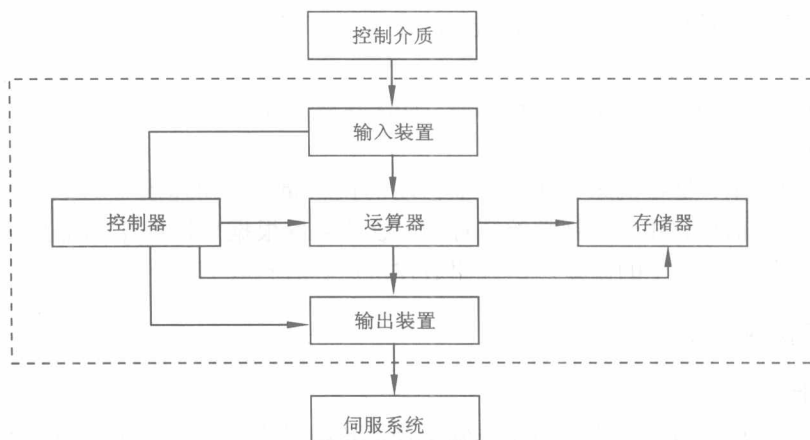


图 1-2 数控装置结构框图

输入装置接受由控制介质送入的代码信息,经过识别与译码之后分别输送到各相应的寄存器,作为控制与运算的原始数据。

控制器接受输入装置的指令,根据指令控制运算器和输出装置,实现对机床的各种控制。

运算器接受控制器的指令,将输入装置送来的数据进行某种运算,并不断向输出装置送出运算结果,控制伺服系统的相应动作。

输出装置根据控制器的指令,将运算器送入的结果输送到伺服系统。

实际上同学们可看出,数控装置的构成实质是一台小型计算机。但这种计算机是工业计算机,针对工业实际有许多特殊要求。

3. 伺服系统

伺服系统的作用是把来自数控装置的运动指令转变成机床移动部件的运动,使工作台和主轴按规定的轨迹运动,加工出符合要求的产品。又称为驱动系统。

所谓伺服控制指对物体运动的有效控制,即对物体运动的速度、位置、加速度进行控制。

伺服系统的关键是可控制的电动机,这种电动机可间接由数字信号来控制。目前常用的执行电动机有步进电动机、电液马达、直流伺服电动机或交流伺服电动机。

伺服系统包括驱动装置和执行装置两大部分。它的伺服精度和动态响应是影响数控机床加工精度、表面质量与生产效率的重要因素之一。一般数控机床的加工精度可达到微米级,指的就是伺服精度,看电动机能否有能力移动微米级的距离。动态响应指的是伺服电动机对指令的最小响应时间。

4. 机床

与传统的机床相比,数控机床具有加工精度高、加工效率高等特点,因此对机床床身的刚度和抗震性也提出了更高的要求,其设计要求比通用机床更严格。

与普通机床不同的是,数控机床的机械结构具有如下特点:

(1) 由于大多数数控机床采用了高性能的主轴部件及进给部件和进给伺服驱动系统,因此,数控机床的机械传动大大简化,传动链较短。

(2) 为了适应数控机床连续地自动化加工,数控机床的机械结构具有较高的动态刚度、阻尼精度及耐磨性,热变形较小。

(3) 更多地采用高效、高精度传动部分,如滚珠丝杠副、直线滚动导轨等。

5. 反馈系统

反馈系统的作用,是将机床导轨和主轴移动的位移量、移动速度等参数检测出来,通过模数转换变成数字信号,并反馈到数控装置中,数控装置根据反馈回来的信息进行判断并发出相应的指令,纠正所产生的误差。这说明数控机床具有自我调整的能力。

