



职业院校机电类专业规划教材
数控技术应用专业教学用书

数控机床编程与操作

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG YU CAOZUO

刘英超 ● 主编



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

职业教育院校机电类专业规划教材
数控技术应用专业教学用书

数控机床编程与操作

主 编 刘英超
副主编 蔡 萍 钟 珊
参 编 公茂强 赵大民
主 审 张春芝



机械工业出版社

本书是根据教育部现阶段技能型人才培养培训方案的指导思想和最新的专业教学计划编写的。本书围绕数控机床的组成,以培养数控专业操作型人才、紧贴岗位实际为目标,分别讲述了数控车床编程与操作、数控铣床(加工中心)编程与操作、数控电加工与编程及 MasterCAM X² 软件编程四部分内容。

本书可作为职业院校数控技术应用专业教学用书,也可供从事数控机床工作的工程技术人员作为参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程与操作/刘英超主编. —北京:机械工业出版社, 2010. 1

职业教育院校机电类专业规划教材·数控技术应用专业教学用书

ISBN 978 - 7 - 111 - 29381 - 1

I. 数… II. 刘… III. ①数控机床-程序设计-专业学校-教材②数控机床-操作-专业学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 235660 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
策划编辑:汪光灿 责任编辑:张云鹏 版式设计:霍永明
封面设计:陈沛 责任校对:吴美英 责任印制:乔宇
北京京丰印刷厂印刷

2010 年 2 月第 1 版 · 第 1 次印刷

184mm × 260mm · 15.75 印张 · 385 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 29381 - 1

定价: 27.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010) 68993821

封面防伪标均为盗版

前 言

本书是根据教育部现阶段技能型人才培养培训方案的指导思想和最新的专业教学计划要求，并结合编者在数控机床编程与操作方面的教学与工作经验编写的。

数控机床是数字控制机床的简称，是一种装有程序控制系统，并综合应用计算机、自动控制 and 自动检测等技术的自动化机床。随着科学技术及制造业的迅猛发展，数控机床已成为衡量一个国家机械制造工业水平的重要标志。与此同时，制造业企业急需大批能熟练掌握数控机床编程、操作的工程技术人员。

针对职业教育“突出实际技能操作培养”的要求，本书在编写过程中，充分考虑到职业教育要大力加强实践环节的特点，围绕数控机床的组成，以培养数控专业操作型人才、紧贴岗位实际为目标，分别讲述了数控车床编程与操作、数控铣床（加工中心）编程与操作、数控电加工与编程及 MasterCAM X² 软件编程四部分内容。

本书由刘英超担任主编，蔡萍、钟珊担任副主编。其中，第一章由沈阳铁路机械学校赵大民编写，第二章由北京农业职业学院刘英超编写，第三章由广西玉林市机电工程学校钟珊编写，第四章由北京农业职业学院蔡萍、吉林机电工程学校公茂强编写。全书由北京工业职业技术学院张春芝副教授主审。主审在审阅过程中提出了许多宝贵的修改意见，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中错误和不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者



目 录

前言	1
第一章 数控车床编程与操作	1
第一节 数控车床	1
第二节 数控车床编程基础	11
第三节 数控车床操作要领	16
第四节 数控车床编程	29
第五节 数控车床典型零件加工实例	52
思考练习题	57
第二章 数控铣床(加工中心)编程与操作	61
第一节 数控铣床	61
第二节 数控铣床编程基础	82
第三节 数控铣床编程	94
第四节 数控铣床操作要领	126
第五节 数控铣床典型零件加工实例	145
思考练习题	151
第三章 数控电加工与编程	156
第一节 数控电火花机床	156
第二节 数控电火花线切割机床	161
第三节 数控电火花线切割编程基础	163
第四节 数控电火花线切割机床操作要领	168
第五节 数控电火花线切割加工实例	173
思考练习题	176
第四章 MasterCAM X² 软件编程	178
第一节 计算机辅助编程及 MasterCAM X ² 软件简介	178
第二节 MasterCAM X ² 在模具加工中的应用实例	219
思考练习题	243
参考文献	245

第一章 数控车床编程与操作

学习目标

- 【知识目标】
 - 了解数控车床，掌握数控车床基本工艺及刀具的使用方法。
 - 掌握数控车床编程的基本知识。
 - 掌握数控车床的操作与零件加工方法。
- 【能力目标】
 - 学会数控车床编程的基本方法，能够正确地操作数控车床。

第一节 数控车床

本节是全书的开篇，是数控加工的基础知识，本节的学习重点在于合理选用数控车床的刀具，了解数控车削的工艺特点，掌握 FANUC-0i 系统的数控车床模拟仿真系统的基本操作要领。

学习目标

- 【知识目标】
 - 了解数控车床，掌握数控车床刀具的使用方法。
 - 了解数控车削的工艺特点。
- 【能力目标】
 - 学会 FANUC-0i 模拟仿真系统的基本操作。
 - 学会合理选用数控车床刀具。

