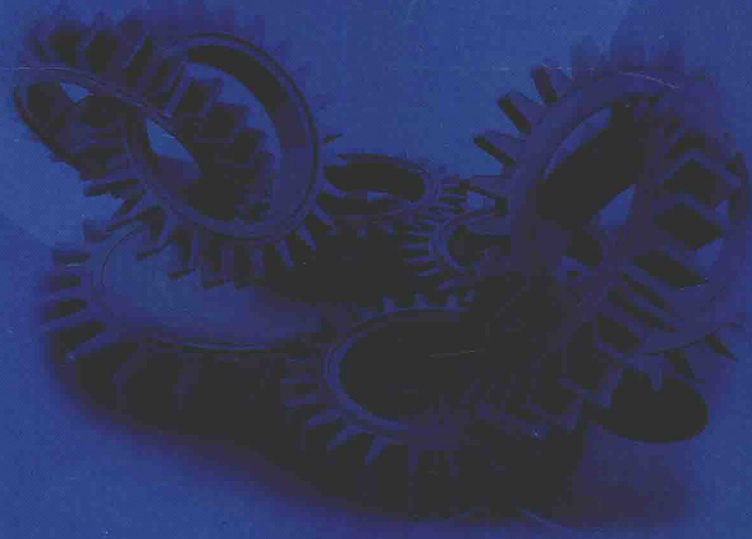


数控加工技术

中、高级工强化训练 (第2版)

◎ 主 编 洪美琴



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

数控加工技术中、高级工 强化训练

(第2版)

主 编 洪美琴

副主编 张心刚 贺应和 周文华



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书主要针对数控技术中、高级工应用型人才和培养机电工程类数控技术专业人才的需求编写,内容紧跟数控机床的发展。全书共分为3章11个模块,并附有中、高级工理论试题及答案。主要内容包括:数控机床的基本操作、数控基础知识、数控加工工艺分析、简单零件的加工、螺纹与槽的加工、典型零件的加工、数控铣削基础知识、平面轮廓零件的加工、孔的加工、宏程序、典型零件的加工。

本书可作为高等院校数控技术专业、机电专业、模具专业等相关专业的专业教材以及数控中、高级工强化实训教材,也可作为工厂企业数控机床操作员和具有一定基础学习者的参考书籍。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术中、高级工强化训练 / 洪美琴主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2015. 7

ISBN 978 - 7 - 5682 - 0877 - 2

I. ①数… II. ①洪… III. ①数控机床 - 加工 - 高等学校 - 教学参考资料 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 155613 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 16.75

字 数 / 382 千字

版 次 / 2015 年 7 月第 2 版 2015 年 7 月第 1 次印刷

定 价 / 40.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 边心超

前 言

随着我国加入世贸组织及在全球经济联系越来越紧密的情况下,我国的制造产业结构发生了很大变化,机械产品数量和品种在不断地增加。与此同时,对产品的性能和精度也提出了越来越高的要求,质量和效率已成为企业生存和发展的关键。在普通机床无法满足制造业的发展需要时,加工企业采用各类数控设备来提高加工效率和产品加工质量以适应时代的步伐。

数控机床是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等数控技术发展的产物。目前,机械制造业广泛应用数控技术来提高生产加工效率、降低生产成本、提高加工质量、快速更换产品,以促进我国机械制造业的发展规模和发展水平,提高在全球制造产业的地位,繁荣国民经济。因此,社会对数控技能应用型人才需求越来越多,对人才职业素质的要求也越来越高,主要体现在知识与技能的结合上。

本书在内容上突出了工艺、编程和加工操作的有机结合,通过项目来引入数控编程相关知识、工艺分析与工序安排以及相关操作训练,在程序编制中插入一些走刀路线图,充分考虑读者的能力和基础,以便学生的学习与接受。在案例的选择和实施上力求贴近生产、贴近工艺与可操作性,便于读者操作与训练,适合学生学习与中、高级工强化训练。

