



国家职业教育技能实训系列教材（项目式教学）

数控铣床编程与 操作项目教程

Shukong Xichuang Biancheng Yu Caozuo Xiangmu Jiaocheng

南京市职业教育教学研究室◎组编
朱明松 王翔◎ 编

项目驱动 任务引领
体验成功 快乐学习



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国家职业教育技能实训系列教材 (项目式教学)

数控铣床编程与操作项目教程

南京市职业教育教学研究室 组编

朱明松 王翔 编

杨清林 陶建东 审

江苏工业学院图书馆
藏书章



机械工业出版社

本书是南京职业教育课程改革的系列理论研究和实践成果之一。本书以就业为导向,以国家职业标准中级数控铣床铣工考核要求为基本依据,通过6个综合模块,讲述了数控铣床基本操作、平面图形加工、孔加工、轮廓加工、凹槽加工等基本技能。

本书在内容上,将目前使用广泛的法那克系统和西门子系统同时对比介绍,有利于学生理解和记忆。在结构上,从职业院校学生基础能力出发,遵循专业理论的学习规律和技能的形成规律,按照由简到难的顺序,设计一系列项目(课题),使学生在课题引领下学习数控铣工技能及相关的理论知识,避免理论教学与实践相脱节。在形式上,通过[学习目标]、[知识学习]、[技能训练]、[资料链接]、[操作注意事项]等形式,引导学生思考,突出关键部分和重点、难点。

本书可作为职业院校机械类和近机类各专业实训教材,也可以作为培训机构和企业的培训教材,以及相关技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床编程与操作项目教程/朱明松,王翔编. —北京:机械工业出版社,2007.9

(国家职业教育技能实训系列教材)

ISBN 978-7-111-22437-2

I. 数… II. ①朱…②王… III. ①数控机床:铣床—程序设计—技术培训—教材②数控机床:铣床—操作—技术培训—教材 IV. TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第149973号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:崔占军 责任校对:李秋荣

封面设计:张静 责任印制:杨曦

北京机工印刷厂印刷(北京双新装订有限公司装订)

2008年1月第1版第1次印刷

184mm×260mm·15.25印张·373千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-22437-2

定价:23.50元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

《国务院关于大力发展职业教育的决定》中提出：“职业教育要坚持以就业为导向，深化职业教育教学改革”。我国产业结构调整、生产技术进步和社会经济的快速发展，为职业教育事业发展提供了巨大的推动力量和广袤的发展空间，同时也对职业教育教学改革提出了新的要求和挑战。作为职业教育教学改革和职业教育内涵发展核心内容的课程改革迫在眉睫。

2005年12月南京市全面启动了职业教育课程改革，成立了以教育行政部门为主导，职业教育教研部门为主导，以骨干教师为主体，行业企业专家深度参与的课程开发与实施团队。按照“边研究、边实践、边推广”的思路，在部分重点学校的重点专业开展了系统的理论研究与实践探索，并不断总结和完善，初步建立了以能力为本位，以项目课程为主体，以职业实践为主线，具有鲜明地方特色的模块化课程体系。本书是南京职业教育课程改革的系列理论研究和实践成果之一。

本书具有以下特点：

1. 本书以就业为导向，以国家职业标准中级数控铣床铣工考核要求为基本依据。
2. 在结构上，从职业院校学生基础能力出发，遵循专业理论的学习规律和技能的形成规律，根据数控铣床加工元素的特征分教学模块，按照由简到难的顺序，设计一系列课题（项目），使学生在课题引领下学习数控铣床编程与操作的相关理论和技能，避免理论教学与实践相脱节。
3. 在内容上，将目前使用广泛的FANUC（法那克）系统和SINUMERIK（西门子）系统同时对比介绍，有利于学生理解和记忆，提高学习效率。
4. 在形式上，通过[学习目标]、[知识学习]、[技能训练]、[资料链接]、[操作注意事项]等形式，引导学生明确各课题的学习目标，学习与课题相关的知识和技能，并适当拓展相关知识，强调在操作过程中应注意的问题。

本书由江苏省六合职业教育中心校朱明松和南京市江宁职业技术教育中心王翔编写。其中，朱明松编写了模块一、模块二、模块四和模块五，王翔编写了模块三和模块六。本书由南京工程学院杨清林和南京市职业教育教研室陶建东审阅。陶建东具体负责组织和指导本书的编写。

