



高职高专“十二五”规划教材

数控铣床编程与加工

SHUKONG XICHUANG BIANCHENG YU JIAGONG

高利平 主编



化学工业出版社

高职高专“十二五”规划教材

数控铣床编程与加工

高利平 主编

 化学工业出版社

· 北 京 ·

本书以数控铣床、加工中心机床的编程与操作为核心,以 FANUC 0i 系统为例编写,内容包括数控铣床的基础知识,数控铣床面板功能及基本操作,安全操作规程及机床保养维护,普通平面铣削加工,台阶面铣削加工,直线外轮廓的加工,圆弧外轮廓的加工,外轮廓综合加工,钻、铰、扩孔加工,攻螺纹加工,镗孔加工,凹槽加工,型腔加工,内轮廓综合加工,数控铣床综合零件的加工等。书中内容由浅入深,图文并茂,实例丰富,着重于应用,理论部分突出简明性、系统性、实用性和先进性。为方便教学,配套电子课件。

本书可作为高等职业技术学院、中等职业技术学校及技师学院数控、模具、机制、机电等专业的教学用书,也可供相关工程技术人员、数控机床操作人员进行学习和培训使用。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床编程与加工/高利平主编. —北京:化学工业出版社, 2012. 7

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-122-14481-2

I. 数… II. 高… III. ①数控机床-铣床-程序设计-
高等职业教育-教材②数控机床-铣床-加工-高等职业
教育-教材 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 123855 号

责任编辑:韩庆利

装帧设计:韩 飞

责任校对:宋 夏

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装 订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张 9¼ 字数 223 千字 2012 年 8 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价: 22.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是“工学结合、校企合作”人才培养模式下，以“服务为宗旨，就业为导向，能力培养为目标”的办学方针指导下进行的项目化教学课程改革教材。全书围绕职业能力目标的实现，突出以学生为主体，项目为载体，实训为方法，理实相结合，教学做练一体。

基于目前数控教学的特点，编者根据多年来的一线操作和教学经验，并借鉴一直在机加工岗位从事操作人员的经验，开发了既符合高职高专教学需要，又适应其他不同层次学习者的要求的教材。本书可作为高等职业技术学院、中等职业技术学校及技师学院数控、模具、机制、机电等专业的教学用书，也可供相关工程技术人员、数控机床操作人员作为学习和培训使用。

本书以数控铣床、加工中心机床的编程与操作为核心，以 FANUC 0i 系统为例编写，取材新颖，内容由浅入深，循序渐进、图文并茂、实例丰富、着重于应用，理论部分突出简明性、系统性、实用性和先进性。项目一主要介绍了数控铣床的基础知识、数控铣床面板功能及基本操作、安全操作规程及机床保养维护；项目二介绍了普通平面铣削加工、台阶面铣削加工；项目三介绍了直线外轮廓的加工、圆弧外轮廓的加工、外轮廓综合加工；项目四介绍了钻、铰、扩孔加工、攻螺纹加工、镗孔加工；项目五介绍了凹槽加工、型腔加工、内轮廓综合加工；项目六介绍了数控铣床综合零件的加工。

本书由南通农业职业技术学院高利平担任主编，南通农业职业技术学院高素琴和南通工贸技师学院唐志坚担任副主编，南通农业职业技术学院王惠参编。项目一、二由高素琴负责编写，项目三由唐志坚负责编写，项目四由高利平、高素琴、王惠共同编写，项目五、六由高利平负责编写。全书由高利平统稿。

本教材的编写，得到了南通农业职业技术学院领导和老师的大力支持，在此一并表示感谢。

本教材有配套电子课件，可免费赠送给用本书作为授课教材的院校和老师，如有需要，可发邮件至 hqlbook@126.com 索取。

由于编者水平有限，书中难免有不足之处，望读者和同仁提出宝贵意见。

编者

目 录

项目一	数控铣床基本操作	1
课题一	数控铣床基础知识	1
课题二	数控铣床面板功能及基本操作	3
课题三	安全操作规程及机床保养维护	19
项目二	平面铣削加工	24
课题一	普通平面铣削加工	24
课题二	台阶面铣削加工	32
项目三	外轮廓加工	43
课题一	直线外轮廓的加工	43
课题二	圆弧外轮廓的加工	53
课题三	外轮廓综合加工	60
项目四	孔系加工	67
课题一	钻、铰、扩孔加工	67
课题二	攻螺纹加工	78
课题三	镗孔加工	84
项目五	内轮廓加工	91
课题一	凹槽加工	91
课题二	型腔加工	96
课题三	内轮廓综合加工	104
项目六	综合零件加工	110
课题一	综合零件加工（一）	110
课题二	综合零件加工（二）	117
课题三	综合零件加工（三）	125
课题四	综合零件加工（四）	135
课题五	综合零件加工（五）	136
课题六	综合零件加工（六）	138
课题七	综合零件加工（七）	139
课题八	综合零件加工（八）	140
	参考文献	143