1.2.2 数控机床的分类

1. 数控铣床

数控铣床在模具制造行业中的应用非常广泛,各种具有平面轮廓和立体曲面的零件(如模具的凸凹模型腔等)都采用数控铣床进行加工。数控铣床还可以进行钻、扩、铰、镗孔和攻螺纹等加工。数控铣床根据外形可分为立式数控铣床和卧式数控铣床两种(图 1-3)。根据联动轴数有两轴联动、三轴联动、四轴联动和五轴联动等不同档次。所谓联动指的是数控系统能同时控制的轴数。如两轴联动只能控制 X 、 Y 轴,因此只能铣 Z 值固定的平面零件;三轴联动能同时联合控制 X 、 Y 、 Z 三轴,因此,能铣大部分的曲面;四轴联动以上的数控铣床,除了控制 X 、 Y 、 Z 三轴做平动,还能绕某一轴或几轴做转动,因此适于高效加工涡轮等复杂曲面等。过去四轴以上的数控机床作为美国的国家机密,做了技术出口限制。现在我国已能生产拥有自主知识产权的五轴联动数控机床。现在应用最广泛的是三轴联动的数控铣床,四轴以上的数控铣床一般都应用在军工、汽车和航天工业。

2. 加工中心

加工中心与数控铣床的区别在于加工中心备有可自动换刀的装置和刀库系统,刀库中存放着若干事先准备好的刀具和检具,可对工件进行多工序加工。加工中心也分为立式和卧式

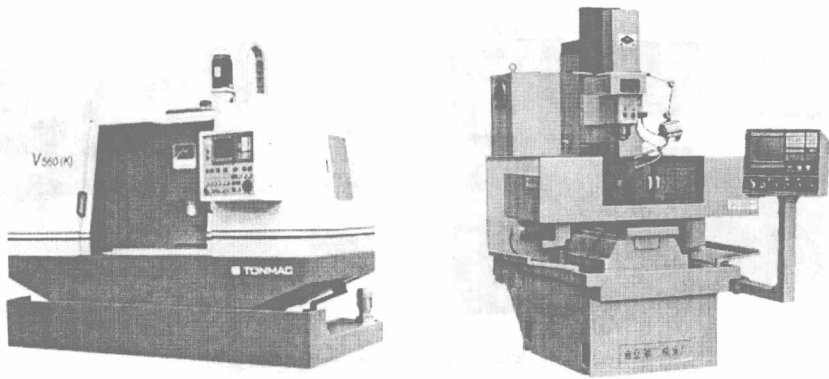


图 1-3 各类数控铣床的示意图

两种(图 1-4)。加工中心在模具制造行业的应用非常广泛,各种平面轮廓和立体曲面的零件都可在加工中心上加工。加工中心同样可以进行钻、扩、铰、镗孔和攻螺纹等加工。但加工中心价格较为昂贵,不是实力雄厚的模具厂较难有实力购置。

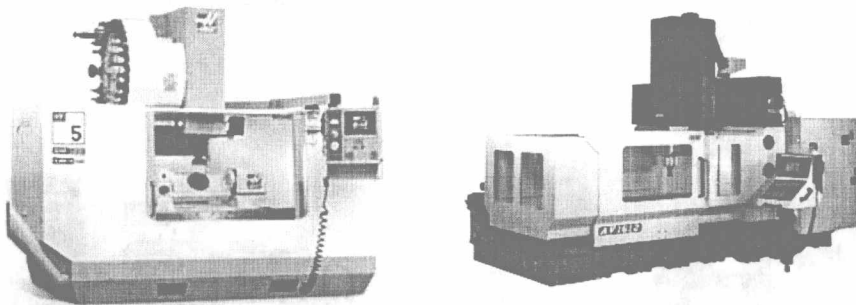


图 1-4 加工中心示意图

3. 数控车床

数控车床是目前应用较为广泛的一种数控机床,主要用于轴类和盘类等回转体零件的车、钻、铰、镗孔和攻螺纹等加工(图 1-5)。一般能自动完成内外圆柱面、圆锥面、球面、圆柱螺纹、圆锥螺纹、切槽及端面等工序的切削加工。普通数控车床只具备两轴的联动功能(想想为什么?)。如果在普通数控车床的基础上,增加 C 轴和动力头,更高级的还带刀库,则成为车削加工中心,这种数控车床的加工功能大大增强,除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。