职业教育课程改革系列教学用书的编写是一项全新的工作。由于没有成熟经验借鉴，也没有现成模式套用，尽管我们尽心竭力，遗憾在所难免，敬请读者指正。

南京市职业教育教研室

2007年8月

目 录

前言

模块一 数控铣床基本操作	1
课题一 数控铣床基础知识	1
课题二 数控铣床面板功能	8
课题三 数控铣床手动操作与试切削	18
课题四 数控铣床程序的输入与编辑	24
课题五 数控铣床 MDI (MDA) 操作及对刀	30
模块二 平面图形加工	39
课题一 直线图形加工	39
课题二 圆弧图形加工	49
课题三 一般形状图形加工及数控仿真	56
模块三 孔加工	67
课题一 钻孔	67
课题二 铰孔	79
课题三 铣孔	85
课题四 镗孔	96
课题五 攻内螺纹	106
模块四 轮廓加工	116
课题一 平面加工	116
课题二 平面外轮廓加工	124
课题三 平面内轮廓加工	135
课题四 轮廓综合加工	143
模块五 凹槽加工	152
课题一 键槽铣削	152
课题二 直沟槽、圆弧槽加工	162
课题三 腔槽综合加工	173
模块六 零件综合加工	187
课题一 零件综合加工训练 (一)	187
课题二 零件综合加工训练 (二)	199
课题三 零件综合加工训练 (三)	209
课题四 零件综合加工训练 (四)	221
课题五 零件综合加工训练 (五)	229
课题六 零件综合加工训练 (六)	231
课题七 零件综合加工训练 (七)	232
课题八 零件综合加工训练 (八)	234
参考文献	237



模块一 数控铣床基本操作

课题一 数控铣床基础知识

【学习目标】

- ① 了解数控铣床种类。
- ② 了解数控铣床组成。
- ③ 了解数控铣床的特点。
- ④ 了解数控铣床的应用场合。

【知识学习】

一、数控铣床

数控铣床是用计算机数字化信号控制的铣床。它把加工过程中所需的各种操作（如主轴变速、进刀与退刀、开车与停车、选择刀具、供给切削液等）和步骤以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码表示，通过控制介质或数控面板等将数字信息送入专用或通用的计算机，由计算机对输入的信息进行处理与运算，发出各种指令来控制机床的伺服系统或其它执行机构，使机床自动加工出所需要的工件。图 1-1-1 所示为立式数控铣床外形图。



图 1-1-1 立式数控铣床外形

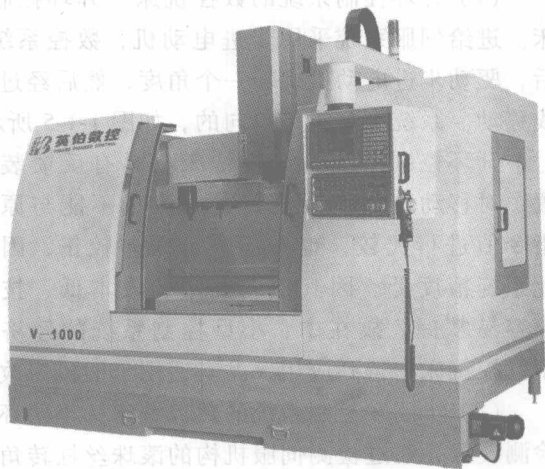


图 1-1-2 立式加工中心外形

加工中心：带刀库和自动换刀装置的数控镗铣床，图 1-1-2 所示为立式加工中心。数控铣床（加工中心）上零件的加工过程如图 1-1-3 所示。

二、数控铣床种类

1. 按机床形态分类

数控铣床有立式、卧式和龙门式三种。其中立式、卧式数控铣床应用较广。立式铣床主

轴处于垂直位置,适宜加工高度方向尺寸相对较小的工件。卧式铣床主轴是水平设置的,结构比立式复杂,占地面积较大、价格较高,宜加工箱体类零件,如图 1-1-4 所示。龙门式铣床用于加工特大型零件。本书主要以立式铣床为例。

