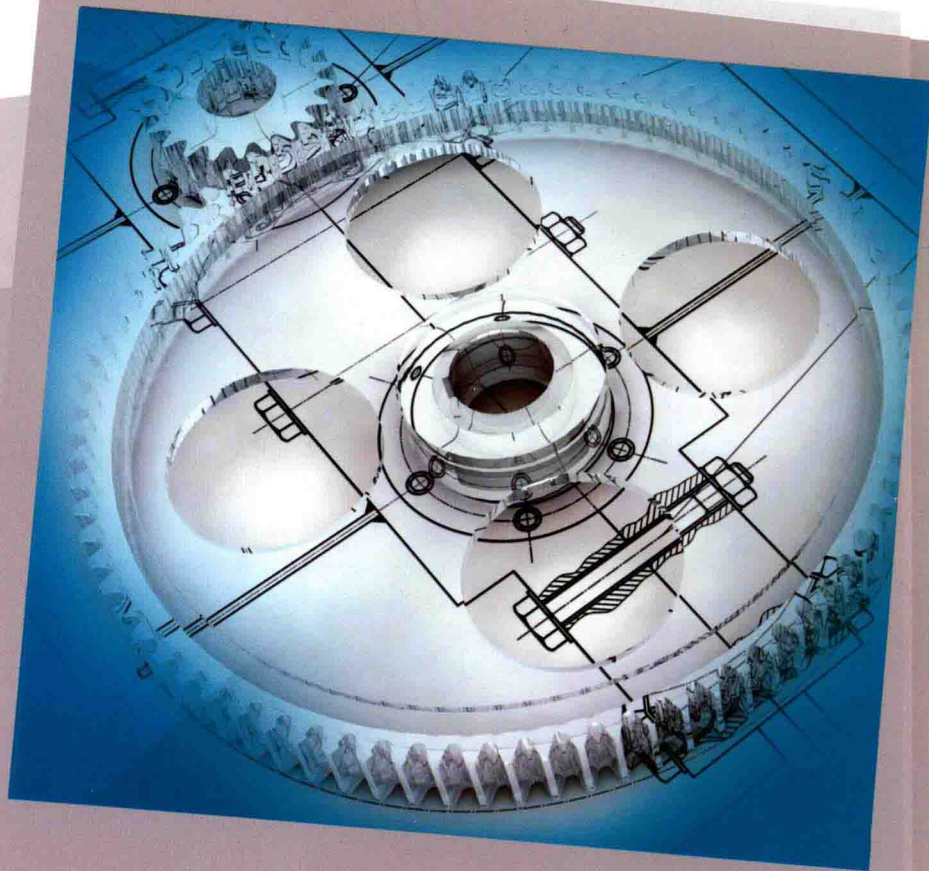


“SHIERWU” GUIHUAJIAOCAI · JIDIANLEI
“十二五”规划教材·机电类

数控加工技术基础

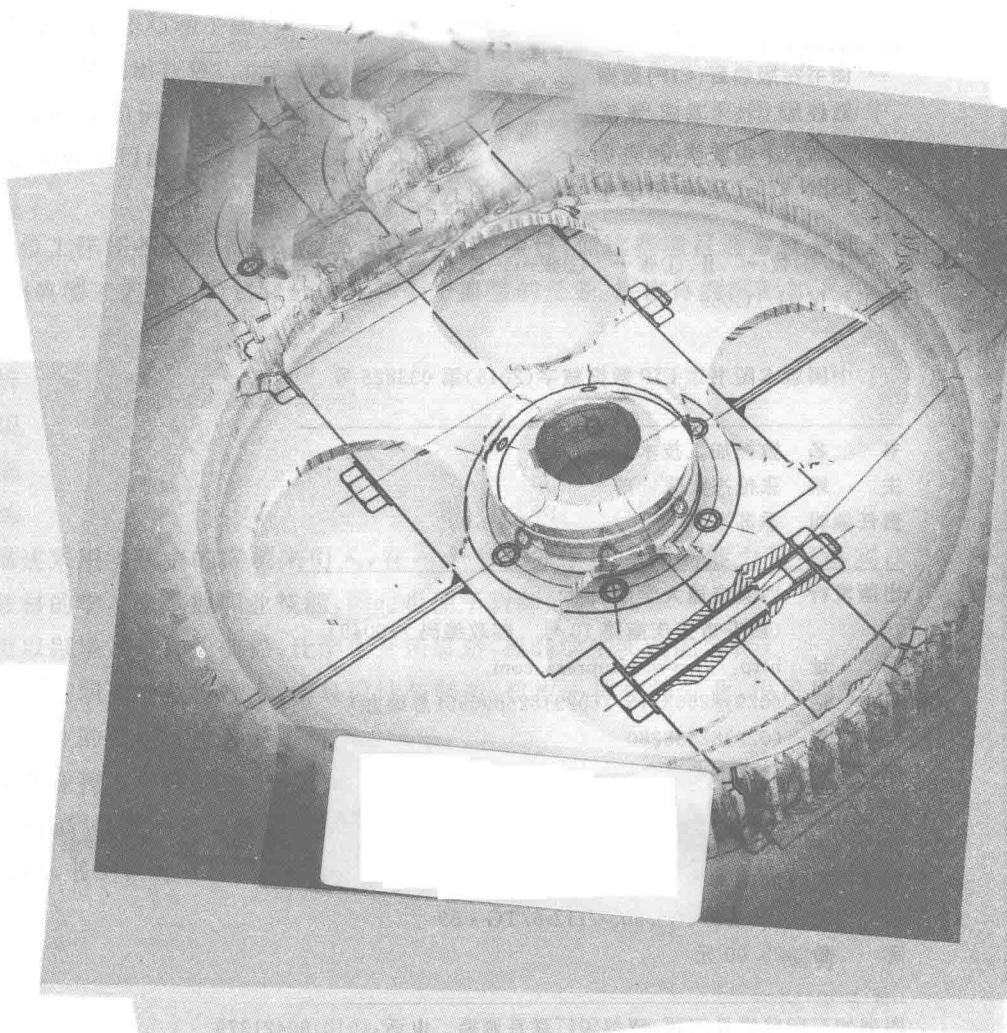
主 编 张艳杰 张 琦



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

数控加工技术基础

主 编 张艳杰 张 琦
参 编 刘婉慈
主 审 路大勇



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书从简明实用的角度出发,着重介绍 FANUC 数控系统的工艺、编程、操作与应用,并列举了大量加工实例,主要培养学生实际操作与动手能力。本书适用于数控技术、模具设计与制造、机电一体化等高职专业的数控加工教学,也可用于中职机电专业教学及相关技能培训的教学或教参。

图书在版编目(CIP)数据

数控加工技术基础/张艳杰,张琦主编.—西安:

西安交通大学出版社,2015.2

ISBN 978-7-5605-7112-6

I. ①数… II. ①张… ②张… III. ①数控机床—
加工 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 033826 号

书 名 数控加工技术基础
主 编 张艳杰 张 琦
责任编辑 季苏平

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668315 (029)82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 北京市龙展印刷有限公司

开 本 787mm×1092mm 1/16 印 张 9.125 字 数 223 千字
版次印次 2015 年 2 月第 1 版 2015 年 2 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-7112-6/TG·59
定 价 25.00 元

图书如有印装质量问题,请与印厂联系调换。电话:(010)60421379

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前 言

制造技术的水平决定着整个国民经济的水平和现代化程度,数控技术是当今先进制造技术和装备的核心。随着科学技术的进步和社会的发展,产品更新换代周期缩短,人们对机械产品的质量、生产率、种类等提出了越来越高的要求,传统的加工方法已不能胜任,广泛采用数控技术,以提高制造能力和水平,提高对动态多变市场的适应能力和竞争能力。

本书着重介绍 FANUC 数控系统的工艺、编程、操作与应用,并列举了大量加工实例,主要培养学生实际操作与动手能力。

针对高等职业教育突出技能操作培养的要求,本书注重理论联系实践。本书为“任务驱动型”教材,打破以知识传授为主要特征的传统教材模式,转变为以工作任务为中心,让学生在完成具体项目的过程中学会完成相应工作任务,并构建相关理论知识,发展职业能力。