项目一 数控铣床基本操作

课题一 数控铣床基础知识

【学习目标与要求】

1. 了解数控铣床结构。
2. 了解数控铣床种类。
3. 了解数控铣床特点及加工范围。

【知识学习】

一、数控铣床

数控铣床是机床设备中应用非常广泛的加工机床，它可以进行平面铣削、平面型腔铣削、外形轮廓铣削、三维及三维以上复杂型面铣削，还可进行钻削、镗削、螺纹切削等孔加工。加工中心、柔性制造单元等都是在数控铣床的基础上产生和发展起来的。图 1-1 所示为数控铣床外形图。

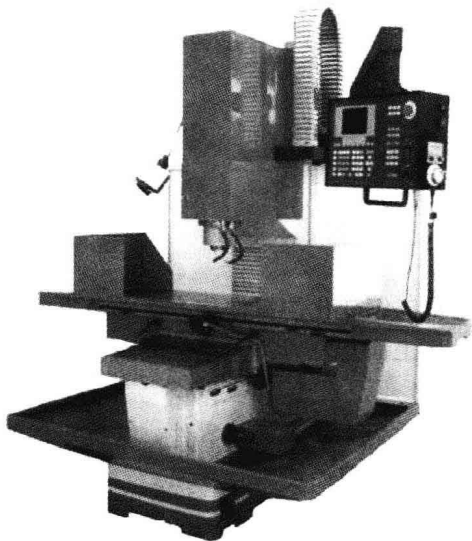


图 1-1 数控铣床

二、数控铣床的组成

主要是由 4 大部分组成：

- (1) CNC 系统 是数控铣床的控制核心，由各种数控系统完成对机床的控制。
- (2) 伺服系统 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。
- (3) 机械系统 是机床的主体，包括床身、主轴、铣头、升降台、床鞍、工作台。
- (4) 辅助系统 是数控铣床的配套部件，包括液压装置、气动装置、冷却系统、润滑系统、自动清屑器等。

三、数控铣床种类

- (1) 按机床主轴位置分——立式、卧式、立卧两用、龙门式；
- (2) 按工艺用途分——普通 NCM、MC 等；
- (3) 按数控系统分——FANUC（法那克）、SIEMENS（西门子）、三菱、华中、广数等；

(4) 按运动方式分——点位、直线、轮廓控制 NCM；

(5) 按伺服系统分——开环、半闭环、闭环 NCM；

(6) 按功能水平分——经济、标准、多功能 NCM。

四、数控铣床特点及加工范围

铣削加工是机械加工中最常用的加工方法之一，它主要包括平面铣削和轮廓铣削，也可以对零件进行钻、扩、铰、镗、铰加工及螺纹加工等。数控铣削主要适合于下列几类零件的加工。

1. 平面类零件

平面类零件是指加工面平行或垂直于水平面，以及加工面与水平面的夹角为一定值的零件，这类加工面可展开为平面。如图 1-2 所示。

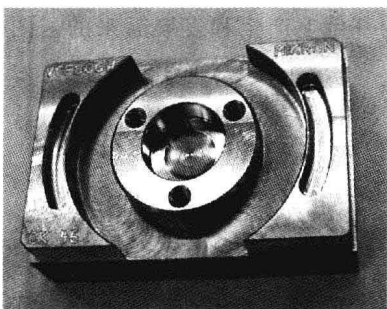


图 1-2 平面类零件

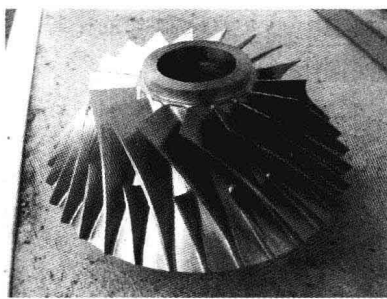


图 1-3 变斜角类零件

2. 变斜角类零件

加工面与水平面的夹角呈连续变化的零件称为变斜角类零件，其特点是：加工面不能展开为平面，但在加工中，加工面与铣刀圆周接触的瞬间为一条直线。如图 1-3 所示。

3. 立体曲面类零件

加工面为空间曲面的零件称为立体曲面类零件。这类零件的加工面不能展成平面，一般使用球头铣刀切削，加工面与铣刀始终为点接触，若采用其他刀具加工，易于产生干涉而铣伤邻近表面。加工立体曲面类零件一般使用三坐标数控铣床。如图 1-4 所示。