一、数控车床的组成与分类

图 1-1 所示的是常见的数控车床。它的总体布局和结构形式与普通卧式车床类似，但加工范围比普通卧式车床宽得多，是数控加工中应用较多的数控机床，约占数控机床的 25%。

1. 数控车床的分类

按数控车床主轴位置的不同分成立式数控车床（图 1-2）和卧式数控车床（图 1-3）两种。其中，立式数控车床主要用于加工径向尺寸大、轴向尺寸小的大型复杂零件。

2. 数控车床的功能

数控车床主要用来加工轴类及盘类等回转零件，并能车削内外圆柱面、圆锥面、圆弧面和各种成形回转表面，能车螺纹及对盘类零件进行钻、扩、铰和车孔等加工。所以，数控车床特别适合于加工形状复杂的轴类、盘类零件。

数控车床可以车削由任意直线和曲线组成的形状复杂的回转体零件，如加工壳体零件封

闭内腔的成形面，如图 1-4 所示，这是普通卧式车床无法加工的。

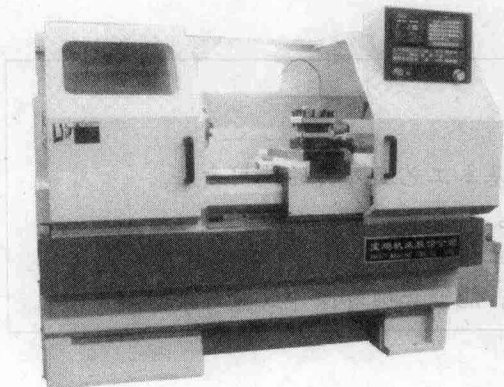


图 1-1 数控车床



图 1-2 立式数控车床

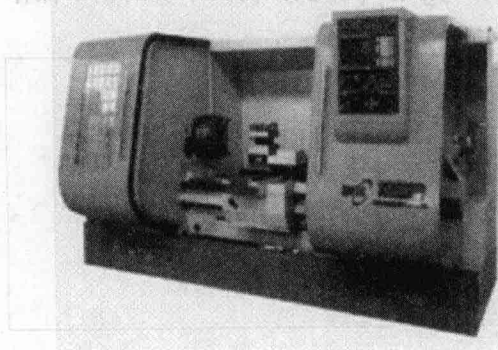


图 1-3 卧式数控车床

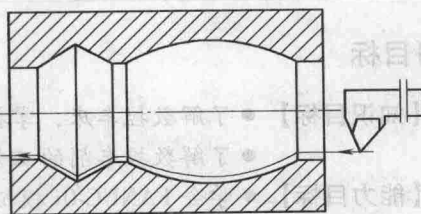


图 1-4 加工零件内腔成形面

3. 数控车床的组成及特点

数控车床主要由以下几部分组成：

- (1) 车床主机 它是数控车床的机械部件，包括床身、主轴箱、刀架、尾座、进给传动机构等。
- (2) 数控装置 它是数控车床的控制核心，其主体是控制数控系统运行的计算机。
- (3) 伺服驱动系统 它是数控车床切削工作的动力部分，主要实现主运动和进给运动。
- (4) 辅助装置 它是指数控车床的一些配套部件，包括液压传动系统、冷却系统、润滑系统和排屑装置等。

从总体上看，数控车床没有脱离普通卧式车床的结构形式，但是数控车床的进给系统与

普通卧式车床的进给系统在结构上存在着本质的差别，普通卧式车床的进给运动是经过交换齿轮架、进给箱、溜板箱传到刀架实现纵向和横向进给运动的。而数控车床是采用伺服电动机经滚珠丝杠传到滑板和刀架，实现 Z 向（纵向）和 X 向（横向）进给运动，其结构较普通卧式车床大为简化。

二、数控车削加工工艺的特点

数控车床的加工工艺、所用刀具等与普通卧式车床同出一源，但不同的是数控车床的加工过程是按预先编制好的程序，在计算机的控制下自动执行的。普通卧式车床的加工工艺是由操作者在操控车床时一步一步实现的。数控车床的加工工艺是预先在所编制的程序中体现的，由车床自动实现。下面主要介绍数控车床加工路线及切削用量的确定。

1. 加工路线的确定

加工路线是刀具在整个加工工序中相对于零件的运动轨迹，它是编写程序的主要依据，加工顺序一般按先粗后精、先近后远的原则确定。先粗后精即按粗车→半精车→精车的顺序进行，粗车将工件表面上的大部分加工余量车掉，如图 1-5 所示，车去双点画线部分，为精加工留下较少且均匀的加工余量。当粗车后所留余量的均匀性不满足精加工的要求时，则安排半精车。精车要保证加工精度要求，按图样尺寸，一次车出零件轮廓。先近后远即离对刀点最近的部位先加工，远的部位后加工，这种加工方法可以缩短刀具移动距离，减少空行程，还有利于保持坯件或半成品的刚性，改善其切削条件。

