



21世纪高职高专机电类立体化精品教材·数控系列
工学结合教学改革与创新成果

数控机床 编程及操作

夏 铭 郭建青 主编



教学
资源
包

电子课件: 包含5章PPT课件

教学参考: 包含教学视频、课时规划和课程说明

课后习题: 课后习题答案

案例库: 补充教学案例

资源拓展: 包含学习网站、模拟软件

教学检测: 2份期末考试卷

教学服务: www.jxzy.com.cn

 东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

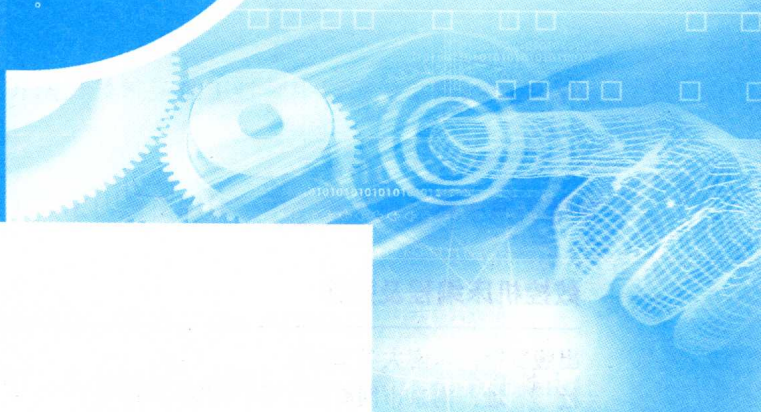


21世纪高职高专机电类立体化精品教材·数控系列
工学结合教学改革与创新成果

数控机床

编程及操作

夏 铭 郭建青 主编



东南大学出版社
·南京·

内容提要

《数控机床编程与操作》全书共五个项目, 主要介绍 FANUC Oi 数控系统的数控车床、数控铣床、加工中心三种数控机床的编程方法、常用指令、典型零件的工艺分析、刀具与切削用量的选择及程序编制; 三种机床的特点、加工对象、种类与基本操作; 可通过一体化教学掌握几种数控机床的操作与零件加工。

本书内容翔实, 贴合生产实际, 可供高等职业类、应用型本科类、技工类院校使用, 可作为数控技术、模具设计与制造等专业培养职业能力课程的教材, 也可作为从事数控加工的技师培训用书, 还可供企业人员岗前培训使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床编程及操作 / 夏铭, 郭建青主编. —南京:
东南大学出版社, 2014. 12

(21 世纪高职高专机电类立体化精品教材·数控系列)

ISBN 978-7-5641-5359-5

I. ①数… II. ①夏… ②郭… III. ①数控机床—程序设计—高等职业教育—教材②数控机床—操作—高等职业教育—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 281448 号

数控机床编程及操作

出版发行: 东南大学出版社

社 址: 南京市四牌楼 2 号, 邮编 210096

出 版 人: 江建中

印 刷: 北京旺银永泰印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 15.5

字 数: 322 千

版 次: 2014 年 12 月第 1 版

印 次: 2014 年 12 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5641-5359-5

定 价: 36.00 元

(凡因印装质量问题, 请直接与营销中心调换, 电话: 025—83791830)

数控系统多种多样，本书选用的 FANUC Oi 数控系统应用广泛，比较典型，适合学生学习并使用数控系统。本书采用项目式教学，讲授数控机床操作、编程及加工方面的知识，以“理论够用、实用有效”为原则，使学生能快速掌握数控加工的能力。全书内容共分 5 个项目，具体如下：

项目一主要介绍数控车床及数控铣床的特点，以及基本操作方式。

项目二主要介绍数控车床加工简单零件的方法，及加工过程中所需要掌握的编程指令及加工工艺。

项目三主要介绍数控车床加工复杂零件的方法，及加工过程中所需要掌握的编程指令及加工工艺。

项目四主要介绍数控铣床的加工方法，及铣床加工过程中所需要掌握的编程指令及加工工艺。

项目五介绍了数控加工中心的加工方法，及在用加工中心加工的过程中所需要掌握的编程指令及加工工艺。

本书在编排上，注重理论与实践相结合，采用任务式教学模式，突出实践环节，充分体现“工学结合一体化”教学思想。本书将项目分解为若干任务，每个任务由任务引入、任务分析、知识准备、任务实施及任务评价五部分组成，全书共设置任务 14 个。正文中设置了操作技巧、拓展提高以及知识链接等特色模块，意在提高学生的学习兴趣，促进学生的全面发展。全书共设置拓展阅读 11 篇，小提示 23 个，思考与分析 5 个。每个项目最后还设置了项目小结和项目考核内容。