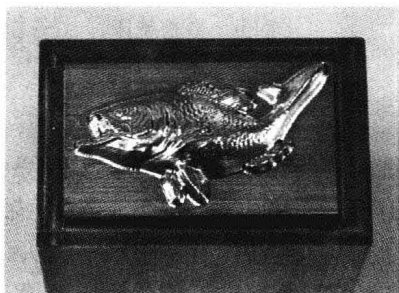


图 1-4 曲面类零件

【练习与思考】

1. 目前市场上常见的数控系统有哪些？
2. 数控铣床由哪几部分组成？
3. 数控机床适用场合有哪些？

课题二 数控铣床面板功能及基本操作

【学习目标与要求】

1. 了解 FANUC 0i Mate-MC 数控铣床操作面板各按键功能。
2. 掌握 FANUC 0i Mate-MC 数控系统的基本操作。
3. 熟练掌握工件、刀具装夹方法。

【知识学习】

一、操作面板功能

FANUC 0i Mate-MC 数控系统面板主要由三部分组成，即 CRT 显示屏、编辑面板及操作面板。

1. FANUC 0i Mate-MC 数控系统 CRT 显示屏及按键

FANUC 0i Mate-MC 数控系统 CRT 显示屏及按键见图 1-5。CRT 显示屏下方的软键，其功能是可变的。在不同的方式下，软键功能依据 CRT 画面最下方显示的软键功能提示。如图 1-6 所示。



图 1-5 FANUC 0i Mate-MC 数控系统 CRT 显示屏

2. FANUC 0i Mate-MC 数控系统编辑面板按键

FANUC 0i Mate-MC 数控系统编辑面板如图 1-7 所示，其各按键名称及用途见表 1-1、表 1-2 所示。



(a) 程序画面

(b) 刀偏/设定画面

(c) 位置画面

图 1-6 FANUC 0i Mate-MC 数控系统 CRT 显示屏各画面

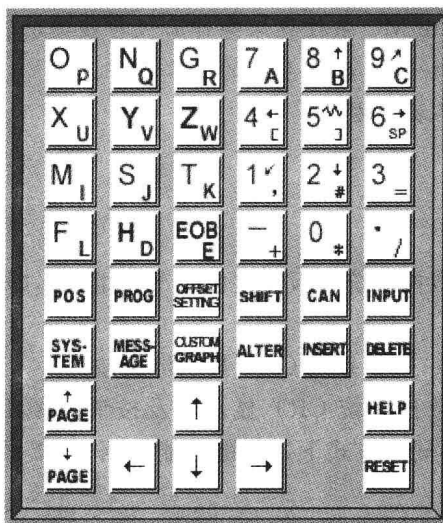
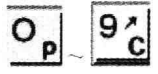
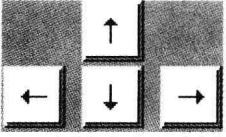


图 1-7 FANUC 0i Mate-MC 数控系统编辑面板

表 1-1 FANUC 0i Mate-MC 数控系统主菜单功能键的符号和用途

序号	键符号	按键名称	用 途
1		位置键	荧屏显示当前位置画面,包括绝对坐标、相对坐标、综合坐标(显示绝对、相对坐标和余移量、运行时间、实际速度等)
2		程序键	荧屏显示程序画面,显示的内容由系统的操作方式决定 a. 在 AUTO(自动执行)或 MDI(manual data input 手动数据输入)方式下,显示程序内容、当前正在执行的程序段和模态代码、当前正在执行的程序段和下一个将要执行的程序段、检视程序执行或 MDI 程序 b. 在 EDIT(编辑)方式下,显示程序编辑内容、程序目录
3		刀偏设定键	荧屏显示刀具偏移值、工件坐标系等
4		系统键	荧屏显示参数画面、系统画面
5		信息键	荧屏显示报警信息、操作信息和软件操作面板
6		图形显示键	辅助图形画面,CNC 描述程序轨迹