依据职业岗位工作任务组建了一系列行动化的学习项目,而这些项目通常就是典型零件、典型产品和典型工艺等。项目又分解成一个个典型的任务,层次体例框架如下:

- A. 任务描述
- B. 任务分析
- C. 相关知识
- D. 任务实施
- E. 实践训练

其中任务描述采用实践中的案例来引入,在一个个任务中把课程的能力贯穿落实,便于学生通过教材的学习来掌握职业技能,同时也便于教师的教学。

实践训练可以以毕业设计为前提,让学生开拓思路,提高学生实践能力。

本教材适用于高职高专数控技术、模具设计与制造、机电一体化等专业,也可用于中等职业学校相关专业的教材或教参。

本书由沧州职业技术学院张艳杰,海南经贸职业技术学院张琦任主编,渤海理工职业学院刘婉慈参与编写,沧州职业技术学院路大勇主审。

由于水平有限,书中难免有缺点和错误,恳请读者批评指正。

编者

2014年5月

目 录

项目 1 认识数控机床	1
任务 1 数控机床简介	1
A. 任务描述	1
B. 任务分析	1
C. 相关知识	1
任务 2 宇龙仿真软件介绍	6
A. 任务描述	6
B. 任务分析	6
C. 相关知识	6
项目 2 数控车削	16
任务 1 数控车床工件坐标系及对刀	16
A. 任务描述	16
B. 任务分析	16
C. 相关知识	16
D. 任务实施	18
E. 实践训练	18
任务 2 阶梯轴的数控车削	19
A. 任务描述	19
B. 任务分析	19
C. 相关知识	19
D. 任务实施:编程例题	27
E. 实践训练	28
任务 3 圆弧轴的数控车削	30
A. 任务描述	30
B. 任务分析	30
C. 相关知识	30
D. 任务实施:编程例题	34

E. 实践训练	35
任务 4 轴类件的螺纹车削	36
A. 任务描述	36
B. 任务分析	36
C. 相关知识	37
D. 任务实施:编程例题	42
E. 实践训练	44
任务 5 轴类零件的复合循环车削	45
A. 任务描述	45
B. 任务分析	45
C. 相关知识	45
D. 任务实施:编程例题	51
E. 实践训练	53
任务 6 内孔的数控车削	54
A. 任务描述	54
B. 任务分析	54
C. 相关知识	54
D. 任务实施:编程例题	55
E. 实践训练	57
项目 3 数控铣削	60
任务 1 数控铣床工件坐标系及对刀、参数设定	60
3.1.1 三坐标铣床的仿真对刀	60
A. 任务描述	60
B. 任务分析	60
C. 相关知识	60
D. 任务实施:数控铣床仿真对刀	63
E. 实践训练	64
3.1.2 三坐标铣床的手工对刀	66
A. 任务描述	66
B. 任务分析	66
C. 相关知识	66
D. 任务实施:数控铣床寻边器 XY 对中	66
任务 2 外轮廓及平面零件的数控铣加工	67
3.2.1 外轮廓加工的切入切出方式	67
A. 任务描述	67

B. 任务分析	68
C. 相关知识	69
D. 任务实施	72
E. 实践训练	73
3.2.2 分层切削外轮廓加工	75
A. 任务描述	75
B. 任务分析	75
C. 相关知识	75
D. 任务实施	76
E. 实践训练	76
3.2.3 相同图素的外轮廓加工	78
A. 任务描述	78
B. 任务分析	78
C. 相关知识	78
D. 任务实施	79
E. 实践训练	80
任务3 内轮廓零件的数控铣加工	82
3.3.1 内轮廓加工的切入切出方式	82
A. 任务描述	82
B. 任务分析	82
C. 相关知识	83
D. 任务实施	84
E. 实践训练	85
3.3.2 相同图素的内轮廓加工	86
A. 任务描述	86
B. 任务分析	86
C. 相关知识	87
D. 任务实施	88
E. 实践训练	89
任务4 钻孔的数控铣加工	92
3.4.1 直角坐标系的钻孔加工	92
A. 任务描述	92
B. 任务分析	93
C. 相关知识	93
D. 任务实施	95
E. 实践训练	96