本书内容翔实，贴合生产实际，可供高等职业类、应用型本科类、技工类院校使用，可作为数控技术、模具设计与制造等专业培养职业能力课程的教材，也可作为从

事数控加工的技师培训用书，还可供企业人员岗前培训使用。

限于编者水平和经验有限，编写时间又较紧迫，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

CONTENTS

目 录

项目一 数控机床的认识与简单操作

任务一：认识并操作数控车床..... 2

任务引入..... 2

任务分析..... 2

知识准备..... 2

一、数控车床的组成..... 2

二、数控车床的分类..... 3

三、数控车床的用途与特点..... 6

四、数控车床的操作面板..... 6

任务实施..... 10

一、开机与关机..... 10

二、手动操作方式..... 11

三、MDI 操作方式..... 12

四、程序的编辑操作方式..... 12

五、数据的显示与设定..... 13

六、对刀操作..... 14

七、对刀正确性校验..... 15

八、自动加工操作..... 16

九、车床的急停操作..... 17

十、位置显示..... 17

任务评价..... 18

任务二：认识并操作数控铣床..... 18

任务引入..... 18

任务分析..... 18

知识准备..... 19

一、数控铣床的分类..... 19

二、数控铣床的加工特点与工作原理
..... 20

三、数控铣床的操作面板..... 22

任务实施..... 23

一、数控铣床的启动与停止..... 23

二、机床清零（返回机械“零点”）
..... 23

三、自动操作（记忆操作）..... 24

四、编辑程序..... 25

五、手动输入操作方式（MDI）..... 25

六、手动方式操作（JOG）..... 26

七、手动进给手轮操作..... 26

八、装刀与卸刀操作..... 27

九、对刀操作..... 27

任务评价..... 28

拓展阅读..... 29

项目二 数控车床简单零件编程及操作

任务一：加工台阶轴零件..... 33

任务引入..... 33

任务分析..... 33

知识准备..... 33

一、数控车床刀具的选择	34
二、切削用量的选择	38
三、零件装夹方法的选择	39
四、数控加工工艺路线制订	39
五、数控车床坐标系的建立	43
六、程序的结构及功能代码	46
七、常用指令	48
任务实施	53
一、加工工艺与程序的设计	53
二、台阶轴的加工	58
任务评价	58
拓展阅读	59
任务二：加工圆弧零件	60
任务引入	60
任务分析	61
知识准备	61
一、圆弧、圆锥的加工方法	61
二、编程指令	63
三、刀尖圆弧半径补偿	69
任务实施	72
一、加工工艺与程序的设计	72
二、圆弧零件加工	73
任务评价	74
拓展阅读	75

项目三 数控车床复杂零件编程及操作

任务一：加工轴套零件	79
任务引入	79
任务分析	79
知识准备	79
一、孔加工刀具	79
二、切削用量的选择	81
三、编程指令	81
任务实施	83

一、加工工艺与程序的设计	83
二、轴套的加工	86
任务评价	87
拓展阅读	87
任务二：加工螺纹轴零件	88
任务引入	88
任务分析	89
知识准备	89
一、螺纹术语与计算	89
二、三角螺纹车刀	91
三、三角螺纹车刀车螺纹常用指令	92
四、螺纹的加工方法	94
任务实施	96
一、加工工艺与程序设计	96
二、螺纹轴的加工	99
任务评价	100
拓展阅读	101

任务三：加工槽轮类零件	102
任务引入	102
任务分析	102
知识准备	103
一、槽的种类与进刀方式	103
二、切削用量的选择	105
三、编程指令	106
任务实施	110
一、加工工艺与程序的设计	110
二、槽轮的加工	113
任务评价	114
拓展阅读	115

任务四：加工椭圆轴零件	119
任务引入	119
任务分析	119
知识准备	120
一、宏程序	120

二、变量.....	121
三、变量的算术和逻辑运算.....	123
四、变量的引用赋值.....	124
五、功能语句.....	125
六、编制椭圆宏程序的基本步骤.....	126
七、加工非圆曲线的方法.....	128
任务实施.....	129
一、加工工艺与程序的设计.....	129
二、椭圆轴的加工.....	133
任务评价.....	133
拓展阅读.....	134