表 1-2 FANUC 0i Mate-MC 数控系统功能键的符号和用途

序号	键符号	按键名称	用 途
1	 ( ~  等 23 个键)	数字和字符键	每个键都至少包含字母、数字键各一个。在系统键入时会根据需要自行选择字母或数字
2		复位键	用于 CNC 复位或者取消报警等
3		帮助键	按此键用来显示如何操作机床,如 MDI 键的操作。可在 CNC 发生报警时提供报警的详细信息、帮助功能
4		换档键	在有些键顶部有二个字符。按住此键来选择字符,当一个特殊字符 ^ 在屏幕上显示时,表示键面右下角的字符可以输入
5		输入键	用来对参数键入、偏置量设定与显示页面内的数值输入
6		取消键	按此键可删除已输入到键的输入缓冲器的最后一个字符或符号
7		替换键	替换光标所在的字
		插入键	在光标所在字后插入
		删除键	删除光标所在字,如光标为一程序段首的字则删除该段程序,此外还可删除若干段程序、一个程序或所有程序
8		光标移动键	向程序的指定方向逐字移动光标
9		翻页键	向屏幕显示的页面向上、向下翻页
10		分段键	该键是段结束符

3. FANUC 0i Mate-MC 数控系统操作面板按键及旋钮

FANUC 0i Mate-MC 数控系统操作面板如图 1-8 所示,其各按键或旋钮名称及用途见表 1-3 所示。

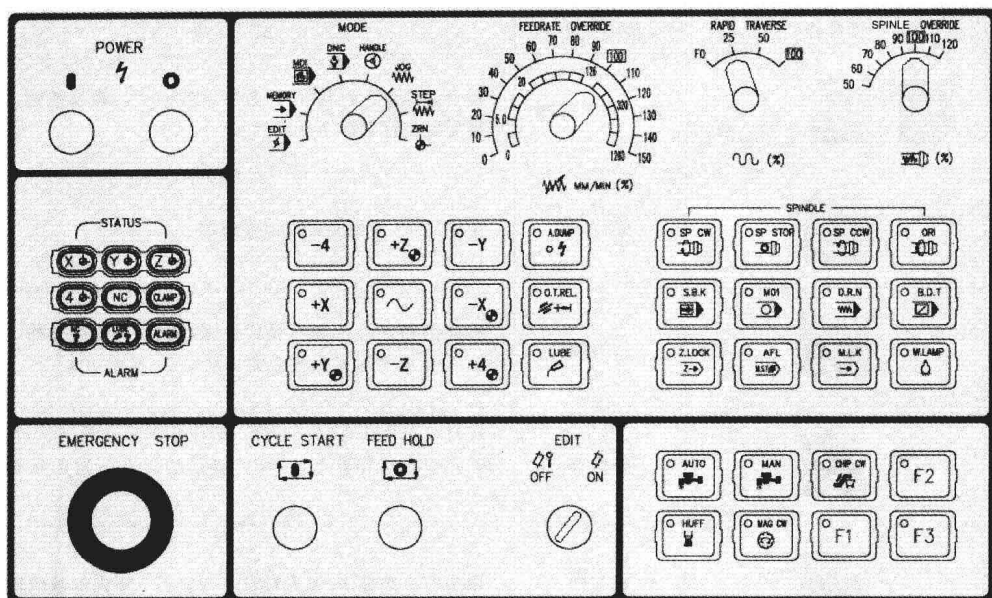
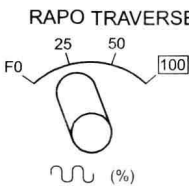
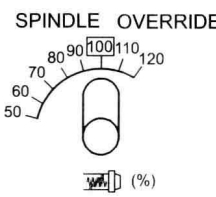
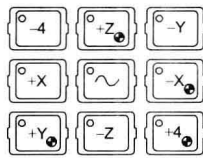