3.4.2 极坐标系的钻孔加工	97
A. 任务描述	97
B. 任务分析	97
C. 相关知识	97
D. 任务实施	98
综合实训	100
项目 4 加工中心	104
任务 1 数控加工中心工件坐标系及对刀、参数设置	104
A. 任务描述	104
B. 任务分析	104
C. 相关知识	104
D. 任务实施	113
E. 实践训练	115
任务 2 铣旋转凸台(坐标系旋转指令)	115
A. 任务描述	115
B. 任务分析	115
C. 相关知识	116
D. 任务实施	117
E. 实践训练	118
任务 3 钻底座孔(换刀指令)	119
A. 任务描述	119
B. 任务分析	120
C. 相关知识	120
D. 任务实施	122
E. 实践训练	124
任务 4 铣削综合加工	125
A. 任务描述	125
B. 任务分析	125
C. 任务实施	125
D. 实践训练	130
附录 全国数控技能大赛试题选题	131
参 考 文 献	137

项目 1 认识数控机床

任务 1 数控机床简介

A. 任务描述

- (1) 了解数控设备的产生与发展。
- (2) 掌握数控设备的工作原理、组成与特点。

B. 任务分析

通过本任务的学习能够知道工厂里常用的数控系统、数控机床的种类，以及数控机床加工产品的特点。

C. 相关知识

1. 数控机床的产生与发展

数控机床是计算机数字控制机床 (computer numerical control machine tools) 的简称，是一种装有程序控制系统的自动化机床。该控制系统能够逻辑地处理具有控制编码或其他符号指令规定的程序，并将其译码，用代码化的数字表示，通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号，控制机床的动作，按图纸要求的形状和尺寸，自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题，是一种柔性的、高效能的自动化机床，代表了现代机床控制技术的发展方向，是一种典型的机电一体化产品。

数控机床的外形如图 1-1-1 所示。

1948 年，美国帕森 (Parsons) 公司在研制加工直升机螺旋桨叶片轮廓用检查样板的机床时，首先提出计算机控制机床的设想，在麻省理工学院 (MIT) 的协助下，于 1952 年研制成功了世界上第一台三坐标直线插补且连续控制的立式数控铣床。