项目四 数控铣床编程及操作

任务一：加工平面凸模零件	138
任务引入.....	138
任务分析.....	138
知识准备.....	138
一、数控铣床夹具与工件的安装.....	138
二、刀具与铣削用量的选择.....	140
三、加工路线的确定.....	144
四、数控铣床的编程指令.....	146
五、G 功能指令介绍.....	148
六、数控铣床编程时应注意的几个问题.....	156
任务实施.....	157
一、加工工艺与程序设计.....	157
二、凸模加工.....	159
任务评价.....	160
拓展阅读.....	160
任务二：加工平面凹模零件	161
任务引入.....	161
任务分析.....	162
知识准备.....	162
一、子程序.....	162
二、内外轮廓的加工方法.....	163

任务实施.....	165
一、加工工艺与程序设计.....	165
二、凹模加工.....	168
任务评价.....	168
拓展阅读.....	169
任务三：加工正八角形零件	171
任务引入.....	171
任务分析.....	172
知识准备.....	172
一、极坐标与简化编程指令.....	172
二、简化编程指令.....	173
三、任意角度倒角和圆弧拐角功能.....	176
任务实施.....	179
一、加工工艺与程序的设计.....	179
二、正八角形的加工.....	181
任务评价.....	181
拓展阅读.....	182

项目五 加工中心编程及操作

任务一：加工端盖零件	187
任务引入.....	187
任务分析.....	187
知识准备.....	187
一、数控加工中心的分类.....	187
二、数控加工中心的基本结构.....	189
三、数控加工中心的特点.....	194
四、孔加工.....	196
五、固定循环功能指令.....	198
任务实施.....	202
一、加工工艺与程序的设计.....	202
二、端盖的加工.....	205
任务评价.....	206
拓展阅读.....	207

任务二：加工盖板零件	209	任务三：加工凸台槽孔板零件	229
任务引入	209	任务引入	229
任务分析	210	任务分析	229
知识准备	210	知识准备	229
一、镗孔的关键技术	210	一、编程指令的选择	229
二、镗孔尺寸的控制方法	211	二、相关计算	230
三、攻螺纹的加工工艺	211	任务实施	230
四、FANUC 0i 系统的加工中心编程 指令	212	一、加工工艺与程序设计	230
任务实施	221	二、零件加工	235
一、加工工艺与程序设计	221	任务评价	236
二、零件加工	225	拓展阅读	237
任务评价	226	参考文献	240
拓展阅读	227		

项目一

数控机床的认识与 简单操作



项目导读

数控机床就是通过数字化信息对机床的运动及其加工过程进行控制，实现要求的机械动作，自动完成加工任务。其实质就是技术密集且自动化程度很高的机电一体化加工设备。



项目要点

本项目包含了两个任务，分别是认识并操作数控车床、认识并操作数控铣床。数控车床和铣床是数控机床的两个主要门类，是我们学习数控机床的基础。

任务一：认识并操作数控车床

任务引入

数控车床是数控机床中结构较为简单机床，其应用广泛，具有高效率、高精度的特点。它能加工各种回转体零件。本任务主要以 FANUC Oi 数控系统为例，介绍面板上各按键的功能和作用，以及数控车床的操作方法；并学习相关的安全文明生产等方面的知识。

任务分析

数控车床是数控机床中结构较为简单机床，其应用广泛，具有高效率、高精度的特点，能加工各种回转体零件。本任务学习时先通过观看多媒体课件了解数控机床的结构及性能，掌握数控操作系统面板上按键的作用、数控车床的操作方法及相关的安全文明操作规程等内容；通过程序输入掌握按键的使用方法。

知识准备

一、数控车床的组成

数控车床一般由计算机数控装置、可编程控制器 PLC 及电气控制装置、输入/输出设备、伺服单元、驱动装置、测量装置及机床本体组成。

1. 计算机数控装置

(1) 组成

数控装置是数控机床的核心，主要包括计算机系统、位置控制板、PLC 接口板、通信接口板、特殊功能模块以及相应的控制软件等。

(2) 作用

接受控制介质上的数字化信息，经过控制软件或逻辑电路进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种信号和指令，控制机床的各个部分，进行规定的、有序的运动。