图 1-8 FANUC 0i Mate-MC 数控系统操作面板

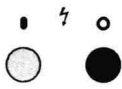
表 1-3 FANUC 0i Mate-MC 系统机床控制面板各键和按钮的功能

序号	键、旋钮符号	键、旋钮名称	功能说明
1		急停按钮	紧急情况下按下此按钮,机床停止一切运动
2		操作模式旋钮	用于选择一种工作模式; 编辑模式:用于编写、修改程序。 自动加工模式:用于自动执行程序。 MDI 录入模式:可输入一个程序段后立即执行,不需要完整的程序格式。用以完成简单的工作。 DNC 模式:用于机床在线加工。 手轮模式:选择相应的轴向及手轮进给倍率,实现旋动手轮来移动坐标轴。 JOG 模式:按相应的坐标轴按钮来移动坐标轴,其移动速度取决于“进给倍率修调”值的大小。 STEP 模式:启动脉冲运动功能。每次选择按下轴向键的一个按键,只会在选定的轴和方向移动一个选定的“脉冲步进当量”。因为机床有了手动脉冲,有些机床上该按钮无效。 ZRN 回参考点模式:使各坐标轴返回参考点位置并建立机床坐标系
3		进给倍率旋钮	按百分率强制调整进给的速度。 外圈为修调分度率(%):在 0~150% 的范围内,以每 10% 的增量,修调坐标轴移动速度。 内圈为进给率分度:在点动模式下,在 0~1260mm/min 范围内调整坐标轴移动速度

续表

序号	键、旋钮符号	键、旋钮名称	功能说明
4		快速倍率旋钮	用于在 0~100% 的范围内,以每次 25% 的增量按百分率强制调整快速移动的速度
5		主轴旋转倍率旋钮	可在 50%~120% 的范围内,以每次 10% 的增量调整主轴旋转倍率
6		轴选择键及快速进给键	在 JOG 模式下按下某轴方向键即向指定的轴方向移动。每次只能按下一个按钮,且按下时,坐标就移动,松手即停止移动。 在按下轴进给键的同时按下快速进给键,可向指定的轴方向快速移动(G00 进给),即通常所说的“快速叠加”
7		单段执行键	在 AUTO、MDI 模式,选择该按键,启动单段执行程序功能。即运行完一个程序段后,机床进给暂停,再按下循环启动键,机床再执行下一个程序段
8		选择停止键	在 AUTO 方式,选择该按键,结合程序中的 M01 指令,程序执行将暂停,直到按下循环启动键才恢复自动执行程序
9		空运行键	在 AUTO 模式下,选择该按键,CNC 系统将按参数设定的速度快速执行程序。除 F 指令不执行外,程序中的所有指令都被执行
10		跳段执行键	在 AUTO 模式下,选择该按键,结合程序中的跳段符“/”,可越过所有含有“/”的程序段,执行后续的程序段
11		Z 轴锁键	在 AUTO 模式下,选择该按键,CNC 系统将执行加工程序而不输出 Z 轴控制信息,即 Z 轴的伺服元件无动作。该方式只能检查程序的语法错误,检查不出 NC 数据的错误
12		辅助功能锁键	在 AUTO 模式下,选择该按键将使辅助功能指令无效
13		伺服元件锁键	在 AUTO 模式下,选择该按键,CNC 系统将只执行加工程序而不输出控制信息,即所有的伺服元件无动作。该方式只能检查程序的语法错误,检查不出 NC 数据的错误,因此很少用到该功能
14		机床照明键	按此键使其指示灯亮为开机床照明灯,按此键使其指示灯灭为关机床照明灯

续表

序号	键、旋钮符号	键、旋钮名称	功能说明
15	CYCLE START 	循环启动键	伺服在 AUTO、MDI 方式下,若按该按键,选定的程序、MDI 键入的程序段将自动执行
16	FEED HOLD 	进给保持键	在程序执行过程中,若按该按键,进给和程序执行立即停止,直到启用循环启动键
17		主轴正转键	在 JOG 模式或手轮模式且主轴已经赋值过转速的情况下,启用该键,主轴正转。应该避免主轴直接从反转启动到正转,中间应该经过主轴停止转换
18		主轴停转键	在 JOG 模式或手轮模式下,启用该键,主轴将停止。手工更换刀具时,这个按键必须被启用
19		主轴反转键	在 JOG 模式或手轮模式且主轴已经赋值过转速的情况下,启用该键,主轴反转。应该避免主轴直接从正转启动到反转,中间应该经过主轴停止转换
20		刀库正转键	按一下使刀库顺时针转动一个刀位(逆着 Z 轴正向看)。不要随意操作,如过刀库手动转动后使刀库实际到位与主轴当前刀位不一致,容易发生严重的撞刀事故
21		主轴准停按键	在 JOG 模式可以使主轴准确停止,停止角度可由系统参数设定
22		超程释放键	强制启动伺服系统,一般在机床超程时使用
23		机床润滑键	给机床加润滑油
24		自动冷却键	在自动模式下,当程序中有 M08 给冷却液指令运行,则该键指示灯亮,若没有冷却液指令运行,则该指示灯保持熄灭状态
25		手动冷却键	在 JOG 模式、手轮模式或自动模式下,按此键使指示灯亮,则冷却液打开,按此键使指示灯灭,则冷却液关闭
26	EDIT 	程序保护锁	只有在关闭程序保护锁状态下,出现才可以进行程序的编辑、登录。图示为保护开状态
27	POWER 	系统电源开关	左边绿色按钮用于启动 NC 单元。右边红色按钮用于关闭 NC 系统电源