从 1960 年开始，其他一些工业国家，如德国、日本都陆续开发、生产及使用了数

控机床。我国于 1958 年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控铣床。

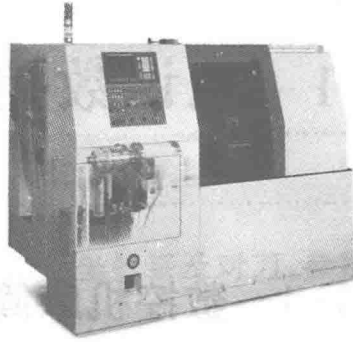


图 1-1-1 数控机床

数控系统的发展到现在已经有了两个阶段：计算机数字控制（CNC）阶段和普通数控（NC）阶段，如图 1-1-2 所示。

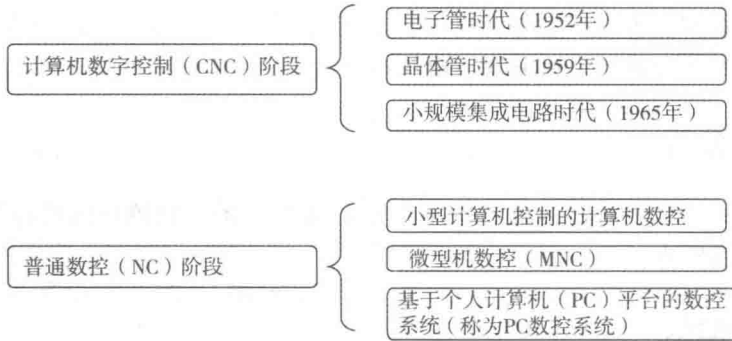


图 1-1-2 数控机床发展阶段

2. 数控机床的加工原理

数控机床是数字控制的工作母机的总称。一般由输入输出设备、数控装置、伺服系统、测量反馈装置和机床本体组成。数控机床的加工原理如图 1-1-3 所示。

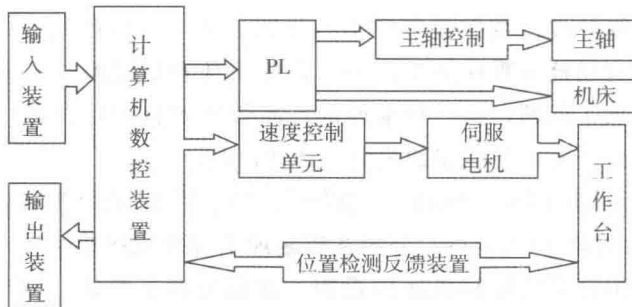


图 1-1-3 数控机床工作原理

1) 输入输出设备

输入装置：将数控指令输入给数控装置，根据程序载体的不同，相应有不同的输入装置。主要有键盘输入、磁盘输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的 DNC（直接数控）输入。

输出装置：输出装置与伺服机构相连。输出装置根据控制器的命令接收运算器的输出脉冲，并把它送到各坐标的伺服控制系统，经过功率放大、驱动伺服系统，从而控制机床按规定要求运动。

2) 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用 CNC（Computer Numerical Control）形式，这种 CNC 装置一般使用多个微处理器，以程序化的软件形式实现数控功能，因此又称软件数控 SNC（Software NC）。CNC 系统是一种位置控制系统，它是根据输入数据插补出理想的运动轨迹，然后输出到执行部件加工出所需要的零件。因此，数控装置主要由输入、处理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序进行合理地组织，使整个系统协调地进行工作。

3) 伺服与测量反馈系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分，用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统的作用是把接收自数控装置的指令信息，经功率放大、整形处理后，转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节，其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标，因此，对数控机床的伺服驱动装置，要求具有良好的快速反应性能，准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号，并能忠实地执行来自数控装置的指令，提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中，数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较，并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。

4) 机床本体

机床主机是数控机床的本体。它包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动地完成各种切削加工的机械部分。与传统的机床相比，数控机床主体具有如下结构特点：

（1）采用具有高刚度、高抗震性及较小热变形的机床新结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床主机的刚度和抗震性，使机床主体能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及采用热位移补偿等措施，可减少热变形对机床主机的影响。

(2) 广泛采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置,使数控机床的传动链缩短,简化了机床机械传动系统的结构。

(3) 采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和运动部件,如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

3. 数控机床的种类

数控机床的种类很多,对数控机床进行分类,有以下几种:

1) 按工艺用途分类

按工艺用途,数控机床可分为数控车床、数控铣床、数控钻床、数控磨床、数控镗铣床、数控电火花加工机床、数控线切割机床、数控齿轮加工机床、数控冲床和数控液压机等各种用途的数控机床。

2) 按伺服控制方式分类

按伺服控制方式,数控机床可分为开环控制数控机床、半闭环控制数控机床和闭环控制数控机床。

开环控制数控机床:这类机床不带位置检测反馈装置,通常用步进电机作为执行机构。输入数据经过数控系统的运算,发出脉冲指令,使步进电机转过一个步距角,再通过机械传动机构转换为工作台的直线移动,移动部件的移动速度和位移量由输入脉冲的频率和脉冲个数所决定。

半闭环控制数控机床:在电机的端头或丝杠的端头安装检测元件(如感应同步器或光电编码器等),通过检测其转角来间接检测移动部件的位移,然后反馈到数控系统中。由于大部分机械传动环节未包括在系统闭环环路内,因此可获得较稳定的控制特性。其控制精度虽不如闭环控制数控机床,但调试比较方便,因而被广泛采用。

闭环控制数控机床:这类数控机床带有位置检测反馈装置,其位置检测反馈装置采用直线位移检测元件,直接安装在机床的移动部件上,将测量结果直接反馈到数控装置中,通过反馈可消除从电动机到机床移动部件整个机械传动链中的传动误差,最终实现精确定位。