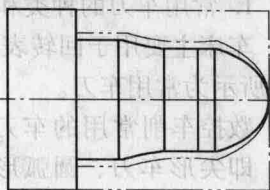


图 1-5 先粗后精

2. 切削用量的选择

(1) 背吃刀量（切削深度） a_p 的确定 背吃刀量主要根据车床、夹具、刀具、零件的刚度等因素决定。粗加工时，在条件允许的情况下，尽可能选择较大的背吃刀量，以减少走刀次数，提高生产率。精加工时，通常选较小的背吃刀量，以保证加工精度及表面粗糙度。

(2) 进给量 f 的确定 粗加工时，在保证刀杆、车床、刀具、零件刚度的前提下，尽可能选择大的 f 值。精加工时，进给量主要受表面粗糙度的限制，当表面粗糙度要求较高时，应选较小的 f 值。

(3) 主轴转速 n 的确定 在保证刀具的使用寿命及切削负荷不超过机床额定功率的情况下选定切削速度。粗加工时，背吃刀量和进给量均较大，故选较低的切削速度。精加工时，则选较高的切削速度。主轴转速要根据允许的切削速度 v 和工件直径 d 来选择。由切削速度 v 计算主轴转速的公式为

$$n = \frac{1000v}{\pi d}$$

式中 d ——零件直径 (mm)；

n ——主轴转速 (r/min)；

v ——切削速度 (m/min)。

切削用量的具体数值可参阅机床说明书、切削用量手册，并结合实际经验确定，表 1-1 是切削用量选择参考表。

表 1-1 切削用量选择参考表

零件材料及毛坯尺寸	加工内容	背吃刀量 a_p /mm	主轴转速 $n/(r/min)$	进给量 $f/(mm/r)$	刀具材料
45 钢, 直径 $\phi 20 \sim \phi 60$ 坯料, 内孔直径 $\phi 13 \sim \phi 20mm$	粗加工	1 ~ 1.25	300 ~ 800	0.15 ~ 0.4	硬质合金 (YT类)
	精加工	0.25 ~ 0.5	600 ~ 1000	0.08 ~ 0.2	
	车槽、车断 (车刀宽度 3 ~ 5mm)		300 ~ 500	0.05 ~ 0.1	高速钢
	钻中心孔		300 ~ 800	0.1 ~ 0.2	
	钻孔		300 ~ 500	0.05 ~ 0.2	

三、数控车床刀具的类型及选用

1. 常用车刀的种类和用途

车床主要用于回转表面的加工, 如内外圆柱面、圆锥面、圆弧面、螺纹等车削加工。图 1-6 所示为常用车刀。

数控车削常用的车刀一般分为三类, 即尖形车刀、圆弧形车刀和成形车刀。

1) 尖形车刀如图 1-7 所示, 这类车刀的刀尖 (同时也称为其刀位点) 由直线形的主、副切削刃构成, 如 90° 内外圆车刀、左右端面车刀、车断刀以及刀尖倒棱很小的各种外圆和内孔车刀。尖形车刀主要用于车削内外轮廓、直线沟槽等直线型表面。

2) 圆弧形车刀是较为特殊的数控加工用车刀, 如图 1-8 所示。其特征是, 构成主切削刃的刀刃形状为一圆度误差或线轮廓误差很小的圆弧, 该圆弧刃每一点都是刀具的切削点, 因此, 刀位点不在圆弧上, 而在该圆弧刃的圆心上。圆弧形车刀主要用于加工有光滑连接 (凹形) 的成形面及精度、表面质量要求高的表面。

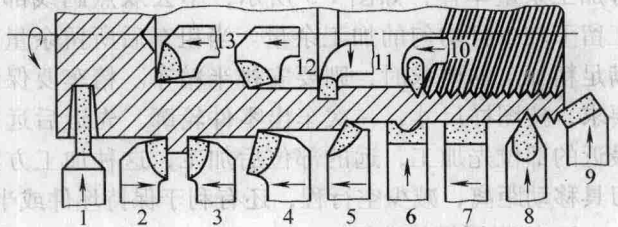


图 1-6 常用车刀

- 1—车断刀 2— 90° 左偏刀 3— 90° 右偏刀 4—弯头车刀
- 5—直头车刀 6—成形车刀 7—宽刃精车刀 8—外螺纹车刀
- 9—端面车刀 10—内螺纹车刀 11—内槽车刀
- 12—通孔车刀 13—不通孔车刀

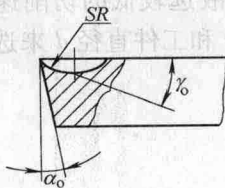


图 1-7 尖形车刀

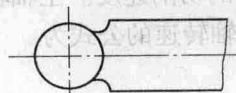


图 1-8 圆弧形车刀

选择车刀圆弧半径的大小时, 应考虑两点:

- ①车刀切削刃的圆弧半径应当小于等于零件凹形轮廓上的最小半径, 以免发生加工干涉。

②该半径不宜选择太小，否则既难于制造，还会因其切削刃强度太弱或刀体散热能力差，使车刀容易受到损坏。

3) 成形车刀俗称样板车刀，其加工零件的轮廓形状完全由车刀的刀刃形状和尺寸决定。数控加工中，应尽量少用或不用成形车刀。

2. 机夹可转位车刀

为了减少转刀时间和方便对刀，便于实现加工自动化，数控加工过程中应尽量选用机夹可转位车刀，如图 1-9 所示。车刀的刀片为多边形，有多条切削刃，当某条切削刃磨损钝化后，只需松开夹固元件，将刀片转一个位置便可继续使用。其最大优点是车刀几何角度完全由刀片保证，切削性能稳定，刀杆和刀片已标准化，加工质量好。

刀片的形状主要根据被加工零件的表面形状、切削方法、使用寿命和刀片的转位次等因数选取。常用硬质合金车刀刀片如图 1-10 所示。

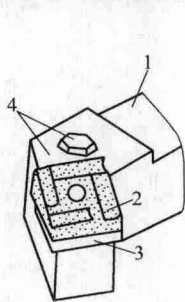


图 1-9 机夹可转位车刀结构

1—刀杆 2—刀片 3—刀垫
4—夹固元件

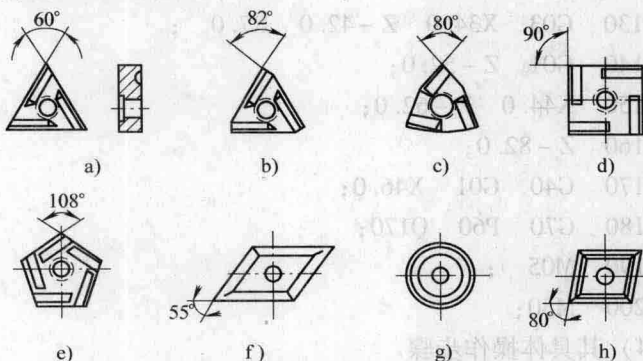


图 1-10 常用硬质合金车刀刀片

a) T型 b) F型 c) W型 d) S型
e) P型 f) D型 g) R型 h) C型

四、数控车床加工模拟演示

通过在数控加工仿真系统 (FANUC-0i) 车床上实际加工一个零件，快速学习 FANUC-0i 数控车床的基本使用方法。

加工图 1-11 所示零件。

(1) 加工准备 采用外圆加工方式，选取 V 形刀片，刀具长度 60mm，刀尖圆弧半径 0.4mm。选择直径 45mm，高 150mm 的圆柱形毛坯。采用直接试切对刀法设定工件坐标系。

(2) 加工步骤 选择机床，机床回零，安装零件，输入数控程序，安装刀具，对刀，自动加工。

(3) 数控参考程序

N10 M03 S600;

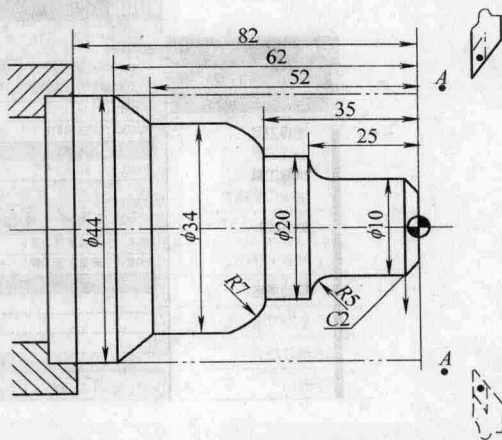


图 1-11 典型加工零件

```

N20 T0101;
N30 G01 X46.0 Z2.0;
N40 G71 U1.5 R4.0;
N50 G71 P60 Q170 U0.5 W0.2 F0.2;
N60 G42 G01 X0 F0.1;
N70 Z0;
N80 X6.0;
N90 X10.0 Z-2.0;
N100 Z-20.0;
N110 G02 X20.0 Z-25.0 R5.0;
N120 G01 Z-35.0;
N130 G03 X34.0 Z-42.0 R7.0 ;
N140 G01 Z-52.0;
N150 X44.0 Z-62.0;
N160 Z-82.0;
N170 G40 G01 X46.0;
N180 G70 P60 Q170;
N190 M05 ;
N200 M30;
    
```

(4) 其具体操作步骤

1) 进入系统。打开【开始】菜单，点击“程序”，找到“数控加工仿真系统”，先运行加密锁管理程序，再点击“数控加工仿真系统”，进入系统。

2) 选择机床。如图 1-12 所示，点击菜单“机床/选择机床”，在选择机床对话框中控制系统选择 FANUC-0i，机床类型选择“车床/沈阳机床厂”，并按【确定】按钮，此时界面如图 1-13 所示。