二、机床基本操作

1. 开机操作

打开机床总电源——按系统电源开键，直至 CRT 显示屏出现“NOT READY”提示后——旋开急停旋钮，当“NOT READY”提示消失后，开机成功。

注意：在开机前，应先检查机床润滑油是否充足，电源柜门是否关好，操作面板各按键是否处于正常位置，否则将可能影响机床正常开机。

2. 机床回零操作

将操作模式旋钮旋至回零模式——将快速倍率旋钮旋至最大倍率 100%——依次按 +Z、+X、+Y 轴进给方向键（必须先按 +Z，确保回零时不会使刀具撞上工件），待 CRT 显示屏中各轴机械坐标值均为零时 [如图 1-9(a)]，回零操作成功。

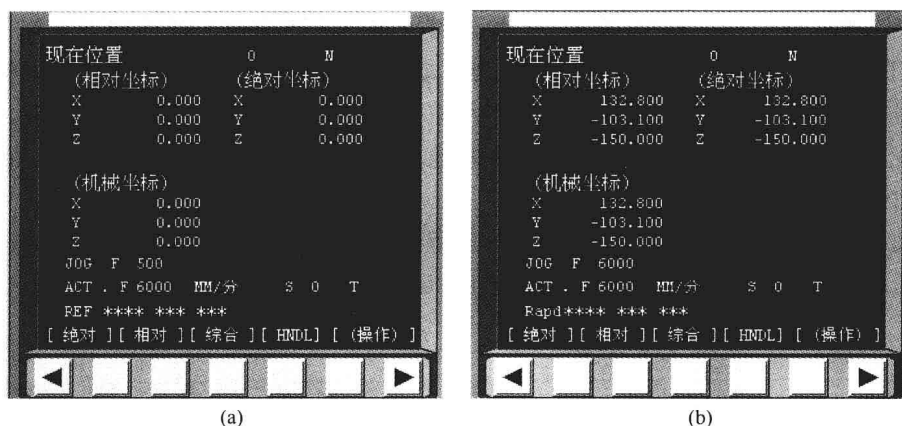


图 1-9 FANUC 0i Mate-MC 数控系统回零操作

机床回零操作应注意以下几点：

(1) 当机床工作台或主轴当前位置接近机床零点或处于超程状态时，此时应采用手动模式，将机床工作台或主轴移至各轴行程中间位置，否则无法完成回零操作。

(2) 机床正在执行回零动作时，不允许旋动操作模式旋钮，否则回零操作失败。

(3) 回零操作做完后将操作模式旋钮旋至手动模式——依次按住各轴选择键—X、—Y、—Z，给机床回退一段约 100mm 左右的距离 [如图 1-9(b) 所示]。

3. 关机操作

按下急停旋钮——按系统电源关键——关闭机床总电源，关机成功。

注意：关机后应立即进行加工现场及机床的清理与保养。

4. 手动模式操作

操作模式旋钮旋至手动模式——分别按住各轴选择键 +Z、+X、+Y、—X、—Y、—Z 即可使机床向“键名”的轴和方向连续进给，若同时按快速移动键，则可快速进给——通过调节进给倍率旋钮、快速倍率旋钮，可控制进给、快速进给移动的快慢。

5. 手轮模式操作

操作模式旋钮旋至手轮模式——通过手轮上的轴向选择旋钮可选择轴向运动——顺时针转动手轮脉冲器，轴正移，反之，则轴负移——通过选择脉动量 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ （分别是 0.001、0.01、0.1mm/格）来确定进给快慢。手轮构造见图 1-10。