本书所编程序均以 FANUC-0i 系统为例,数控仿真以宇龙仿真软件为例。针对数控机床的使用技术,书中介绍了数控编程的基本知识和数控加工工艺设计的基本方法,着重讲述了数控车削、数控铣削的程序编制方法、工艺安排与加工调整及操作等内容。

本书由洪美琴任主编,张心刚、贺应和、周文华任副主编,其中张心刚编写了第一章模块 1,贺应和编写了第一章模块 3 的内容,周文华编写了第三章内容,其余内容由洪美琴编写。

由于编者经验不足,书中难免存在一些不足和缺点,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 数控编程基础	1
模块1 数控机床基本操作	1
项目1 FANUC -0i 系统标准操作面板功能	1
项目2 数控机床的维护与保养	13
模块2 数控加工基础知识	15
项目1 程序编制中的数值计算	15
项目2 常用编程指令的要点	18
项目3 刀具半径补偿和刀具长度补偿	26
模块3 数控加工工艺分析	34
项目1 数控加工工艺分析方法	34
项目2 典型零件的加工工艺分析	40
第二章 数控车削加工	48
模块1 简单零件的加工	48
项目1 圆弧插补指令的应用	48
项目2 单一固定循环指令的应用	53
项目3 复合粗切削固定循环指令应用	57
项目4 子程序的应用	63
项目5 内孔零件的加工	65
项目6 切削用量选择	67
模块2 螺纹与槽的加工	70
项目1 螺纹加工基本知识与编程指令	70
项目2 三角形普通螺纹的加工	78
项目3 多线螺纹的加工	81
项目4 梯形螺纹的加工	84
模块3 典型零件的加工	90
综合练习一	90
综合练习二	94
综合练习三	97
综合练习四	100
综合练习五	103
综合练习六	106
综合练习七	109

第三章 数控铣削加工	118
模块1 数控铣削基础知识	118
项目1 数控铣削加工常见安装方式	118
项目2 数控铣、加工中心的对刀	120
项目3 铣削加工走刀路线的确定	125
项目4 数控铣削对刀仿真操作	128
模块2 平面轮廓零件的加工	132
项目1 平面的加工	132
项目2 凹槽、型腔零件的加工	140
项目3 铣加工实例——比例缩放指令	146
项目4 铣加工示例——旋转坐标指令	149
模块3 孔的加工	153
项目1 孔加工方法	153
项目2 孔加工编程相关知识	163
项目3 孔系零件的加工	170
模块4 宏程序	174
项目1 A类宏程序	174
项目2 B类宏程序	181
项目3 宏程序加工示例	184
模块5 典型零件的加工	187
项目1 缸盖零件加工	187
项目2 齿轮泵盖零件的加工	194
项目3 刺轮的加工	203
项目4 复杂零件的加工	207
项目5 椭圆轴端盖的加工	213
附录 中、高级工理论试题与答案	218
数控车削中级工理论试题一	218
数控车削中级工理论试题二	220
数控车削高级工理论试题一	223
数控车削高级工理论试题二	226
数控铣削中级工理论试题一	228
数控铣削中级工理论试题二	232
数控铣削高级工理论试题一	235
数控铣削高级工理论试题二	239
数控车削中级工理论试题一答案	243
数控车削中级工理论试题二答案	245
数控车削高级工理论试题一答案	246
数控车削高级工理论试题二答案	247

数控铣削中级工理论试题一答案.....	248
数控铣削中级工理论试题二答案.....	250
数控铣削高级工理论试题一答案.....	251
数控铣削高级工理论试题二答案.....	253
参考文献.....	255

第一章

数控编程基础

模块 1 数控机床基本操作

项目 1 FANUC -0i 系统标准操作面板功能

一、操作面板功能简介

FANUC -0i 系统标准操作面板如图 1-1-1 所示, 由 CRT 显示器、MDI 面板和标准机床操作面板等组成。图 1-1-2 为 MDI 面板各功能示意图, 表 1-1-1 为 MDI 面板功能键盘简介, 表 1-1-2 为操作面板功能键简介。