3) 按运动方式分类

按运动方式,数控机床分为点位控制数控机床、直线控制数控机床和轮廓控制数控机床。

点位控制数控机床:数控系统只控制刀具从一点到另一点的准确位置,而不控制运动轨迹,各坐标轴之间的运动是不相关的,在移动过程中不对工件进行加工。这类数控机床主要有数控钻床、数控坐标镗床、数控冲床等。

直线控制数控机床:数控系统除了控制点与点之间的准确位置外,还要保证两点间的移动轨迹为一直线,并且对移动速度也要进行控制,也称点位直线控制。这类数控机床主要有比较简单的数控车床、数控铣床、数控磨床等。单纯用于直线控制的数控机床已不多见。

轮廓控制数控机床:轮廓控制的特点是能够对两个或两个以上的运动坐标的位移

和速度同时进行连续相关的控制，它不仅要控制机床移动部件的起点与终点坐标，而且要控制整个加工过程的每一点的速度、方向和位移量，也称为连续控制数控机床。这类数控机床主要有数控车床、数控铣床、数控线切割机床、加工中心等。

4. 数控机床加工特点

数控机床的操作和监控全部在这个数控单元中完成，它是数控机床的大脑。与普通机床相比，数控机床有如下特点：

1) 具有高度柔性

在数控机床上加工零件，主要取决于加工程序。它与普通机床不同，不必制造，更换许多模具、夹具，不需要经常重新调整机床。因此，数控机床适用于所加工的零件频繁更换的场合，亦即适合单件、小批量产品的生产及新产品的开发，从而缩短了生产准备周期，节省了大量工艺装备的费用。

2) 加工精度高

数控机床的加工精度一般可达 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ ，数控机床是按数字信号形式控制的，数控装置每输出一脉冲信号，则机床移动部件移动一脉冲当量（一般为 0.001 mm ），而且机床进给传动链的反向间隙与丝杆螺距平均误差可由数控装置进行曲补偿，因此，数控机床定位精度比较高。

3) 加工质量稳定、可靠

使用数控机床加工同一批零件，在相同加工条件下，使用同一机床、相同刀具和加工程序，刀具的走刀轨迹完全相同，零件的一致性高，质量稳定。

4) 生产率高

数控机床可有效地减少零件的加工时间和辅助时间。数控机床的主轴转速和进给量的范围大，允许机床进行大切削量的强力切削。数控机床正进入高速加工时代，数控机床移动部件的快速移动和定位及高速切削加工，极大地提高了生产率。另外，与加工中心的刀库配合使用，可实现在一台机床上进行多道工序的连续加工，减少了半成品的工序间周转时间，提高了生产率。

5) 改善劳动条件

数控机床加工前是经调整后，输入程序并启动，机床就能有自动连续地进行加工，直至加工结束。操作者要做的只是程序的输入和编辑、零件装卸、刀具准备、加工状态的观测、零件的检验等工作，劳动强度大大降低，机床操作者的劳动趋于智力型工作。另外，机床工作时防护门一般是关闭状态，既清洁，又安全。

6) 利于生产管理现代化

数控机床的加工，可预先精确估计加工时间，对所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理，易于实现加工信息的标准化，已与计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）有机地结合起来，是现代化集成制造技术的基础。

同样，数控机床也存在一些不足之处：

（1）数控机床价格较贵，加工成本高，提高了起始阶段的投资。

- (2) 技术复杂,增加了电子设备的维护,维修困难。
- (3) 对工艺和编程要求较高,加工中难以调整,对操作人员的技术水平要求高。

任务2 宇龙仿真软件介绍

A. 任务描述

使学生熟悉数控机床的操作面板、宇龙仿真软件的使用。

B. 任务分析

通过本任务的学习,学生应熟悉 FANUC 0i 的操作面板功能,掌握宇龙仿真软件的应用。

C. 相关知识


1. 仿真软件的进入和退出

1) 进入

(1) 启动加密锁管理程序。用鼠标左键依次点击“开始”——“程序”——“宇龙数控加工仿真软件”——“加密锁管理程序”,如图 1-2-1 所示。



图 1-2-1 启动加密锁管理程序步骤图

加密锁程序启动后,屏幕右下方的工具栏中将出现“”图标。

(2) 运行宇龙数控加工仿真软件。依次点击“开始”——“程序”——“宇龙数控加工仿真软件 V4.8”——“宇龙控加工仿真软件”,系统将弹出如图 1-2-2 所示的“用户登录”界面。