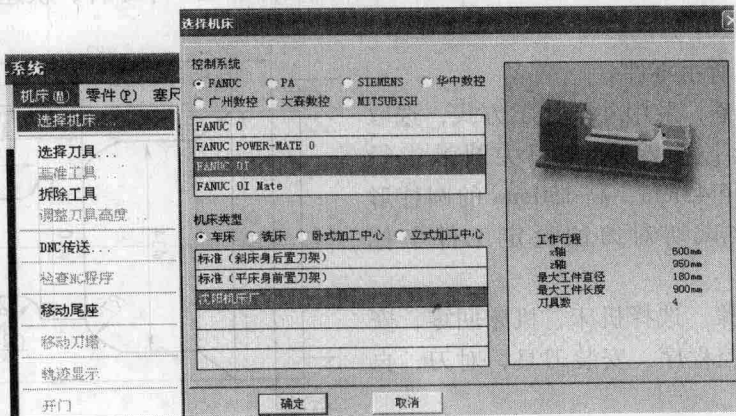


图 1-12 选择机床

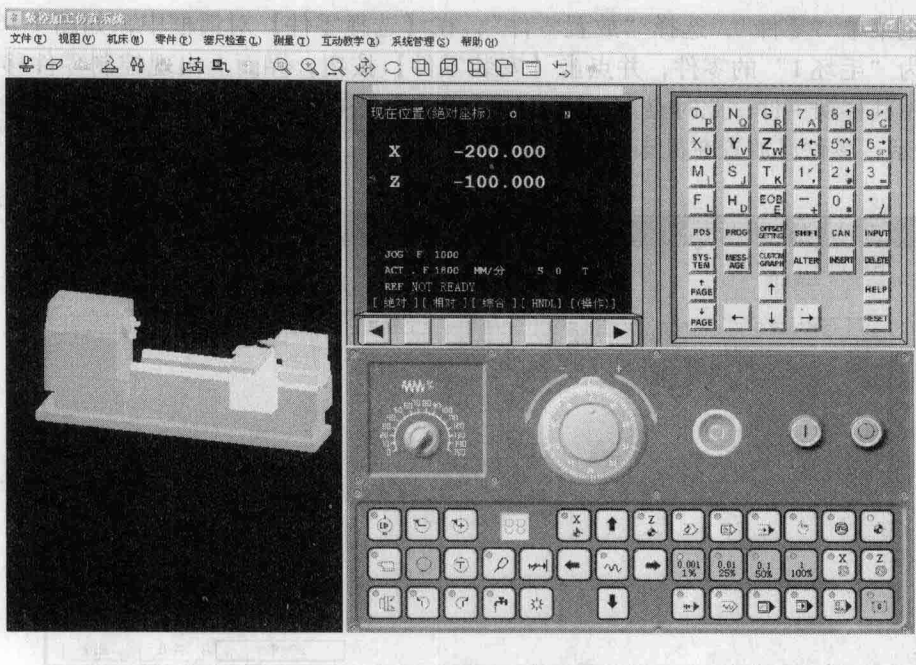







图 1-13 数控加工仿真系统

3) 开机。   打开电源和紧急停止开关。

4) 机床回参考点。先按机床控制面板上的按钮 ，选择回参考点模式，再分别按 X 方向、Z 方向回参考点按钮 、，机床回到参考点，此时，界面如图 1-14 所示。

5) 定义毛坯及放置零件。点击主菜单“零件”，选择“定义毛坯”项，在【定义毛坯】对话框中，如图 1-15 所示，可改写零件尺寸为直径 45mm，高 150mm，按【确定】按钮。

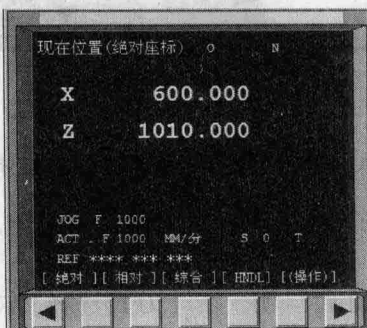


图 1-14 回参考点

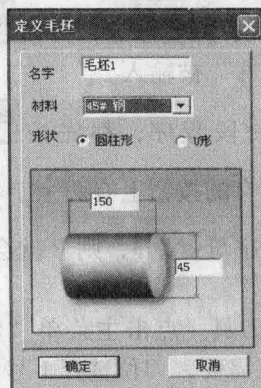


图 1-15 【定义毛坯】对话框

点击主菜单“零件”，选择“放置零件”，在【选择零件】对话框中，如图 1-16 所示，选取名称为“毛坯1”的零件，并点击【安装零件】按钮，界面上出现控制零件移动的面板，可以用其移动零件，此时点击面板上的【退出】按钮，关闭该面板，此时机床界面如图 1-17 所示，零件已放置在机床工作台上。