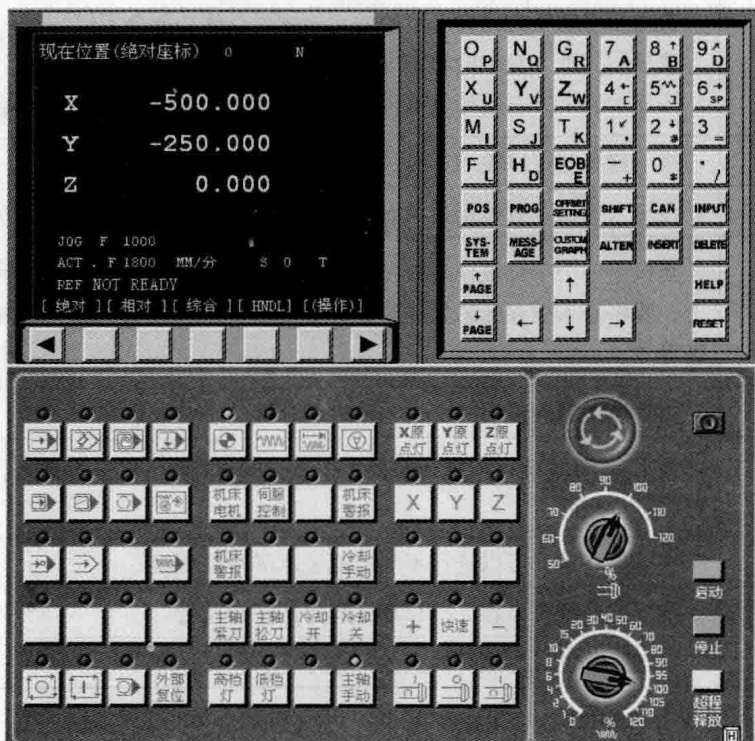


图 1-1-1 FANUC -0i 系统标准操作面板

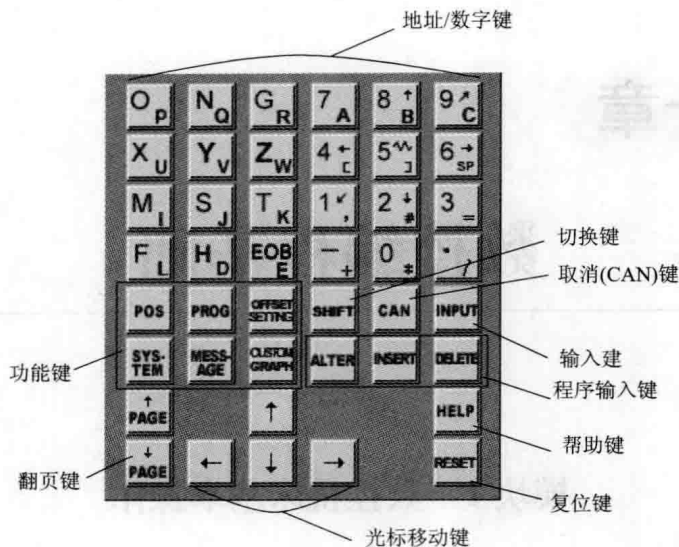


图 1-1-2 MDI 键盘功能示意图

表 1-1-1 FANUC-0i 功能键盘简介

名 称	说 明
复位键	按下该键可以使 CNC 复位或者取消相关报警信息
帮助键	当对操作不明白时，按下该键可以获得帮助
软键	在显示屏的下方，按下不同的功能键后具体功能会不同。 按显示屏下方左端的软键（▲）时用于返回上一级菜单 按显示屏下方右端的软键（▼）时用于显示同级菜单中其他菜单功能
地址和数字键	按下这些键可以输入字母、数字或者其他字符
切换键	在输入键盘上有些键盘具有两个功能，按下该键可以在两个功能之间切换
输入键	当按下一个字母键或者数字键时，地址或数值进入键输入缓冲器并显示在 CRT 上，要将输入缓存区的数据复制到偏置寄存器中，按该键。该键与软盘上 INPUT 键等效
取消键	按下该键删除最后一个进入输入缓存区的字符或数字
程序编辑键	按下 ALTER 键可以进行替换，按下 INSERT 键可以进行插入，按下 DELETE 键可以进行删除
功能键	按下这些键，可以进行不同功能显示屏幕的切换
光标移动键	按下这些键可以将光标移动到程序的任意位置
翻页键	按下这些键可以进行换页显示程序