6. 手动数据模式 (MDI 模式)



图 1-10 手轮面板

将操作模式旋钮旋至 MDI 模式——按编辑面板上的程序键，选择程序屏幕——按下对应 CRT 显示区的软键 **【(MDI)】**，系统会自动加入程序号 O0000——用通常的程序编辑操作编制一个要执行的程序，在程序段的结尾不能加 M30（在程序执行完毕后，光标将停留在最后一个程序段）。如图 1-11(a) 所示输入若干段程序，将光标移到程序首句，按循环启动键即可运行。

若只需在 MDI 输入运行主轴转动等单段程序，只需在程序号 O0000 后输入所需运行的单段程序，光标位置停在末尾 [如图 1-11(b) 所示]，按循环启动键循环启动键即可运行。

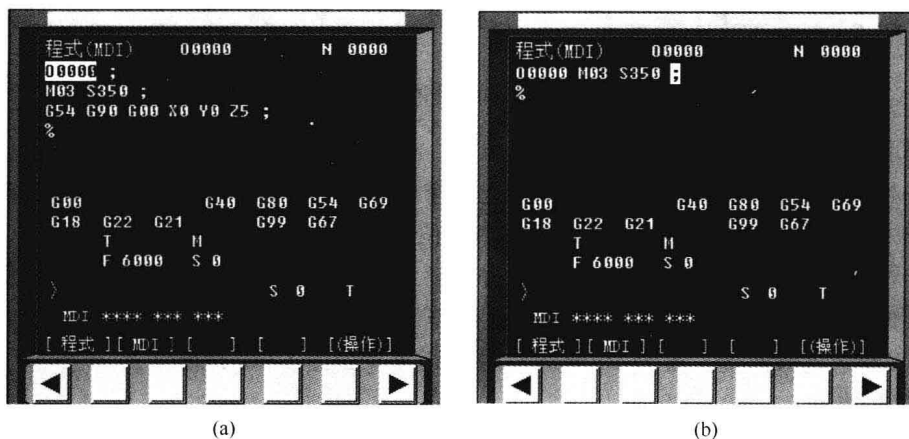


图 1-11 FANUC Oi Mate-MC 数控系统 MDI 操作

要删除在 MDI 方式中编制的程序可输入地址 O0000，然后按下 MDI 面板上的删除键或直接按复位键。

7. 程序编辑操作

(1) 创建新程序

将程序保护锁调到开启状态——将操作模式旋钮旋至编辑模式——按程序键——按下软键 **【(LIB)】** 进入列表页面 [如图 1-12(a) 所示]——按地址键 O，输入一个系统中尚未建立的程序号 [如图 1-12(a) 所示 O1]——按插入键，创建完成 [如图 1-12(b) 所示窗口]。

(2) 打开程序

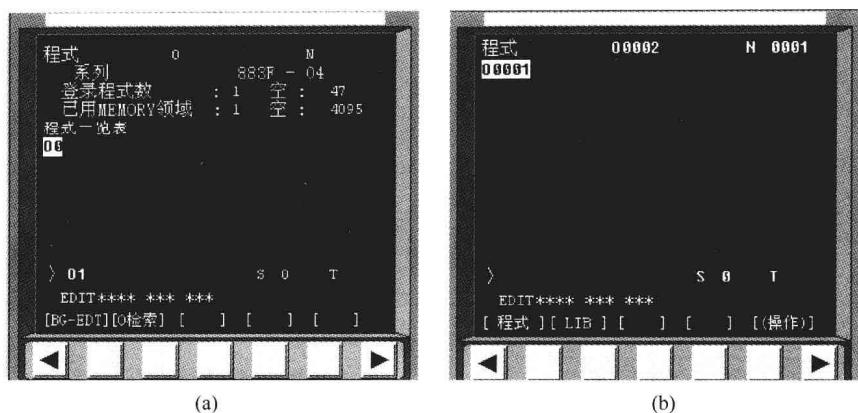


图 1-12 FANUC Oi Mate-MC 数控系统创建新程序操作

将程序保护锁调到开启状态——将操作模式旋钮旋至编辑模式——按程序键，按下软键【(LIB)】[如图 1-13(a) 所示 CRT 显示区即将所有建立过的程序列出]——按地址键 O，输入程序号 2（必须是系统已经建立过的程序号）——按向下方向键，打开完成 [如图 1-13(b) 所示]。