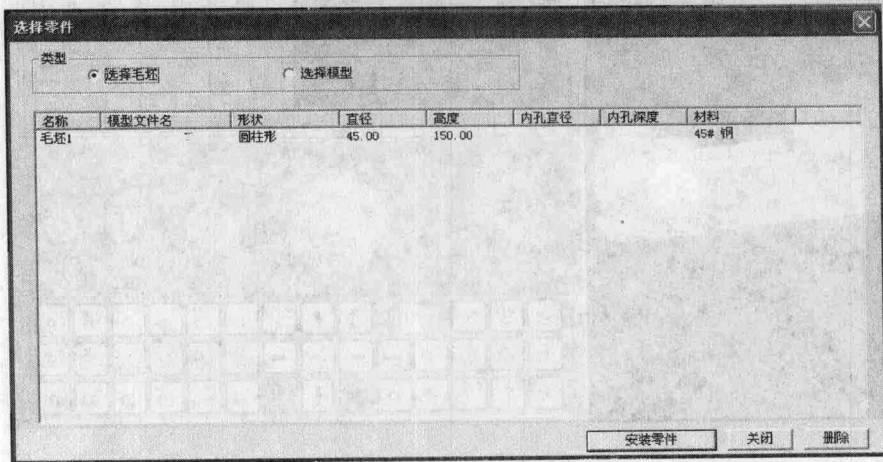




图 1-16 【选择零件】对话框

6) 数控程序输入。按控制面板的  键，其指示灯变亮，进入编辑模式，再按 MDI 键盘上的  键，界面转入编辑页面，点击 MDI 键盘上的【数字/字母】键，开始输入程序。

先输入程序名“00001”，按  键，程序名被输入；按  键，再按  键，程序结束符“；”被输入。

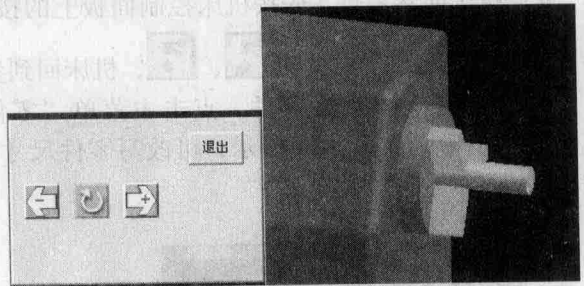







图 1-17 移动零件面板及机床上的零件

每输入一段程序，都先按  键，再按  键，有的按钮上有两个字符，如 ，当要输入下方的字母“P”时，就先按上档键 ，再按字母键 ，则 P 就会被输入。按照上述方法，直到全部程序输入完毕，如图 1-18 所示。

7) 安装刀具。点击主菜单“机床”，选择“选择刀具”项，在【刀具选择】对话框中，根据加工需要，刀位选择 1 号位，刀片选择“标准 V 形”刀片，刀柄选择“外圆”，长度选择“60”，刀尖圆弧半径 0.4mm，如图 1-19 所示，然后点击【确定】，刀具安装完毕。



图 1-18 数控程序输入

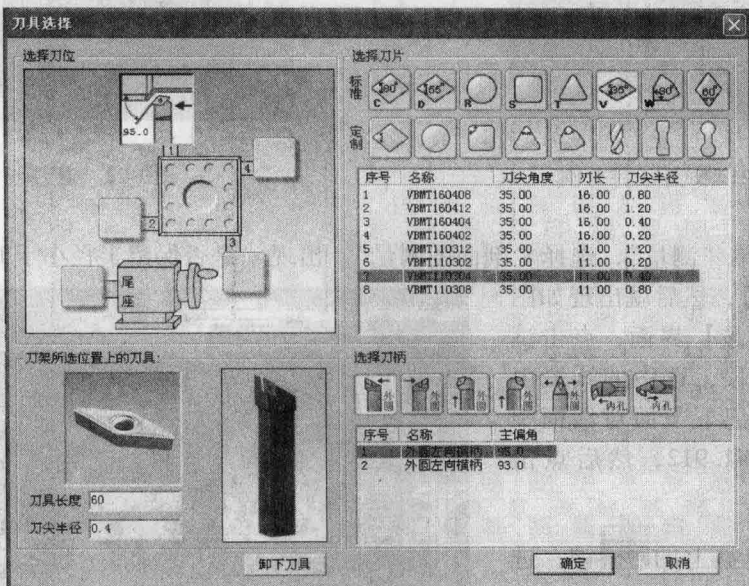









图 1-19 【刀具选择】对话框

8) 对刀。

① 点击按钮 ，其指示灯变亮，进入手动操作模式。点击主轴启动按钮 ，其指示灯变亮，主轴正转。按 X 轴方向进给按钮 ，按 Z 轴方向进给按钮 ，先将刀具移动到工件附近，如图 1-20 所示的大致位置。