不同的生产厂家生产的数控机床，机床操作面板是不同的，表 1-1-2 列出了常用键及按钮、指示灯的含义及用法。

表 1-1-2 机床操作面板功能键简介

符 号	字 符	键 定 义
	AUTO	程序运行时先设定自动操作方式
	EDIT	有关程序操作如编辑程序时先设定程序编辑方式
	MDI	手动数据输入方式
	DNC	设定程序外部接口操作方式
	SINGLE BLOCK	程序单段运行，可以用于检查程序
	BLOCK DELETE	程序段跳读，自动运行时，跳过带“注释符”的程序段
	PROGRAM STOP	程序停止，自动运行时因 M00 而停止时该键的 LED 亮
	TEACH - INJOG	设定示数方式
	PROGRAM RESTART	程序再启动。自动运行中，因发生故障而停止后可通过指定程序段号而重新运行程序
	MACHINE LOCK	机床锁住，当通过该键自动运行程序时，轴不移动而只更新位置显示
	DRY RUN	试运行，当通过该键自动运行程序时，轴进给倍率为 JOG 进给倍率，而非编程进给倍率
	CYCLE STOP	循环停止，停止自动运行

续表

符 号	字 符	键 定 义
	CYCLE START	循环启动，启动自动运行
	OPTIONAL STOP	选择停止，按下该键后自动运行时遇 M01 才会停止运行
	HOME	设定回参考点方式
	JOG	设定手动操作方式
	INC	设定脉冲增量方式
	MPG	设定手轮进给方式
	SPCW	主轴正转
	SP STOP	主轴停止
	SP CCW	主轴反转
	TRAVERSE	快速进给，以快速进给方式移动
	AXIS DIRECTION	手动轴移动方向选择
	AXIS SELECTION	手动轴选择

1. 手动进给倍率开关

如图 1-1-3 所示,以手动或自动操作各轴的移动时,可通过调整此开关来改变各轴的移动速率。

2. 手动脉冲发生器

如图 1-1-4 所示,在手轮操作方式下,通过图 1-1-5 中的选择坐标轴和倍率旋钮开关可运行选定的坐标轴。 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 分别表示一个脉冲移动 0.001 mm、0.010 mm、0.100 mm。