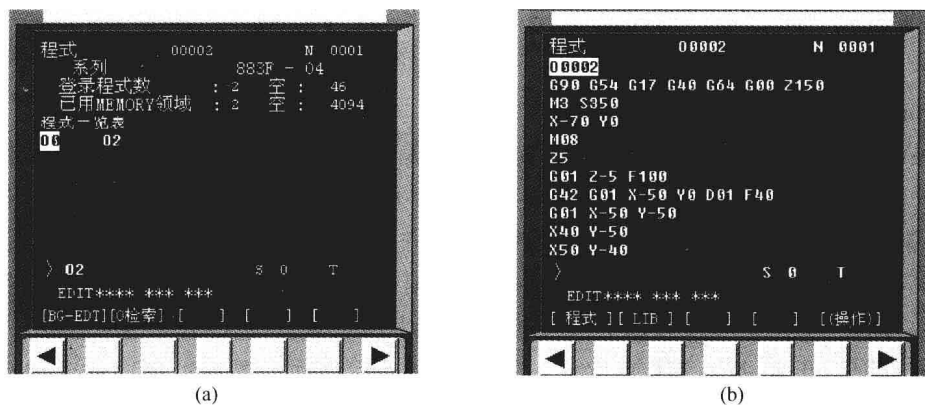


图 1-13 FANUC Oi Mate-MC 数控系统进入程序操作

(3) 程序的字录入和修改

创建或进入一个新的程序——应用替换键、删除键、插入键、取消键等完成对程序的录入和修改，在每个程序段尾按分段键完成一段。

如图 1-14(a) 所示在程序编辑模式编辑程序 O2，将光标在 G17 处——输入 G18，按下替换键则程序编辑结果为图 1-14(b) 所示，此时光标在 G18 处——按删除键则程序编辑结果为图 1-14(c) 所示，此时光标在 G40 处。

如图 1-14(d) 所示输入 G17——按插入键则程序编辑结果为图 1-14(e) 所示，取消键的功用是取消前面录入的一个字符。

(4) 程序编辑的字检索

在编辑模式中打开某个程序——输入要检索的字，例如：X37——向上检索按下向上方向键，向下检索按下向下方向键，光标即停在字符 X37 位置。

注意：在检索程序的检索方向必须存在所检索的字符，否则系统将报警。



图 1-14 FANUC Oi Mate-MC 数控系统程序的编辑操作

(5) 程序的复制

拷贝一个完整的程序：将操作模式旋钮旋至编辑模式——按程序键——按软键【(操作)】——按软件扩展键——按软键【(EX-EDT)】——按软键【(COPY)】——按软键【(ALL)】——输入新的程序名（只输数字部分）并按输入键——按软键【(EXEC)】。

拷贝程序的一部分：将操作模式旋钮旋至编辑模式——按程序键——按软键【(操作)】——按软件扩展键——按软件【(EX-EDT)】——按软键【(COPY)】——将光标移动到要拷贝范围的开头，按软键【(CRSR~)】——将光标移动到要拷贝范围的末尾，按软键【(~CRSR)】或【(~BTM)】(如按【(~BTM)】则不管光标的位置直到程序结束的程序都将被拷贝)——输入新的程序名（只输数字部分）并按输入键——按软件【(EXEC)】。

(6) 程序的删除

删除一个完整的程序：将操作模式旋钮旋至编辑模式——按下软键【(LIB)】[如图 1-15(a) 所示]——按程序键——键入地址键 O——键入要删除的程序号 [如图 1-15(a) 键入 O1]——按删除键，删除完成 [结果如图 1-15(b) 所示]。

删除内存中的所有程序：将操作模式旋钮旋至编辑模式——按下软键【(LIB)】——按程序键——键入地址键 O——键入 -9999——按删除键，删除完成。

删除指定范围内的多个程序：将操作模式旋钮旋至编辑模式——按下软键【(LIB)】——按程序键——输入 OXXXX, OYYYY (XXXX 代表将要删除程序的起始程序号, YYYYY 代表将要删除程序的终止程序号)——按删除键即删除从 No xxxx-No yyyy 之间的程序。

8. 刀具补偿的设定操作

按刀偏设定键——按软键【(补正)】，出现如图 1-16 所示画面——按光标移动键，将