4. 线切割机床

线切割机床是在模具加工中应用较为广泛的一种数控机床,主要分为慢走丝线切割和快走丝线切割两种,主要用于圆孔、异型孔以及各种轮廓的加工。它和下面将介绍的电火花加工都是利用电极放电腐蚀的原理来加工工件的。放电加工的一大优势就是与工件的硬度无关,只与工件的导电性有关,而这正是刀具加工的一大软肋。线切割的电极一般为钼丝(快

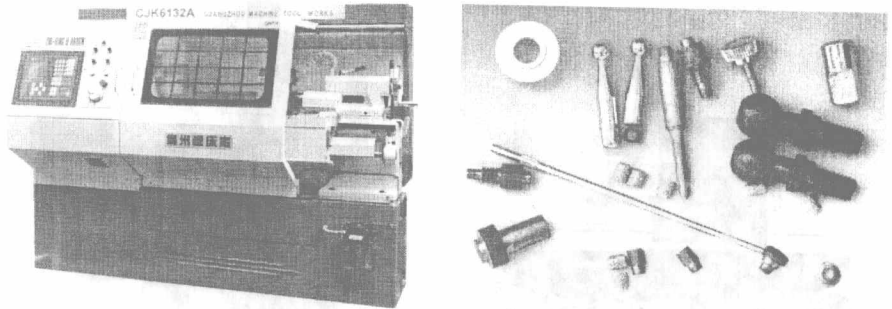


图 1-5 数控车床示意图(右为加工的零件)

走丝线切割机床)和铜丝(慢走丝线切割机床)。线切割机床都具备两轴的联动功能,有些还具有四轴联动的功能。

5. 电火花机床

电火花机床也是在模具加工中应用较为广泛的一种数控机床,主要用于模具型腔的放电加工(图 1-6)。在模具型腔中,有些地方是刀具不易加工的,这就要制作铜电极(铜公),铜公一般在数铣上加工,然后以铜公作为电极加工型腔,把铜公的外形复制到型腔上。常用的电极一般为紫铜和石墨。

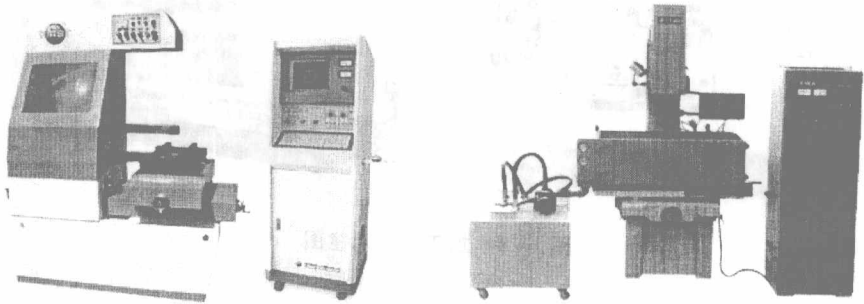


图 1-6 放电加工机床示意图(左为线切割机床,右为电火花机床)

6. 其他数控机床

除了以上在模具行业较常用的数控机床以外,还有一些其他类型的数控机床,如专门用来镗孔的数控镗孔,专门用来钻孔、攻螺纹的数控钻孔,专门用来磨削各种表面的数控磨床等。

1.3 数控机床的坐标系统

数控机床的坐标系统,包括坐标系、坐标原点和运动方向三个方面。坐标系统对于数控加工及编程,是十分重要的概念。每一个数控编程员和数控机床的操作者,都必须对数控机床的坐标系有一个完整、正确、清晰的理解,否则,程序编制将发生混乱,操作时更容易发生