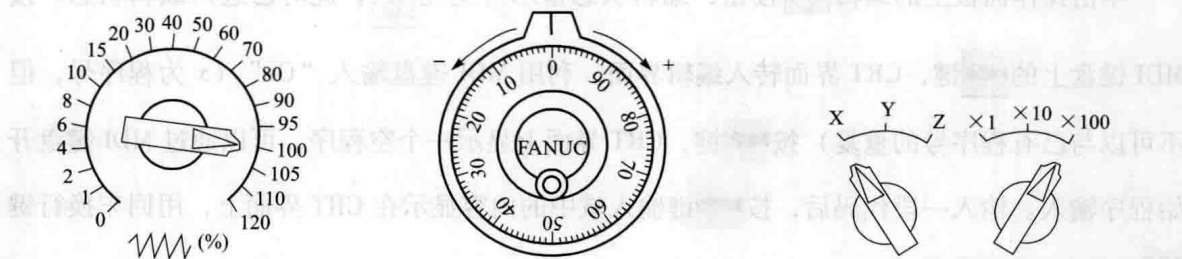


图 1-1-3 手动进给倍率开关

图 1-1-4 手摇脉冲发生器

图 1-1-5 选择坐标轴与倍率旋钮

3. 主轴倍率选择开关

如图 1-1-6 所示,自动或手动操作主轴时,旋转此开关可调整主轴的转速。

4. 进给轴选择按钮开关

如图 1-1-7 所示,在 JOG 或手动方式下,按下欲运动轴的轴选择按钮,使其指示灯闪亮,再分别按下面板上的“+”、“-”进行相应的移动,松开按钮则轴停止移动;若要执行快速移动,按下“快移”的同时,再分别按下“+”或“-”,被选择轴会以快速倍率进行移动,松开按钮则停止移动。

5. 急停按钮

如图 1-1-8 所示,运动中遇到危险的情况,立即按下此按钮,将停止所有的动作;欲解除时,顺时针旋转此钮,即可恢复待机状态。在重新运行前必须执行返回参考点操作。

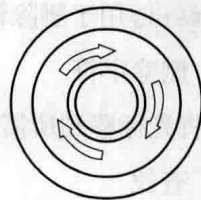
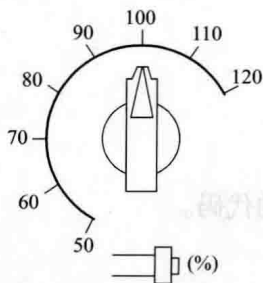


图 1-1-6 主轴倍率选择开关

图 1-1-7 进给轴选择

图 1-1-8 急停按钮开关
与 MAG 按钮开关

二、数控机床的基本操作

零件的加工过程包括启动机床、加工准备、程序输入、对刀、自动运行等。

1. 启动机床

启动电源,急停按钮复位,先回参考点。参考点是数控机床用来确定机床原点位置的一

个点,通过该点建立才能建立起机床坐标系,从而在此基础上建立工件坐标系。每次重新开机都必须先回参考点。

回参考点方法如下:按 HOME 键,选择回参考点方式;选择所需的轴一直按住直到该轴回参考点结束,注意坐标的显示值。

2. 程序输入

(1) 新建一个 NC 程序

单击操作面板上的编辑  按钮,编辑状态指示灯变亮 ,此时已进入编辑状态。按 MDI 键盘上的 **PROG** 键,CRT 界面转入编辑界面。利用 MDI 键盘输入“Ox”(x 为程序号,但不可以与已有程序号的重复)按 **INSERT** 键,CRT 界面上显示一个空程序,可以通过 MDI 键盘开始程序输入。输入一段代码后,按 **INSERT** 键输入域中的内容显示在 CRT 界面上,用回车换行键 **EOB** 结束一行的输入后换行。

(2) 编辑程序

单击操作面板上的编辑  按钮,编辑状态指示灯变亮 ,此时已进入编辑状态。按 MDI 键盘上的 **PROG** 键,CRT 界面转入编辑界面。选定了—个数控程序后,此程序显示在 CRT 界面上,可对数控程序进行编辑操作。

1) 移动光标

按 **PAGE** 和 **PAGE** 键用于翻页,按方位键     移动光标。

2) 插入字符

先将光标移到所需位置,按 MDI 键盘上的数字/字母键,将代码输入到输入域中,按 **INSERT** 键,把输入域的内容插入到光标所在代码后面。

3) 删除输入域中的数据

按 **CAN** 键用于删除输入域中的数据。

4) 删除字符

先将光标移到所需删除字符的位置,按 **DELETE** 键,删除光标所在的代码。

5) 查找

输入需要搜索的字母或代码;按  键,开始在当前数控程序中光标所在位置后搜索(代码为:一个字母或一个完整的代码。例如,“N0010”,“M”等)。如果此数控程序中有所搜索的代码,则光标停留在找到的代码处;如果此数控程序中光标所在位置后没有所搜索的代码,则光标停留在原处。