2. 可编程控制器 (PLC)、机床 I/O 电路和装置

(1) 组成

① PLC：用于完成与逻辑运算有关顺序动作的 I/O 控制，它由硬件和软件组成。

② 机床 I/O 电路和装置：实现 I/O 控制的执行部件。

(2) 作用

保证灵敏准确地跟踪 CNC 装置指令。

① 接受 CNC 的 M、S、T 指令，对其进行译码并转换成对应的控制信号，控制辅助装置完成机床相应的开关动作。可编程控制器的特点：响应快、性能可靠、易于使用、编程和修改程序快捷方便，并可直接驱动机床电器。

② 接受操作面板和机床检测的 I/O 信号，送给 CNC 装置，经其处理后，输出指令控制 CNC 系统的工作状态和机床的动作。

3. 输入 / 输出设备

输入装置的作用是将控制介质（将零件加工信息传送到数控装置去的程序载体）上的数控代码传递并存入数控系统内。如移动硬盘、U 盘、磁盘等。输出装置的作用是将数控程序、代码或数据进行打印或显示等。数控系统一般配有 CRT 显示器或点阵式液晶显示器，显示信息丰富，有些还能显示图形。

4. 伺服单元、驱动装置和检测装置

(1) 伺服单元

伺服单元是数控装置和机床本体的联系环节，它接受数控装置的指令信息，并按指令信息的要求控制执行部件的进给速度、方向和位移。它把来自 CNC 装置的微弱指令信号放大成控制驱动装置的大功率信号。常用的位移执行机构有步进电动机、直流伺服电动机、交流伺服电动机。

(2) 驱动装置

驱动装置把经放大的指令信号变成机械运动，通过简单的机械连接部件驱动机床，使工作台精确定位或按规定的轨迹做严格的相对运动，最后加工出所要求的零件。

(3) 检测装置

检测装置把机床工作台的实际位移转变成电信号反馈给 CNC 装置，供 CNC 装置与指令值比较产生误差信号，以控制机床向消除该误差的方向移动。测量装置安装在数控机床的工作台或丝杠上，按有无检测装置，数控系统可分为开环系统和闭环系统；而按测量装置安装的位置不同可分为全闭环数控系统与半闭环数控系统。检测装置的作用是检测数控机床各个坐标轴的实际位移量，经反馈系统输入到机床的数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量与设定值进行比较，控制伺服机构按指令设定值运动。常用的检测元件有：直线光栅、光电编码器、圆光栅、绝对式编码器等。

5. 机床本体

机床本体是用于完成各种切削加工的机械部分。包括主运动部件、进给运动执行部件（如滑板及其传动部件）和床身等。

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05

二、数控车床的分类

数控车床的品种规格繁多，从不同的技术或经济指标出发，可以对数控车床进行各种不同的分类。根据数控车床的功能和组成，一般可以按下面几种原则进行分类。

1. 按进给伺服系统控制方式分类

(1) 开环控制系统数控车床

开环控制系统数控车床的主要特征是该车床系统内没有位置检测反馈装置。这类车床的控制精度主要取决于伺服系统的传动链及步进电机本身，控制精度不高。但结构简单，反应迅速，工作稳定、可靠，调试、维修方便，其控制流程如图 1-1 所示。

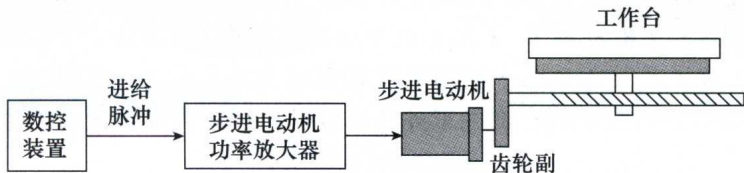


图 1-1 开环控制系统

(2) 半闭环控制系统数控车床

这种数控车床在机床的控制过程中形成部分位置随动控制环路，不把机械传动装置等部分包括在内，故称该控制环路为“半闭环”。这种车床的位置测量元件不是测量工作台的实际位置，而是测量伺服电机的转角，经过推算间接测量工作台位移，不能补偿数控机床传动链零件的误差，其控制流程如图 1-2 所示。