事故。为了使数控系统规范化、标准化、开放化及简化数控编程,ISO(国际标准化组织)对数控机床的坐标系作了若干规定。

1.3.1 坐标系

数控机床的坐标系采用右手直角笛卡尔坐标系,其基本坐标轴为 X 、 Y 、 Z 直角坐标,相对于每个坐标轴的旋转运动坐标为 A 、 B 、 C 。判断方法是右手定则:伸出右手,大拇指指向 X 轴,食指指向 Y 轴,则中指的指向为 Z 轴的正方向(中指垂直于手掌平面)。 A 、 B 、 C 旋转方向判断方法是右手螺旋原则:右手握住轴,大拇指指向轴的正方向,则四指弯曲的方向为相对于此轴的正方向。如图1-7所示。

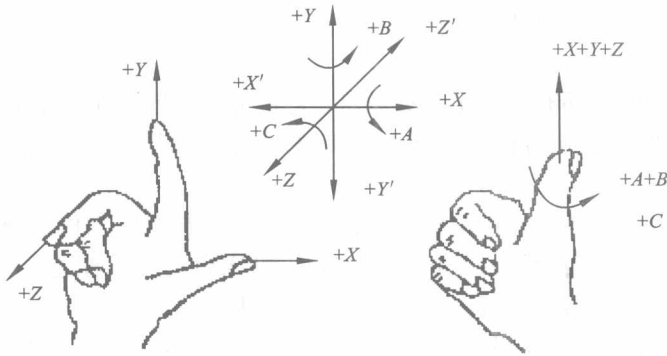


图1-7 右手直角笛卡尔坐标系

1.3.2 坐标轴及其运动方向

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,数控机床的坐标运动指的是刀具相对于工件的运动。

ISO(国际标准化组织)对数控机床的坐标轴及其运动方向均有一定的规定,图1-8描述了两坐标数控车床及三坐标数控镗铣床(或加工中心)的坐标轴及其运动方向。

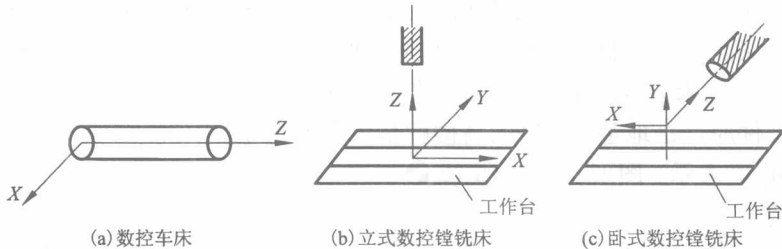


图1-8 数控机床的坐标轴及其运动方向

Z 轴定义为平行于机床主轴的坐标轴,其正方向定义为从工作台到刀具夹持的方向,即刀具远离工作台的运动方向。

X 轴定义为水平的、平行于工件装夹平面的坐标轴,它平行于主要的切削方向,且以此方向为正方向。 Y 轴的正方向则根据 X 和 Z 轴按右手法则确定。

旋转坐标轴 A 、 B 和 C 的正方向相应地在 X 、 Y 、 Z 坐标轴正方向上,按右手螺纹前进的方向来确定。

1.3.3 坐标原点

1. 机床原点

现代数控机床都有一个基准位置,称为机床原点或机床绝对原点,是机床制造商设置在机床上的一个物理位置,其作用是使机床与控制系统同步,建立测量机床运动坐标的起始点。可理解为基于制造的基准点。

机床原点用 M 表示。图形符号为 \oplus 。

2. 机床参考点

与机床原点相对应的还有一个机床参考点,它是机床制造商在机床上用行程开关设置的一个物理位置,与机床原点的相对位置是固定的,机床出厂之前由机床制造商精密测量确定。

因为数控装置上电时并不知道机床零点,为了正确地在机床工作时建立机床坐标系,在每个坐标轴的移动范围内设置一个机床参考点,机床启动时,通过机动或手动回参考点,以建立机床坐标系。机床参考点可理解为基于测量的基准点。