6) 替换

先将光标移到所需替换字符的位置,将替换成的字符通过 MDI 键盘输入到输入域中,

按 **ALTER** 键，把输入域的内容替代光标所在的代码。

(3) 删除数控程序

1) 删除一个数控程序

单击操作面板上的编辑  按钮，编辑状态指示灯变亮 ，此时已进入编辑状态。利用 MDI 键盘输入“Ox”（x 为要删除的数控程序在目录中显示的程序号），按 **DELETE** 键，程序即被删除。

2) 删除全部数控程序

单击操作面板上的编辑  按钮，编辑状态指示灯变亮 ，此时已进入编辑状态。按 MDI 键盘上的 **PROG**，CRT 界面转入编辑界面。利用 MDI 键盘输入“0 ~ 9999”，按 **DELETE** 键，全部数控程序即被删除。

(4) 保存程序

编辑好的程序需要进行保存操作：单击操作面板上的编辑  按钮，编辑状态指示灯变亮 ，此时已进入编辑状态。按软键“操作”，在下级子菜单中按软键“Punch”，在弹出的对话框中输入文件名，选择文件类型和保存路径，单击“保存”按钮。如图 1-1-9 所示。

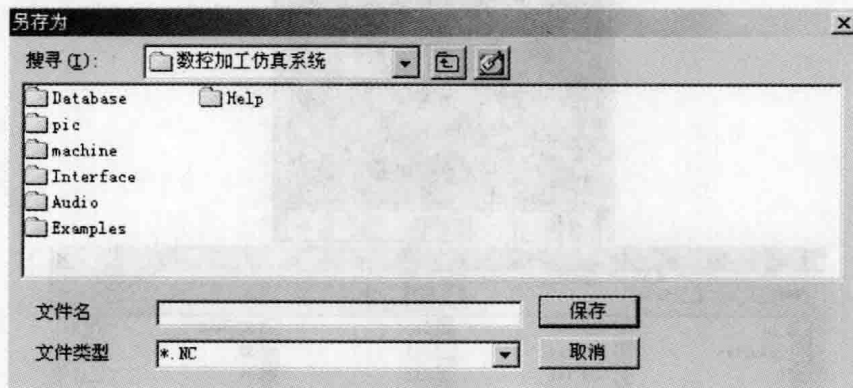


图 1-1-9 程序保存操作界面

(5) 数控程序管理

1) 显示数控程序目录

经过导入数控程序操作后，单击操作面板上的编辑  按钮，编辑状态指示灯变亮 ，此时已进入编辑状态。按 MDI 键盘上的 **PROG**，CRT 界面转入编辑界面。按软键“LIB”经过 DNC 传送的数控程序名显示在 CRT 界面上。如图 1-1-10 所示

2) 选择一个数控程序



图 1-1-10 程序调入显示界面

经过导入数控程序操作后,按 MDI 键盘上的 **PROG** 键, CRT 界面转入编辑界面。利用 MDI 键盘输入 “Ox” (x 为数控程序目录中显示的程序号), 按 **↓** 键开始搜索, 搜索到后 “O x x x x” 显示在屏幕首行程序号位置, NC 程序显示在屏幕上。

(6) 导入数控程序

数控程序可以通过记事本或写字板等编辑软件输入并保存为文本格式文件, 也可直接用 FANUC Oi 系统的 MDI 键盘输入。

单击操作面板上的编辑  按钮, 编辑状态指示灯变亮 , 此时已进入编辑状态。单击 MDI 键盘上的 **PROG** 键, CRT 界面转入编辑界面。再按软键 “操作”, 在出现的下级子菜单中按软键 , 按软键 “READ”, 转入如图 1-1-11 所示界面, 按 MDI 键盘上的 “数字/字母” 键, 输入 “Ox” (x 为任意不超过四位的数字), 按软键 “EXEC”; 单击菜单 “机床/DNC 传送”, 在弹出的对话框中选择所需的 NC 程序, 单击 “打开” 按钮确认, 则数控程序被导入并显示在 CRT 界面上。