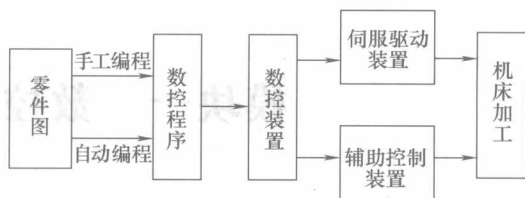


图 1-1-3 零件的加工过程

2. 按控制方式分类

按控制方式分,数控铣床可分为开环控制、半闭环控制和闭环控制的数控铣床三大类。

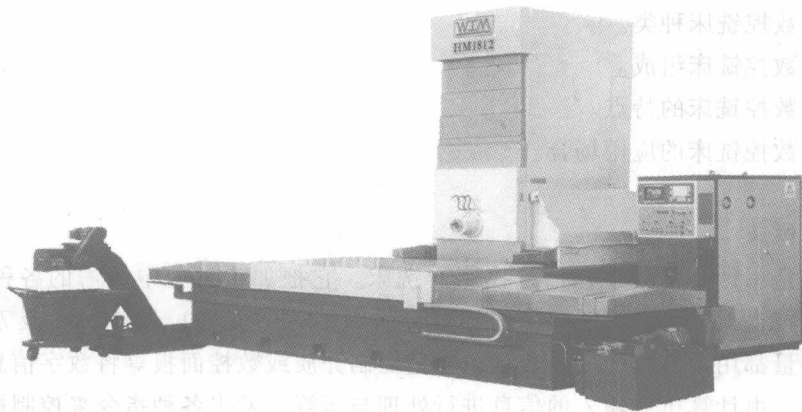


图 1-1-4 立式铣床

(1) 开环控制系统的数控铣床 开环控制系统的数控铣床是指不带反馈装置的数控铣床。进给伺服系统采用步进电动机,数控系统每发出一个指令脉冲,经驱动电路功率放大后,驱动步进电动机旋转一个角度,然后经过减速齿轮和丝杠螺母机构,转换为工作台的直线移动。系统信息流是单向的,如图 1-1-5 所示为开环控制系统框图。

开环控制系统的数控铣床不具有反馈装置,对移动部件实际位移量的测量不能与原指令值进行比较,也不能进行误差校正,因此系统精度低。因其结构简单、成本低、技术容易掌握,故在中、小型控制系统的经济型数控铣床中得到应用,尤其适用于旧机床改造的简易数控铣床中。

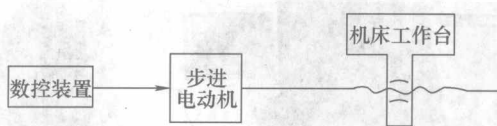


图 1-1-5 开环控制系统框图

(2) 半闭环控制系统的数控铣床 半闭环控制系统的数控铣床在伺服机构中装有角位移检测装置,通过检测伺服机构的滚珠丝杠转角间接测量移动部件的位移,然后反馈到数控装置中,与输入原指令位移值进行比较,用比较后的差值进行控制,以弥补移动部件位移,直至差值消除为止。由于丝杠螺母机构不包括在闭环之内,所以丝杠螺母机构的误差仍然会影响移动部件的位移精度,如图 1-1-6 所示为半闭环控制系统框图。

半闭环控制系统的数控铣床(加工中心)采用伺服电动机,结构简单、工作稳定、使用



图 1-1-6 半闭环控制系统框图

维修方便，目前应用比较广泛。

(3) 闭环控制系统的数控铣床 闭环控制系统的数控铣床在机床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置，将检测到的实际位移反馈到数控装置中，与输入的原指令位移值进行比较，用比较后的差值控制移动部件作补充位移，直到差值消除时才停止，达到精度要求。图 1-1-7 所示为闭环控制系统框图。