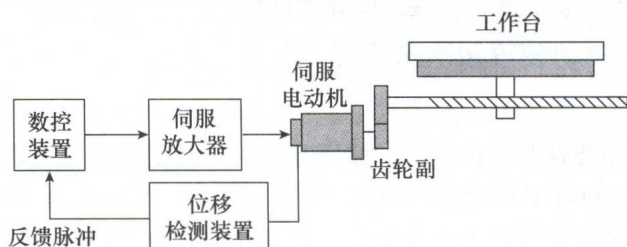


图 1-2 半闭环控制系统

(3) 全闭环控制系统数控车床

这类车床的控制精度很高，所采用的全闭环伺服系统在车床的控制过程中，形成全部位置随动控制环路，自动检测并补偿所有的位移误差。缺点是结构复杂，价格高。这种控制系统绝大多数采用伺服电机，有位置测量元件和位置比较电路，如图 1-3 所示。

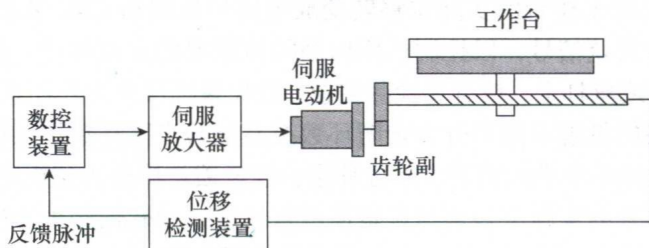


图 1-3 全闭环控制系统

2. 按功能水平分类

(1) 经济型数控车床

一般指对普通车床的进给系统进行改造后形成的简易型数控车床。此类车床通常采用步进电动机驱动的开环伺服系统，和单片机或单板机的控制系统。特点是结构简单、价格低廉，自动化程度和功能较差，车削加工精度也不高，适用于精度要求不高的回转类零件的车削加工。

(2) 标准数控车床

指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，具有数控系统功能强、自动化程度和加工精度较高的特点，适用于一般回转类零件的车削加工。这种数控车床可同时控制两个坐标轴，即 X 轴和 Z 轴。

(3) 车削中心

车削中心是在普通数控车床的基础上，增加了 C 轴和动力刀具系统，更高级的数控车床还带有刀库。可以控制 X 、 Z 和 C 三个运动坐标轴，联动运动坐标轴可以是 (X, Z) 、 (X, C) 或 (Z, C) 。由于增加了 C 轴和动力刀具系统，车削加工中心的功能大大增强了，除可以进行一般车削加工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等。

(4) FMC 车床

FMC 车床是由数控车床、机器人等构成的系统，如图 1-4 所示。它能实现工件搬运、装卸的自动化和加工调整准备的自动化操作。

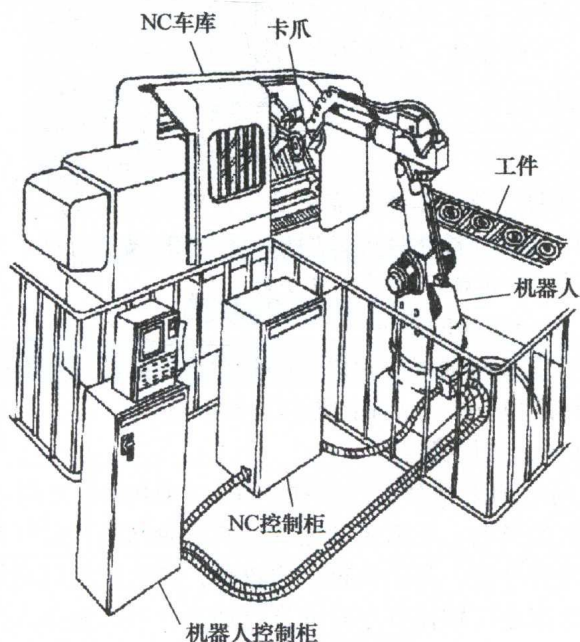


图 1-4 FMC 车床

3. 按主轴的配置形式分类

(1) 卧式数控车床

卧式数控车床是指主轴轴线与水平面平行的车床，如图 1-5 所示。卧式车床又分为数控水平导轨卧式车床和数控倾斜导轨卧式车床，其中，倾斜导轨结构的车床具有较大刚性，且易于排除切屑。