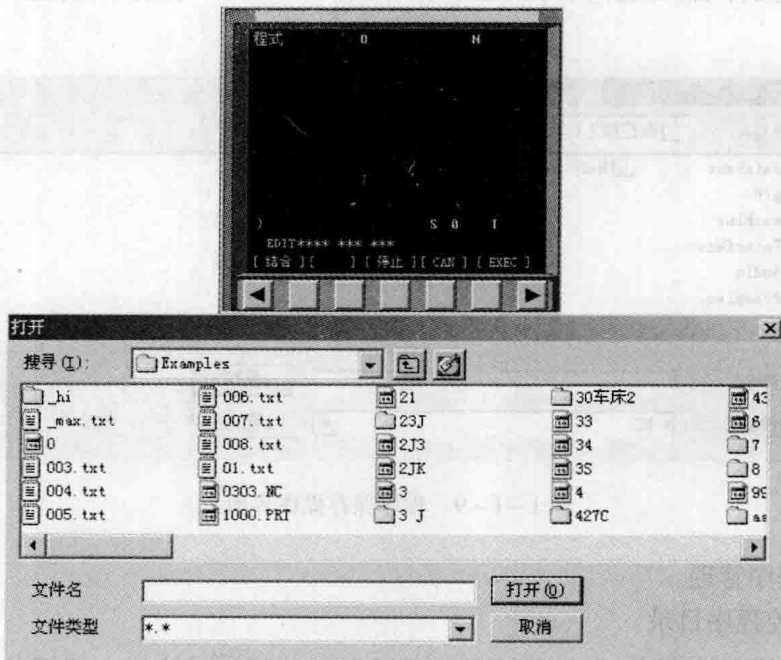


图 1-1-11 导入程序操作界面

3. 车床对刀

1) 测量工件原点, 直接输入工件坐标系 G54 ~ G59

① 切削外径：单击操作面板上的手动按钮，手动状态指示灯变亮，机床进入手动操作模式，单击控制面板上的按钮，使X轴方向移动指示灯变亮，单击或按钮，使机床在X轴方向移动；同样使机床在Z轴方向移动。通过手动方式将机床移到如图1-1-12所示的大致位置

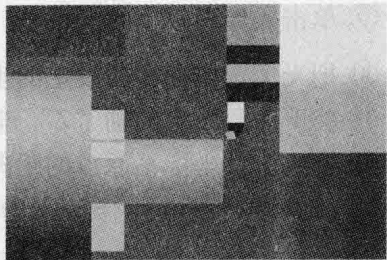


图1-1-12 车外圆X向吃刀示意图

单击操作面板上的或按钮，使其指示灯变亮，主轴转动。再单击Z轴方向移动按钮，使Z轴方向指示灯变亮，单击按钮，用所选刀具试切工件外圆，如图1-1-13所示。然后单击按钮，X方向保持不动，刀具退出。

② 测量切削位置的直径：单击操作面板上的按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量/坐标测量”如图1-1-16所示，单击试切外圆时所切线段，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 α ，在实际加工中用测量工具如游标卡尺、千分尺测量。

③ 按下控制箱键盘上的键。

④ 把光标定位在需要设定的坐标系上。

⑤ 光标移到X。

⑥ 输入直径值 α 。

⑦ 按软键“输入”或“INPUT”键

⑧ 切削端面：单击操作面板上的或按钮，使其指示灯变亮，主轴转动。将刀具移至如图1-1-14的位置，单击控制面板上的按钮，使X轴方向移动指示灯变亮，单击按钮，切削工件端面，如图1-1-15所示。然后单击按钮，Z方向保持不动，刀具退出。