闭环控制系统数控铣床的优点是定位精度高（一般可达 0.01mm，最高可达 0.001mm），但结构复杂、维修困难、成本高，一般用于加工精度要求很高的场合。

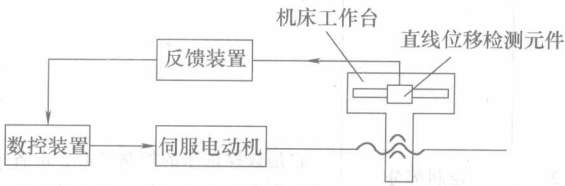


图 1-1-7 闭环控制系统框图

3. 按数控系统分类

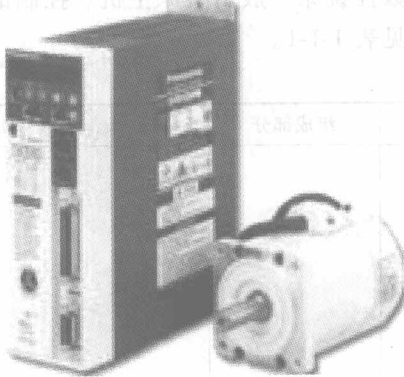
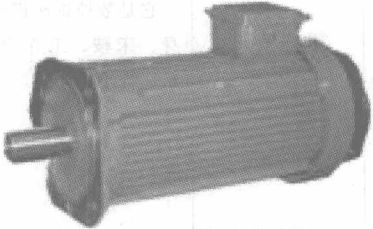
目前工厂常用的数控系统有 FANUC（法那克）数控系统、SIEMENS（西门子）数控系统、华中数控系统、广州数控系统、三菱数控系统等。每一种数控系统又有多种型号，如 FANUC（法那克）系统从 0i 到 23i；SIEMENS（西门子）系统从 SINUMERIK 802S、802C 到 802D、810D、840D 等。各种数控系统指令各不相同，同一系统不同型号，其数控指令也略有差别，使用时应以数控系统说明书指令为准。本书以 FANUC（法那克）0i-MB 系统和 SINUMERIK（西门子）802S/C 系统为例。

三、数控铣床组成

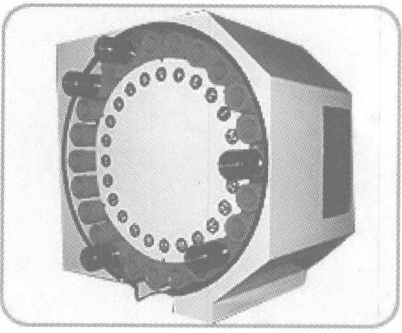
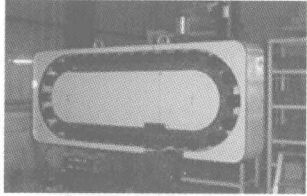
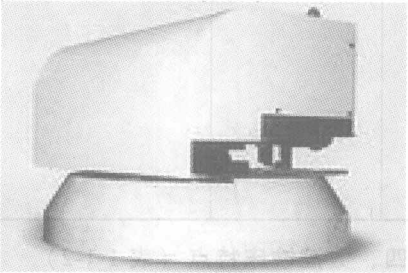
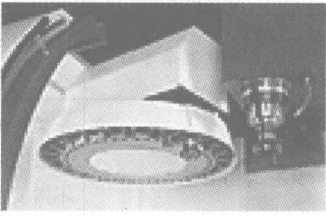
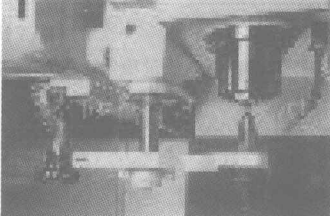
数控铣床一般由机床主机、控制部分、驱动部分、刀库及自动换刀装置、辅助部分组成，见表 1-1-1。

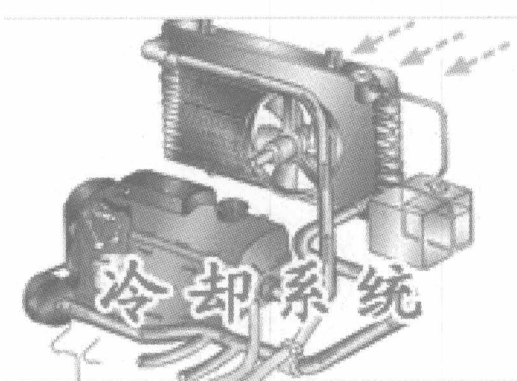
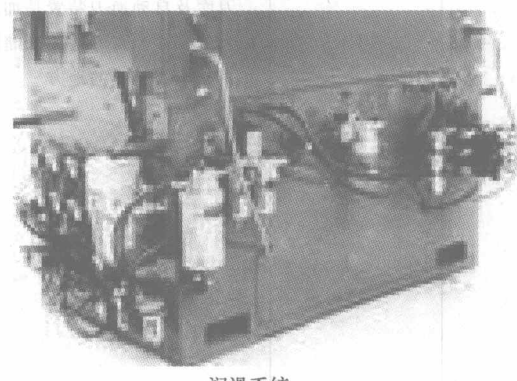
表 1-1-1 数控铣床的组成部分