② 点击按钮 ，其指示灯变亮，进入手轮操作模式。按下按钮 ，选择移动方向 Z。按下倍率选择按钮  中的 0.01，其指示灯变亮，选择手轮移

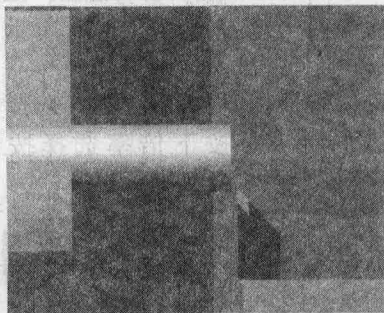





图 1-20 对刀

动的倍率0.01。顺时针转动手轮（用鼠标左键点击手轮  按钮），用所选刀具试车工件外圆，如图 1-21 所示。逆时针转动手轮（用鼠标右键点击手轮  按钮），将刀具沿零件表面退出，如图 1-22 所示，按下红色的主轴停止按钮 ，主轴停止转动。

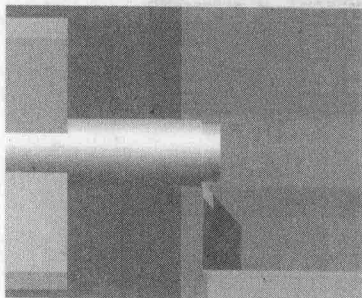


图 1-21 试车工件外圆

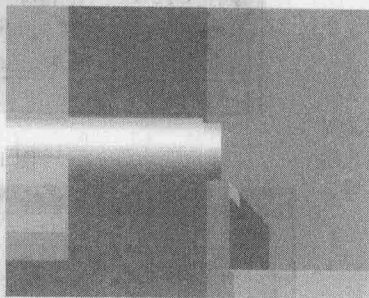
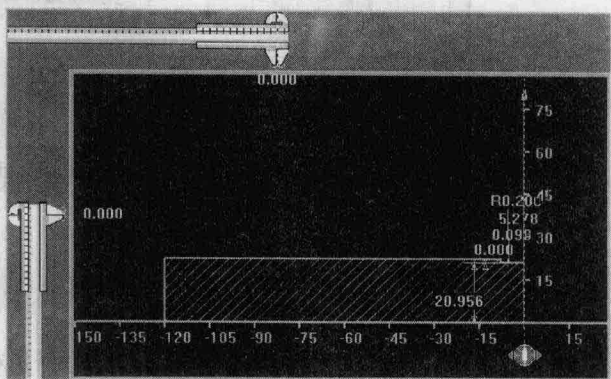






图 1-22 退刀



③点击主菜单“测量”，选择“剖面图测量”，出现“是否保留半径小于1的圆弧？”的提示，点击【是】，然后就出现如图 1-23 所示的【测量】界面，点击试车外圆时所切线段，选中的线段由红色变为黄色，记下下面对话框中对应的 X 的值 41.912，然后点击【退出】。



④按 MDI 键盘上的  键，进入【参数设定】界面。点击显示屏下面的软键 [形状]，将光标移到 X 上，输入“X41.912”，按软键 [测量]，系统自动计算出 X 的坐标值 211.056，如图 1-24 所示。

⑤点击主轴起动按钮 ，把刀具移到适当位置，如图 1-25 所示的

大致位置，按下按钮 ，选择移动方向为 X。按下倍率选择按钮  中的 0.01，顺时针转

动手轮（用鼠标左键点击手轮  按钮），车工件端面，如图 1-26 所示；再逆时针转动手轮（用鼠标右键点击手轮  按钮），将刀具沿端面退出，主轴停止转动。

手坯材145# 尺寸 X 120.00, Z 44.00 (mm)

标号	线型	X	Z	长度	半径	直线终点/圆弧角度
50	圆弧	41.912	-5.678	0.098	0.200	255.964, 284.469
51	直线	41.913	-5.579	0.002		20.956, 5.578
52	圆弧	41.912	-5.578	0.098	0.200	255.964, 284.474
53	圆弧	41.913	-5.479	0.100	0.200	255.526, 284.474
54	圆弧	41.913	-5.379	0.100	0.200	255.526, 284.469
55	直线	41.913	-5.279	0.002		20.956, 5.278
57	直线	41.913	-5.179	0.002		20.956, 5.178
58	圆弧	41.912	-5.178	0.098	0.200	255.964, 284.469

图 1-23 【测量】界面



图 1-24 【参数设定】界面

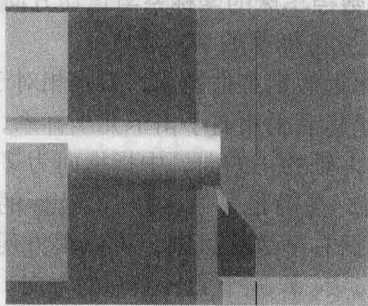


图 1-25 对刀

⑥按 MDI 键盘上的 **OFFSET** 键，进入【参数设定】界面。点击显示屏下面的软键 [形状]，将光标移到 Z 上，输入 Z0.0，按软键 [测量]，系统自动计算出 Z 的坐标值。

9) 自动加工。完成对刀，输入数控程序后，开始自动加工。点击按钮 **POS**，其指示灯变亮，进入坐标显示界面，再点击按钮 **→**，进入自动加工模式，按循环启动键 **▶**，程序开始运行，其仿真结果如图 1-27 所示。