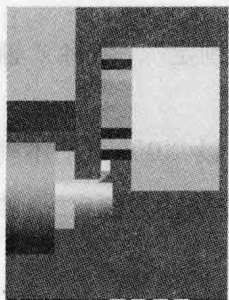


图1-1-13 车外圆Z向进给示意图

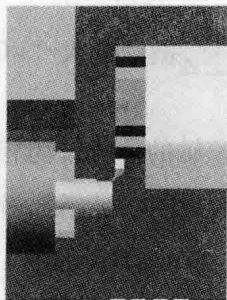


图1-1-14 平端面Z向吃刀示意图

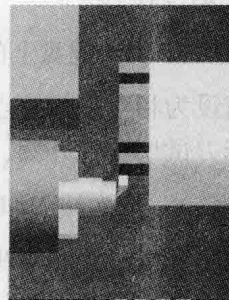


图1-1-15 平端面X向进给示意图

⑨ 单击操作面板上的  按钮，使主轴停止转动。

⑩ 把光标定位在需要设定的坐标系上。

⑪ 按下需要设定的轴“Z”键。

⑫ 输入工件坐标系原点的距离（注意距离有正负号）。

⑬ 按软键“测量”，自动计算出坐标值填入。

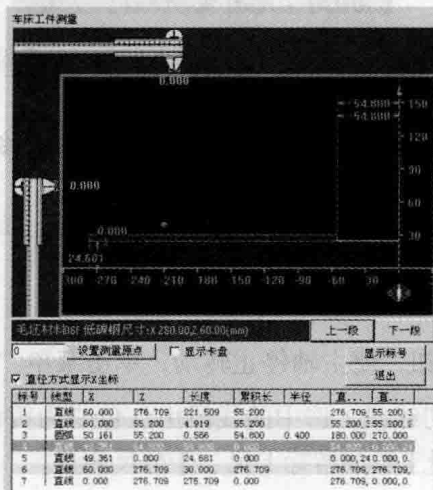


图 1-1-16 尺寸测量仿真显示界面

坐标系原点，则 $\beta=0$ ）。

保持 Z 轴方向不动，刀具退出。进入形状补偿参数设定界面，将光标移到相应的位置，输入 $Z=\beta$ ，按“测量”软键（如图 1-1-17）输入到指定区域。

3) 设置偏置值完成多把刀具对刀

① 方法一：选择一把刀为标准刀具，采用试切法或自动设置坐标系法完成对刀，把工件坐标系原点放入 G54 ~ G59，然后通过设置偏置值完成其他刀具的对刀，下面介绍刀具偏置值的获取办法。

按 MDI 键盘上 **POS** 键和“相对”软键，进入相对坐标显示界面，如图 1-1-18 所示。

选定的标刀试切工件端面，将刀具当前的 Z 轴位置设为相对“0”点（设“0”点前不得有 Z 轴位移）。

依次按 MDI 键盘上的 **SHIFT**、**Z**、**0** 键，输入“w0”，按软键“预定”，则将 Z 轴当前坐标值设为相对坐标原点。

标刀试切零件外圆，将刀具当前 X 轴的位置设为相对“0”点（设“0”点前不得有 X 轴的位移）：依次按 MDI 键盘上的 **SHIFT**、**X**、**0** 键，输入“u0”，按软键“预定”，则将 X 轴当前坐标值设为相对坐标原点。此时 CRT 界面如图 1-1-19 所示。

换刀后，移动刀具使刀尖分别与标准刀切削过的表面接触。接触时显示的相对值，即为该刀相对于标刀的偏置值 ΔX 、 ΔZ （为保证刀准确移到工件的基准点上，可采用手动脉冲进给方式）此时 CRT 界面如图 1-1-20 所示，所显示的值即为偏置值。

2) 测量、输入刀具偏移量

使用这个方法对刀，在程序中直接使用机床坐标系原点作为工件坐标系原点。

用所选刀具试切工件外圆，单击  按钮，使主轴停止转动，单击菜单“测量/坐标测量”，得到试切后的工件直径，记为 α 。

保持 X 轴方向不动，刀具退出。按 MDI 键盘上的 **OFFSET** 键，进入形状补偿参数设定界面，将光标移到相应的位置，输入 $X=\alpha$ ，按“测量”软键（图 1-1-16）输入。

试切工件端面，读出端面在工件坐标系中 Z 的坐标值，记为 β （此处以工件端面中心点为工件坐