序号	组成部分	说 明	图 例
1	机床主机	它是数控铣床机械本体，包括床身、床鞍、工作台、立柱、主轴箱、进给机构等	

序号	组成部分	说 明	图 例
2	控制部分	它是数控铣床的控制核心, 由各种数控系统完成对数控铣床的控制	 数控系统
3	驱动部分	驱动部分是数控铣床执行机构的驱动部件, 包括主轴电动机和进给伺服电动机	 主轴变频电动机  伺服电动机

(续)

序号	组成部分	说 明	图 例
4	刀库	刀库及自动换刀装置是加工中心特有的部件。刀库是用来储存刀具和其它辅助工具的地方	 圆盘式刀库  卧式刀库  斗笠卧式刀库
5	自动换刀装置	自动换刀装置是将加工中心主轴上的刀具与刀库中的刀具交换的机构，由换刀指令完成加工中心的换刀	 无机手自动换刀装置  机械手换刀装置

序号	组成部分	说 明	图 例
6	辅助部分	它是数控铣床的一些配套部件，包括液压装置、气动装置、冷却系统、润滑系统、自动清屑器等	 冷却系统  润滑系统

四、数控铣床特点（表 1-1-2）

表 1-1-2 数控铣床特点

序号	特 点	说 明
1	能加工形状复杂零件	数控铣床（加工中心）因能实现多坐标联动，所以容易实现许多普通机床难以完成或无法加工的空间曲线、曲面，如形状复杂的模具加工
2	具有高度柔性	柔性即“灵活”、“可变”，是相对“刚性”而言。使用数控铣床，当加工的零件改变时，只需要重新编写（或修改）数控加工程序即可实现对新的零件的加工，不需要重新设计模具、夹具等工艺装备，对多品种、小批量零件的生产，适应性强，生产周期短
3	加工精度高、质量稳定	数控铣床按照预定的加工程序自动加工工件。加工过程中消除了操作者人为的操作误差，能保证零件加工质量的一致性，而且还可以利用反馈系统进行校正及补偿加工精度。因此，可以获得比机床本身精度还要高的加工精度及重复精度
4	自动化程度高、工人劳动强度低	在数控铣床上加工零件时，操作者除了输入程序、装卸工件、对刀、关键工序的中间检测及观察机床运行之外，不需要进行其它复杂手工操作，劳动强度和紧张程度均大为减轻。此外，机床上都具有较好的安全防护、自动排屑、自动冷却等装置，操作者的劳动条件大为改善

(续)

序号	特 点	说 明
5	生产效率高	数控机床结构刚性好, 主轴转速高, 可以进行大切削用量的强力切削。此外, 机床移动部件的空行程运动速度快, 加工时所需的切削时间和辅助时间均比普通机床少, 生产率比普通机床一般高 2~3 倍; 加工形状复杂的零件, 生产效率可高达十几倍到几十倍
6	经济效益高	使用数控机床加工零件时, 分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的, 但在单件、小批生产情况下, 可以节省许多其它方面的费用, 如减少划线、调整、检验时间而直接减少生产费用; 节省工艺装备, 减少装备费用等而获得良好的经济效益; 此外, 加工精度稳定, 减少了废品率; 数控机床还可实现一机多用, 节省厂房、节省建厂投资等
7	有利于生产管理的现代化	用数控机床加工零件, 能准确地计算零件的加工工时, 并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。其加工及操作均使用数字信息与标准代码输入, 最适于与计算机联系, 目前已成为计算机辅助设计、制造及管理一体化的基础

五、数控机床的应用场合

数控机床比一般机床具备许多优点, 但是这些优点都是以一定条件为前提的。数控机床的应用范围在不断扩大, 但它并不能完全代替其它类型的机床, 也还不能以最经济的方式解决机械加工中的所有问题。它常最适应于以下几种情况:

1) 多品种、小批量生产的零件。图 1-1-8 所示为三类机床的零件加工批量数与综合费用的关系。零件加工批量大时选用数铣床是不利的, 而选择专用机床效率高、费用低。通常, 采用数控机床加工的合理生产批量为 10~100 件。

2) 结构比较复杂的零件。图 1-1-9 所示为三类机床的被加工零件复杂程度与零件批量大小的关系。通常数控机床适宜加工结构比较复杂, 在非数控机床上加工时需要昂贵的工艺装备(工具、夹具和模具)及无法加工的零件。

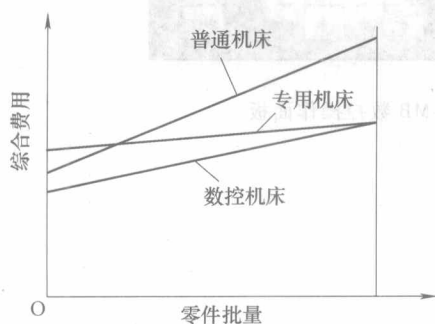


图 1-1-8 加工批量数与综合费用的关系

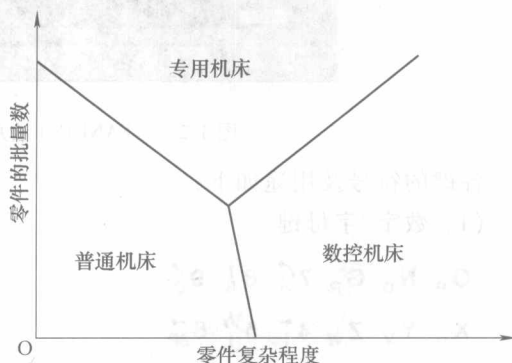


图 1-1-9 零件复杂程度与批量数的关系

3) 需要频繁改形的零件。当生产的产品不断更新, 使用数控机床只需更改相应数控加工程序即可, 从而节省大量的工艺装备, 使综合费用降低。

4) 价值昂贵, 不允许报废的关键零件。

5) 设计制造周期短的急需零件。

6) 批量较大精度要求较高的零件。

【思考与练习】

1. 数控铣床由哪几个部分组成？
2. 目前工厂中常用数控系统有哪些？
3. 数控铣床加工特点有哪些？
4. 数控铣床用于什么场合？

课题二 数控铣床面板功能

【学习目标】

- ① 掌握 FANUC（法那克）Oi-MB 系统数控铣床面板功能。
- ② 掌握 SINUMERIK（西门子）802S/C 系统数控铣床面板功能。
- ③ 掌握数控铣床安全操作规程。
- ④ 熟悉数控铣床的日常维护及保养。

【知识学习】

一、FANUC（法那克）Oi-MB 系统数控铣床面板功能

1. CRT/MDI 数控操作面板

图 1-2-1 所示为 FANUC（法那克）Oi-MB 数控操作面板。



图 1-2-1 FANUC（法那克）Oi-MB 数控操作面板

各键的符号及用途如下：

(1) 数字/字母键

O_P N_Q G_R 7_A 8_B 9_C
 X_U Y_V Z_W 4_T 5_M 6_S
 M_I S_J T_K 1_L 2_N 3_P
 F_L H_D EOB_E - + 0 . /

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。字母和数字键通过 ^{SHIFT}（上档）键切换输入，例如，O—P，7—A。

(2) 编辑键

ALTER 替换键 用输入的数据替换光标所在的数据。

DELTE 删除键 删除光标所在的数据，或者删除一个程序或者删除全部程序。

INSERT 插入键 把输入区之中的数据插入到当前光标之后的位置。

CAN 取消键 消除输入区内的数据。

EOB_E 回车换行键 结束一程序的输入并且换行。

SHIFT 上档键。

(3) 页面切换键

PROG : 程序显示与编辑页面。

POS : 位置显示页面。位置显示有三种方式，用 **PAGE** 按钮选择。

OFFSET SET : 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，用 **PAGE** 按钮切换。

SYSTEM : 系统参数页面。

MESGE : 信息页面，如“报警”信息。

CUSTM GRAPH : 图形参数设置页面。

HELP : 系统帮助页面。

(4) 翻页按钮 (**PAGE**)

PAGE ↑ 向上翻页。

PAGE ↓ 向下翻页。

(5) 光标移动 (**CURSOR**)