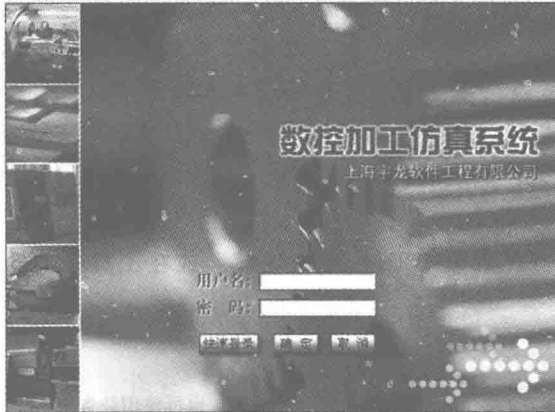


图 1-2-2 “用户登录”界面图

此时，可以通过点击“快速登录”按钮进入宇龙数控加工仿真软件 V4.8 的操作界面或通过输入用户名和密码，再点击“登录”按钮，进入宇龙数控加工仿真软件。

2) 退出

存盘后点击界面右上角关闭按钮即可退出仿真软件。

2. 仿真软件的工作窗口介绍

以 FANUC Oi Mate 数控车床为例，介绍仿真操作步骤。

1) 选择机床类型

打开菜单“机床/选择机床…”，在选择机床对话框中选择控制系统类型和相应的机床并按“确定”按钮，此时界面如图 1-2-3、图 1-2-4 所示。

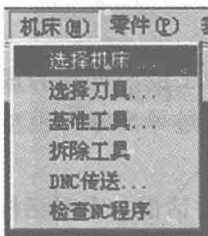


图 1-2-3 机床菜单栏

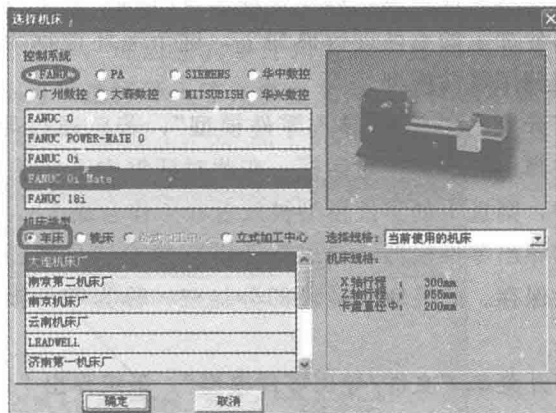



图 1-2-4 机床对话框




2) 激活机床

点击电源开按钮，使机床总电源打开。

检查“紧急停止”按钮是否松开至状态，若未松开，将其松开。

3) 回参考点

(1) 检查操作面板，查看是否在回参考点模式。若指示灯亮，则已进入回原点模式；否则点击“回参考点”按钮，使系统进入回原点模式。

(2) 在回原点模式下，先将 X 轴回原点，后置刀架机床点击操作面板上的按钮，前置刀架机床点按钮；然后将 Z 轴回原点，点击操作面板上的按钮。

4) 工件的定义和使用

(1) 定义毛坯。打开菜单“零件/定义毛坯”或在工具条上选择图标，系统打开图 1-2-5 所示对话框。

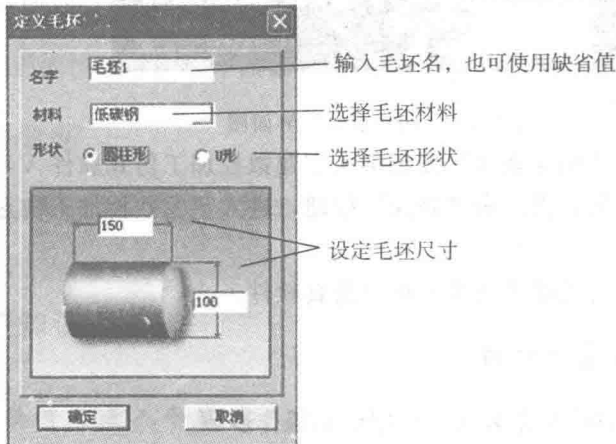


图 1-2-5 定义毛坯

毛坯的高级定义——导入/导出零件模型：