数控机床只要通电启动,首先就要回参考点。回参考点后,机床坐标一般显示为0。

机床参考点用 R 表示,图形符号为 \ominus 。

3. 工件原点

对于数控编程和数控加工来说,还有一个重要的原点就是工件原点,是程序员在数控编程过程中定义在工件上的几何基准点,有时也称为程序原点。

工件原点的设置解决了数控程序员一些大问题。数控程序从某种意义上说,可认为是坐标化的指令集合。如果以机床原点或参考点为编程坐标原点,则数控程序员编程时,就不得不在数控机床旁一边测坐标,一边编程序,很容易出错。而且下次加工同一个零件,只要工件相对位置变化了,又要重新编程,这可不是一个好主意。工件原点则把程序员从这“苦差事”中解放出来了,程序员不要管具体机床的机床原点和参考点在什么地方,自己在工件上定义一个原点,工件上所有点的坐标都相对于这个原点有个坐标值,程序员据此编程。然后由操作员通过对刀的手段,获得工件原点在机床坐标系下的坐标,从而数控机床就能间接获得图中其他点相对机床原点的坐标,把零件加工出来。

可以说,工件原点是地基,程序的高楼就是依它而建立。

工作原点用 W 表示,图形符号为 \oplus 或 \ominus 。

4. 装夹原点

除了上述三个基本原点以外,有的机床还有一个重要的原点,即装夹原点。装夹原点常见于带回转(或摆动)工作台的数控机床或加工中心,一般是机床工作台上的一个固定点,比如回转中心。

装夹原点用 C 表示,图形符号为 \oplus 。

上述原点的关系如图1-9所示。

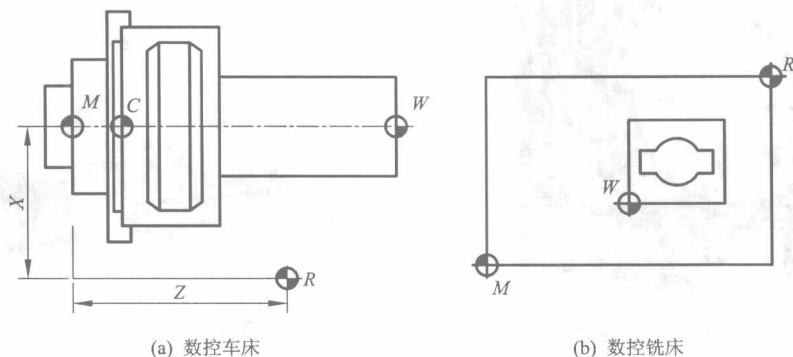


图 1-9 数控机床的坐标原点

1.4 数控机床的特点与发展方向

1.4.1 数控机床的特点

数控机床较普通机床具有以下特点：

1. 进给传动机构简单

数控机床的进给传动机构一般为滚珠丝杠副，伺服电动机与滚珠丝杠直接或通过同步带连接，传动机构简单。滚珠丝杠副的特点是通过预紧可消除反向间隙，因而传动精度高，运动平稳，如图 1-10 所示。

2. 工艺复合化和功能集成化

加工中心是在普通镗铣类数控机床基础上最先发展起来的多工序集中、连续加工的数控机床，可以进行铣、镗、钻、攻螺纹等工序的复合加工。加工中心具有自动换刀功能，刀具的更换一般通过刀库、换刀机械手和主轴内的工具夹紧装置的协调动作来实现。为实现多面加工，卧式加工中心一般带有多齿盘分度回转工作台。因此，ATC(自动刀具交换装置，如图 1-11 所示)和回转工作台是加工中心中最基本的结构。在此基础上进一步向两个方向发展：一是为适应复杂形状零件加工的四坐标、五坐标加工中心，其回转工作台采用了由伺服电动机驱动的双导程精密蜗杆副任意分度机构，主轴箱则采用了能作俯仰或摆动的进给机构；二是为能进行除一个水平方向的多面加工外，还能对顶面进行加工的五面体加工中心(图 1-12)。

除此之外，排屑、冷却、润滑和防护等自动化装置在上述两类复合加工机床上也是必不可少的。卧式加工中心带有两个或更多托盘的 APC(自动交换工作台系统)已很普遍。为实现更多功能集成化的要求，有的还带有自动刀具测量装置、刀具破损及寿命监控装置、工件检测装置和精度监控装置等。