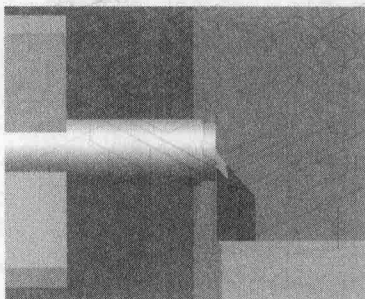


图 1-26 车端面

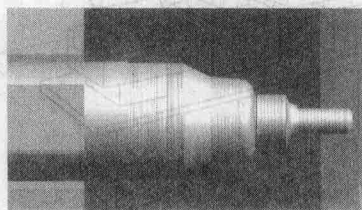


图 1-27 仿真结果

第二节 数控车床编程基础

数控车床的程序编制必须严格遵守相关的标准。数控编程是一项很严格的工作，首先必须掌握一些基础知识，才能学好编程的方法并编出正确的程序。

学习目标

- 【知识目标】**
- 掌握数控车床坐标系的定义。
 - 掌握数控加工程序的格式与组成。
 - 熟悉数控车床编程常用符号及指令代码。
- 【能力目标】**
- 掌握数控车床编程的入门知识，并能灵活运用。

一、数控车床的坐标系与运动方向的规定

1. 建立坐标系的基本原则

1) 永远假定工件静止，刀具相对于工件移动。

2) 坐标系采用右手笛卡儿坐标系，如图 1-28 所示，大拇指的方向为 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。在确定了 X、Y、Z 坐标的基础上，根据右手螺旋法则，可以很方便地确定出 A、B、C 三个旋转坐标的方向。

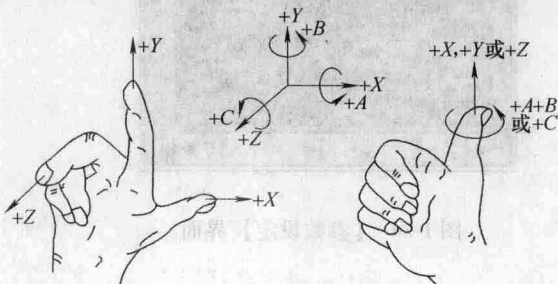


图 1-28 右手笛卡儿坐标系

3) 规定 Z 坐标的运动由传递切削动力的主轴决定，与主轴轴线平行的坐标轴即为 Z 轴，X 轴为水平方向，平行于工件装夹面并与 Z 轴垂直。

4) 规定以刀具远离工件的方向为坐标轴的正方向。

依据以上的原则，当车床为前置刀架时，X 轴正向向前，指向操作者，如图 1-29 所示。当机床为后置刀架时，X 轴正向向后，背离操作者，如图 1-30 所示。

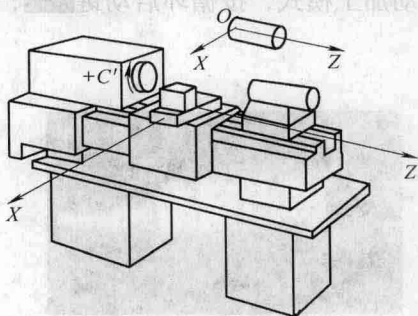


图 1-29 水平床身前置刀架式数控车床的坐标系

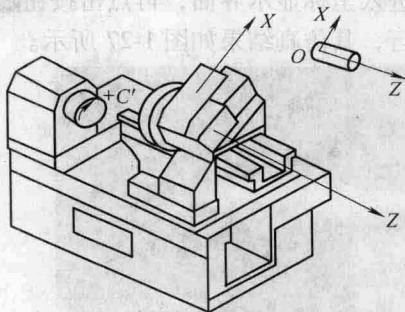


图 1-30 倾斜床身后置刀架式数控车床的坐标系

2. 机床坐标系

机床坐标系是以机床原点为坐标系原点建立起来的 OZX 坐标系。

(1) 机床原点 机床原点又称机械原点，即机床坐标系的原点，是机床上的一个固定点，其位置是由机床设计和制造单位确定的，通常不允许用户改变。数控车床的机床原点一般为主轴回转中心与卡盘后端面的交点，如图 1-31 所示。

(2) 机床参考点 机床参考点也是机床上的一个固定点，它是用机械档块或电气装置来限制刀架移动的极限位置。作用主要是用来给机床坐标系一个定位。因为如果每次开机后无论刀架停留在哪个位置，系统都把当前位置设定成 (0, 0)，这就会造成基准的不统一。

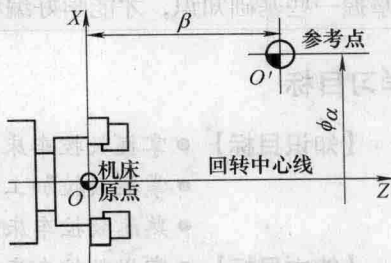


图 1-31 机床原点