①导入零件模型。机床在加工零件时，除了可以使用原始定义的毛坯，还可以对经过部分加工的毛坯进行再加工，这个毛坯被称为零件模型，可以通过导入零件模型的功能调用零件模型。

打开菜单“文件/导入零件模型”，若已通过导出零件模型功能保存过成型毛坯，系统将弹出“打开”对话框，在此对话框中选择并且打开所需的后缀名为“prt”的零件文件，则选中的零件模型被放置在工作台面上。

②导出零件模型。导出零件模型的功能是把经过部分加工的零件作为成型毛坯予以单独保存。此毛坯已经过部分加工，称为零件模型。可通过导出零件模型功能予以保存。

打开菜单“文件/导出零件模型”，系统弹出“另存为”对话框，在对话框中输入文件名，按“保存”按钮，此零件模型即被保存。可在以后需要时被调用。文件的后缀名为“prt”，请不要更改后缀名。

(2) 放置零件。打开菜单“零件/放置零件”命令或者在工具条上选择图标，系统弹出如图 1-2-6 所示的操作对话框。

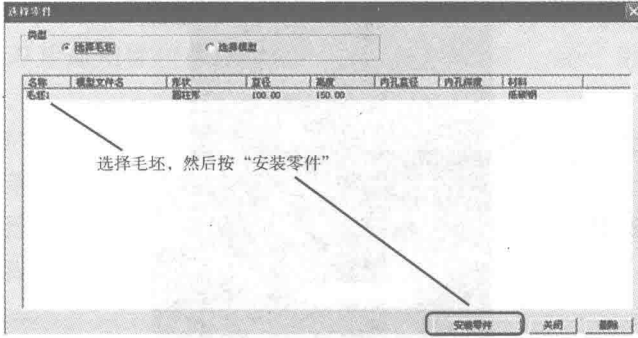


图 1-2-6 放置零件毛坯选择

(3) 调整零件位置。零件可以在卡盘内移动。毛坯放进卡盘后，系统将自动弹出一个小键盘如图 1-2-7 所示，通过按动小键盘上的方向按钮，实现零件的平移和旋转或车床零件调头。小键盘上的“退出”按钮用于关闭小键盘。选择菜单“零件/移动零件”，也可以打开小键盘。请在执行其他操作前关闭小键盘。



图 1-2-7 零件位置调整对话框

如果进行过“导入零件模型”的操作，对话框的零件列表中会显示模型文件名。若在类型列表中选择“选择模型”，则可以选择导入零件模型文件。选择的零件模型在经过部分加工的成型毛坯被放置在卡盘上，如图 1-2-8、图 1-2-9 所示。

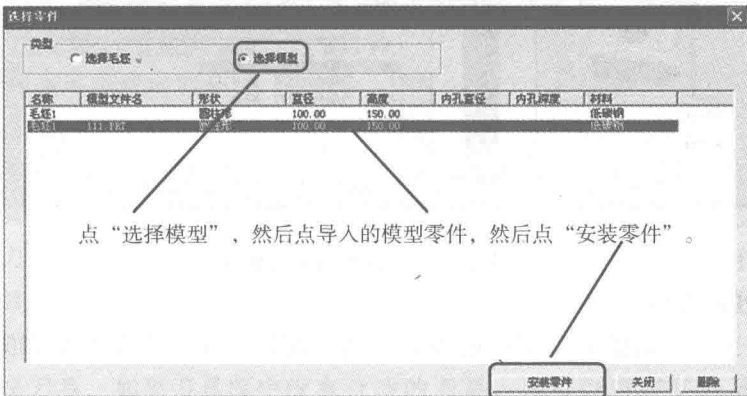


图 1-2-8 导入零件模型对话框