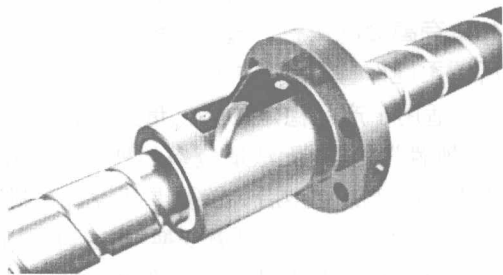


图 1-10 滚珠丝杠副

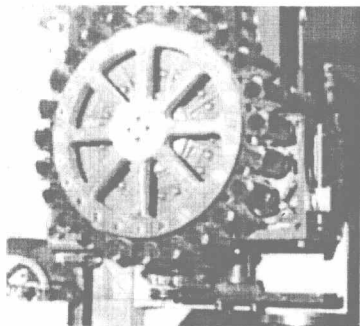


图 1-11 自动刀具交换装置(ATC)

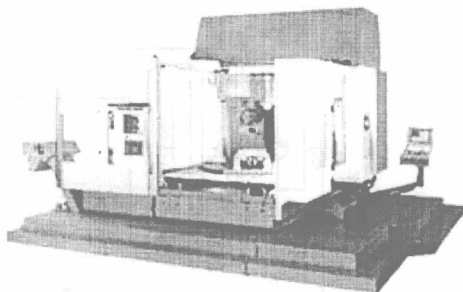


图 1-12 五面体加工中心

目前,工艺复合化和功能集成化的潮流,正沿纵向和横向深入发展,各种新结构、新機種不断出现。在纵向,加工中心、数控车床及车削加工中心,正向高速化、精密化、高效化和柔性化方向发展;在横向,复合加工技术等在同类技术领域内的复合,而且正向不同类技术领域内的复合发展,如可进行铣削加工和放电加工的复合机床。

3. 能加工复杂型面

因数控机床能实现多坐标联动而容易实现许多普通机床难以完成、无法加工的空间曲线与曲面。因此,数控机床首先在对空间曲线和曲面要求较高的航空、航天领域得到应用,并在复杂型面的模具加工中得到广泛应用。

4. 具有高度的柔性、适用性强

所谓柔性即“灵活”、“可变”。如许多企业采用的组合机床、专机是专门针对某种零件而设计的,适用于产品稳定的大批量生产,大幅度提高生产率和产品质量,并降低成本。但这类设备“刚性”太强,无法适应多品种、小批量生产。一般的机械仿形加工机床能加工一些较复杂零件,但产品变型后,必须重新设计、制造靠模等,生产准备周期较长。而采用数控机床,当加工对象改变后,只需变换加工程序、调整刀具参数等,生产准备周期大大缩短,故特别适合于多品种、中小批量和复杂型面的零件加工,因此在模具产业应用非常广泛。数控机床的这种特性对企业激烈的市场竞争中不断开发新产品发挥了很大的作用。

5. 加工精度高、质量稳定

数控系统每输出一个脉冲,机床移动部件的移动量称为脉冲当量,数控机床的脉冲当量一般为 0.001mm ,高精度的数控机床可达 0.0001mm 甚至更高,其运动分辨率远高于普通机床。此外,数控机床具有位置检测装置,可将移动部件的实际位移量或丝杠、伺服电动机的转角反馈到数控系统,并进行补偿。因此,可获得比机床本身精度还高的加工精度。

数控机床加工零件的质量由机床保证,无人为操作误差的影响,所以同一批次零件的尺寸一致性好,质量稳定。

6. 加工生产效率高

数控机床能够减少零件加工所需的机动时间与辅助时间。数控机床的主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大,每一道工序都能选用最佳的切削用量,良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削,从而有效地节省了机动时间。数控机床的移动部件在定位中均采用了加速和减速措施,并可选用很高的空行程运动速度,缩短了定位和非切削时