(2) 立式数控车床

立式数控车床是指主轴轴线垂直于水平面的车床。有一个直径较大的圆形工作台，主要用来加工径向尺寸较大，轴向尺寸较小的大型复杂零件，如图 1-6 所示。

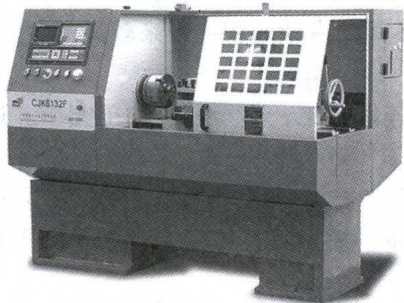


图 1-5 卧式数控车床

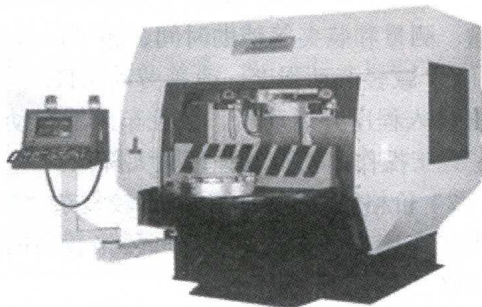


图 1-6 立式数控车床

chapter
01chapter
02chapter
03chapter
04chapter
05

三、数控车床的用途与特点

1. 数控车床的用途

车削加工是工件旋转作主运动和车刀作进给运动的切削加工方法。其主要加工对象是回转体零件。基本的车削加工内容有车外圆、车端面、切断和车槽、钻孔、车孔、车螺纹、车圆锥面、车圆弧面、车非圆曲面等。

2. 数控车床的特点

(1) 适应性强

当改变加工零件时，数控车床只需更换零件的加工程序，不必用凸轮、靠模、样板或其他模具等专用工艺装备，且可采用成组技术的成套夹具。因此，数控车床的生产准备周期短，更能适应机械产品的迅速更新换代。

(2) 适合加工复杂型面的零件

由于数控车床能够实现两轴或两轴以上的联动，所以能完成复杂型面零件的加工，特别是可用数学方程式和坐标点表示的形状复杂的零件。

(3) 加工精度高，质量稳定

数控车床有较高的加工精度，一般在 $0.005 \sim 0.01\text{mm}$ 之间。数控车床的加工精度不受零件复杂程度的影响，车床传动链的反向齿轮间隙和丝杠的螺距误差等都可以通过数控装置自动进行补偿，其定位精度比较高，同时还可以利用数控软件进行精度校正和补偿。数控车床运行数控程序自动进行加工，可以避免人为的误差，这就保证了零件加工质量的稳定性。

(4) 生产效率高

在数控车床上可以采用较大的切削用量，有效地节省了机动工时。还有自动调整、自动换刀和其他辅助操作等自动化功能，使辅助时间大为缩短，而且一般不需工序间的检验与测量，所以，比普通车床的生产效率高 $3 \sim 4$ 倍，甚至更高。

数控车床的主轴转速及进给范围都比普通车床大。目前数控车床的最高进给速度可达 $100\text{m}/\text{min}$ 以上。数控车床的加工时间利用率高达 90% ，而普通车床仅为 $30\% \sim 50\%$ 。

(5) 工序集中，一机多用

数控车床特别是车削中心，在一次装夹的情况下，几乎可以完成零件的全部加工工序，一台数控车床可以代替多台普通车床。这样可以减少装夹误差，节约工序之间的运输、测量和装夹等辅助时间，还可以节省车间的占地面积，带来较高的经济效益。

(6) 减轻劳动强度，改善劳动条件

在输入程序并启动后，数控车床就自动地连续加工，直至零件加工完毕。这样就简化了人工操作，使劳动强度大大降低。

(7) 价格较高且调试和维修较复杂

数控车床是一种技术含量和价格较高的设备，要求具有较高技术水平的人员来操作和维修。

四、数控车床的操作面板

1. 数控系统操作面板

CRT/MDI 操作面板与数控系统有关,不同的数控系统其面板也不同,一般由系统制造厂家确定。本书以 FANUC Oi 系统为例,学习数控系统操作面板,如图 1-7 所示,它由 CRT 显示器与编辑键盘两部分组成,各控制键及功能见表 1-1。