↑ 向上移动光标。

← 向左移动光标。

↓ 向下移动光标。

→ 向右移动光标。

(6) 输入键

 输入键 把输入区内的数据输入参数页面。

 复位键。

2. 机床操作面板（以北京 FANUC 0i-M 标准操作面板为例）

机床操作面板如图 1-2-2 所示，主要用于控制机床的运动和选择机床运行状态，由模式选择旋钮、数控程序运行控制开关等多个部分组成，每一部分的详细说明见表 1-2-1。

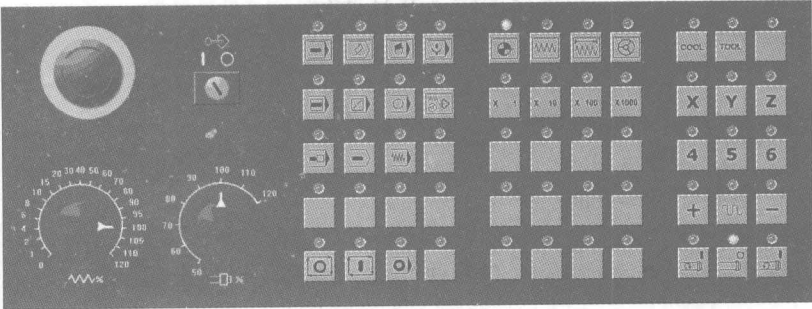


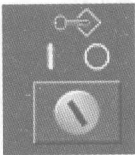
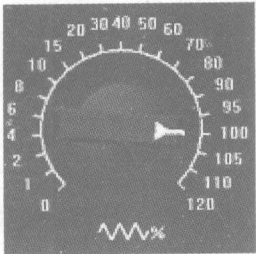
图 1-2-2 北京 FANUC 0i-M 标准操作面板

表 1-2-1 FANUC 0i-M 机床操作面板按键功能

按 键	功 能
	AUTO (MEM) 键（自动模式键）：进入自动加工模式
	EDIT 键（编辑键）：用于直接通过操作面板输入数控程序和编辑程序
	MDI 键（手动数据输入键）：用于直接通过操作面板输入数控程序和编辑程序
	文件传输键：通过 RS232 接口把数控系统与电脑相联并传输文件
	REF 键（回参考点键）：通过手动回机床参考点
	JOG 键（手动模式键）：通过手动连续移动各轴
	INC 键（增量进给键）：手动脉冲方式进给

(续)

按 键	功 能
	HNDL 键（手轮进给键）：按此键切换成手摇轮移动各坐标轴
	切削液开关键：按下此键，切削液开
	刀具选择键：按下此键在刀具库中选刀
	SINGL 键（单段执行键）：自动加工模式和 MDI 模式中，单段运行
	程序段跳键：在自动模式下按此键，跳过程序段开头带有“/”程序
	程序停键：自动模式下，遇有 M00 指令程序停止
	程序重启键：由于刀具破损等原因自动停止后，程序可以从指定的程序段重新启动
	程序锁开关键：按下此键，机床各轴被锁住
	空运行键：按下此键，各轴以固定的速度运动
	机床主轴手动控制开关：手动模式下按此键，主轴正转
	机床主轴手动控制开关：手动模式下按此键，主轴停
	机床主轴手动控制开关：手动模式下按此键，主轴反转
	循环（数控）停止键：数控程序运行中，按下此键停止程序运行
	循环（数控）启动键：模式选择旋钮在“AUTO”和“MDI”位置时按下此键自动加工程序，其余时间按下无效

按 键	功 能
	X 轴方向手动进给键
	Y 轴方向手动进给键
	Z 轴方向手动进给键
	正方向进给键
	快速进给键，手动方式下，同时按住此键和一个坐标轴点动方向键，坐标轴以快速进给速度移动
	负方向进给
	选择手动移动时每一步的距离。X1 为 0.001mm
	选择手动移动时每一步的距离。X10 为 0.01mm
	选择手动移动时每一步的距离。X100 为 0.1mm
	选择手动移动时每一步的距离。X1000 为 1mm
	程序编辑开关：置于“ON”位置，可编辑程序
	进给速度 (F) 调节旋钮：调节进给速度，调节范围从 0 ~ 120%