间。对于复杂的零件可以采用计算机辅助编程(如 masterCAM, pro/E, Ug, Cimatron 等, 这些软件的界面如图 1-13 ~ 图 1-16 所示), 这在过去是不可想象的事情, 而现在在沿海地区可以说是一个高级数控程序员所必备的技能了。数控机床上零件往往安装在简单的定位夹紧装置中, 不需设计专用的夹具, 从而加速了生产准备过程。尤其是在使用带有刀库和自动换刀装置的加工中心机床时, 工件往往只需进行一次装夹就能完成所有的加工工序, 减少了半成品的周转时间, 生产效率的提高更为明显。此外, 数控程序一次编程, 多次使用, 因而产品尺寸一致性好, 减少了次品率的检验时间。由于数控机床加工零件不需手工制作靠模、凸轮、钻模板等许多专用工装, 使生产成本进一步降低。

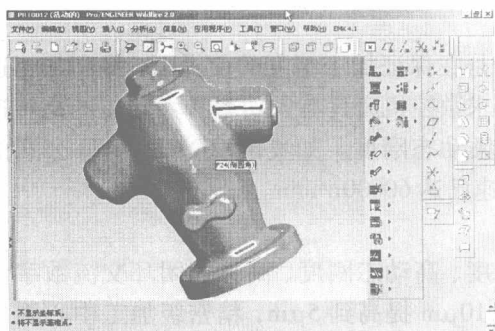


图 1-13 pro/E 野火 2.0 版软件界面

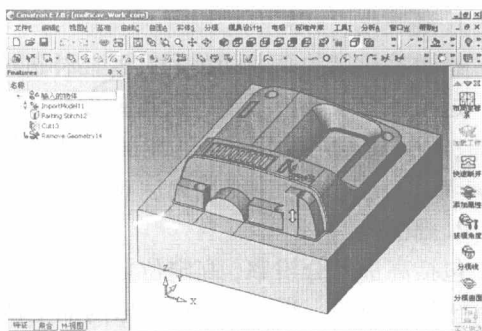


图 1-14 Cimatron E 7.0 软件界面

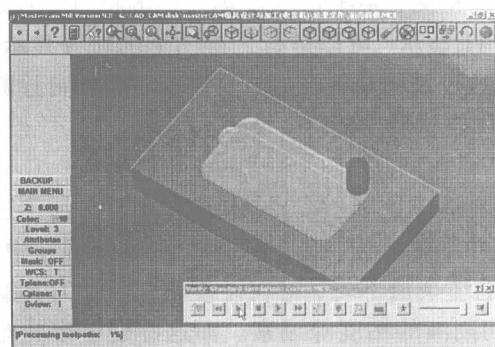


图 1-15 masterCAM 9.0 版软件界面

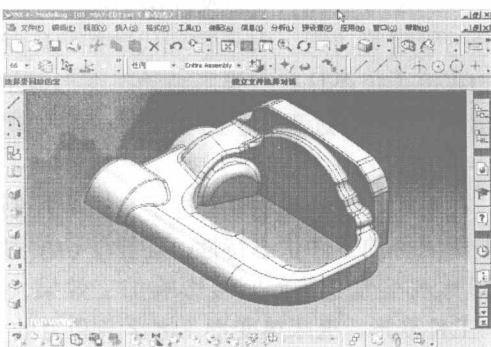


图 1-16 UGNX 4.0 版软件界面

7. 减轻了操作者的劳动强度

数控机床的动作是由数控程序控制的, 操作者一般只需装卸零件和更换刀具并监视机床的运行, 因而减轻了操作者的劳动强度, 实现加工自动化和操作简单化。

8. 具有故障诊断的能力

现代 CNC 系统一般具备软件查找故障的功能, 包括查找计算机本身和外围设备的故障。现代普及率极高的数控系统有: 日本的 FANUC(法兰克), MITSUBISHI(三菱), 德国的 simumer-ik(西门子)等, 都具有故障诊断功能。计算机本身和外围设备的故障可通过 CRT 显示屏上显示的菜单和按键自动地查找出来, 并能诊断出故障的种类, 极大地提高了检修的效率。