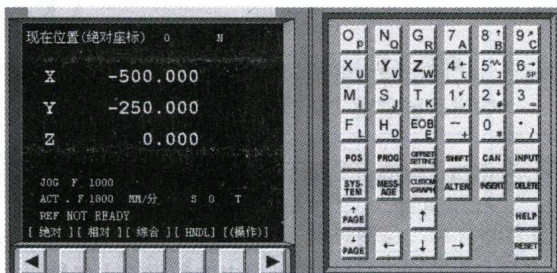


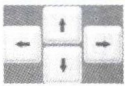




图 1-7 FANUC Oi 数控系统 MDI 操作面板

表 1-1 控制键及功能

类别	图标	按钮名称	用途
功能		位置显示按钮	显示位置,显示页面,显示刀具的坐标位置,有三种方式
		程序显示按钮	显示程序编辑页面。在编辑方式下,编辑和显示内存中的程序;在 MDI 方式下,输入和显示 MDI 数据;在自动执行方式下,显示程序指令值
		参数输入页面按钮	显示参数输入页面。按第一次进入坐标系设置页面,按第二次进入刀具补偿参数页面。进入不同的页面以后,可用 PAGE 键切换
		系统参数页面按钮	用于参数的设定、显示及自诊断功能数据的显示
		信息页面按钮	显示信息页面,如“报警”
		图形显示按钮	显示图形参数设置页面
		帮助按钮	显示系统帮助页面
复位		复位按钮	使所有操作停止,如解除报警,CNC 复位等
编辑		替代按钮	用输入的数据替代光标所在处的数据
		删除按钮	删除光标所在处的数据;也可删除一个数控程序或全部数控程序
		插入按钮	把输入域之中的数据插入到当前光标之后的位置
		消除按钮	消除输入域内的数据
		回车换行按钮	输入程序段结束符号“;”
		上挡按钮	可切换字母、数字的输入

类别	图标	按钮名称	用途
翻页		翻页按钮	向前翻页
			向后翻页
光标移动		光标移动按钮	向上、下、左、右移动光标
输入		输入按钮	把输入域内的数据输入参数页面或者输入一个外部的数控程序
数字 / 字母		数字 / 字母按钮	数字 / 字母键用于输入数据到输入区域，系统自动判别取字母还是取数字

2. 数控车床操作面板

机床操作面板是由机床制造厂家确定的，机床的类型不同，其开关的位置、按钮的功能及排列顺序有一定的差异。国产机床多用中文名字标示，进口机床多用英文名字标示，还有的用标准图标标示。常见的数控车床的操作面板如图 1-8 所示，各键的名称及功能见表 1-2。

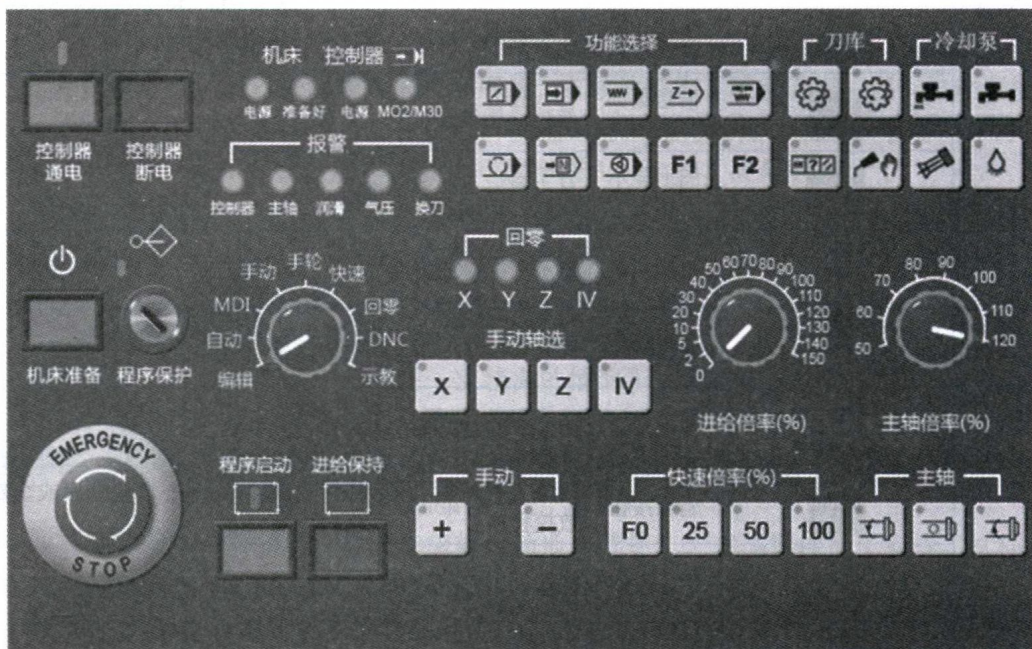


图 1-8 数控车床操作面板