

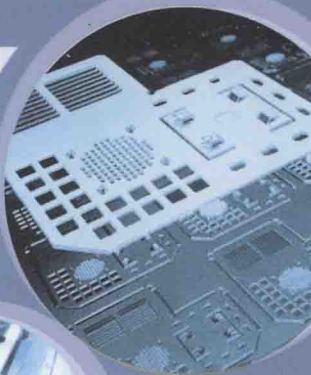


国家示范性高职院校建设项目成果

数控技术专业

零件数控铣削加工

刘岩 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

配 电 子 课 件
教 师 免 费 下 载

国家示范性高职院校建设项目成果
数控技术专业

零件数控铣削加工

常州大学图书馆
藏书章

主 编 刘 岩

参 编 宋 昀 闫永亮
靳 宇

主 审 陈则钧



机械工业出版社

本书是国家示范性高职院校建设项目成果之一，是国家级重点建设专业——数控技术专业核心课程教材。本书是依据数控铣工国家职业技能鉴定标准，并结合编者多年的教学经验和培养数控大赛参赛学生的实践经验编写而成的。

本书选用国内广泛使用、具有代表性的 FANUC 0i M 数控系统进行讲解。采用项目式教学，以零件的特征划分教学内容，通过完成特征零件的加工，掌握数控铣削（加工中心加工）的加工工艺分析制订、数控加工相关数值计算、数控加工程序编制和数控机床操作等知识和能力。

本书内容注重针对性、适用性和实用性，既有理论讲解又有实践技能指导。

本书可作为职业技术学院数控技术专业、模具设计与制造专业、机械制造与自动化专业及相关专业的学生参加国家职业技能鉴定等级考试的培训教材或教学用书，也可用作从事数控铣床（加工中心）操作的工程技术人员的参考用书、数控铣削（加工中心加工）岗位培训用书。

图书在版编目（CIP）数据

零件数控铣削加工/刘岩主编. —北京：机械工业出版社，2010.5
国家示范性高职院校建设项目成果. 数控技术专业
ISBN 978-7-111-29878-6

I. ①零… II. ①刘… III. ①机械元件—数控机床：
铣床—金属切削—加工—高等学校：技术学校—教材
IV. ①TH13②TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2010）第 036099 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：郑 丹 责任编辑：郑 丹 章承林
版式设计：霍永明 责任校对：胡艳萍
责任印制：杨 曦
北京京丰印刷厂印刷
2012 年 1 月第 1 版·第 1 次印刷
184mm×260mm·8.25 印张·201 千字
0 001—3 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-29878-6
定价：17.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

门户网：<http://www.cmpbook.com>

销售一部：(010) 68326294

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售二部：(010) 88379649

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版



前言

教育部把教材建设作为衡量高职高专院校深化教育教学改革的重要指标，为了落实教育部的指示精神，适应当前职业教育发展的新形势，通过对各职业院校及企业的广泛调研，由北京电子科技职业学院机械工程学院邱坤主持，与机械工业出版社联合开发了这套符合高等职业教育教学模式、教学方式方法改革的新教材。

本套教材是国家示范性高职院校建设项目成果，是国家级重点建设专业——数控技术专业核心课程教材，共八种，数控加工方向四种，数控维修方向四种。本套教材由一批具有丰富教学经验、拥有较高学术水平和实践经验的教授、企业专家、骨干教师和双师型教师编写，确保了教材的高质量、权威性和专业性，为高职课程改革教材建设提供了成功的范例。

本套教材编写过程中贯彻了以下原则：

一、充分吸取高等职业技术学院在探索培养高等技术应用型人才方面取得的成功经验。

二、采用最新国家标准及相关技术标准，把职业资格证书考试的知识点与教材内容相结合，真正做到工学结合。

三、贯彻先进的教学理念，以技能训练为主线，以相关知识为支撑，较好地处理了理论教学与技能训练的关系。

四、突出先进性。根据教学需要将新设备、新材料、新技术、新工艺等内容引入教材，以便更好地适应市场，满足企业对人才的需求。

五、以企业真实案例或产品为载体，营造企业工作环境，基于工作过程设计教学项目，使学生的学习更具实效。

六、创新编写模式。在符合认知规律的基础上，按照企业产品生产过程或实际工作过程组织教材内容，将知识点和技能点贯穿于项目实施过程中，增加学生的学习兴趣，培养学生自主学习的能力，提升学生的综合素质。

七、【知识拓展】环节的设计，开阔了学生的视野，有助于激发学生的创新意识，对创新型人才的培养进行有益探索。

本书以零件加工为主线，以任务驱动的方式，详细介绍了数控铣削加工工艺以及数控加

工程程序的编制方法。

本书主要内容包括零件的加工工艺分析、数值计算、数控铣削加工程序的编制和数控铣床操作,通过典型零件讲解在数控铣床上加工零件的方法。

本书选用了在国内具有代表性的 FANUC 0i M 数控系统进行讲解。

本书内容主要体现了以下特点:

一、以实用为目的,专业知识选取以“必需”和“够用”为原则,内容的编写打破了学科体系。

二、以零件加工为主线,根据零件加工的实际需要,从解决实际加工问题的角度,以任务驱动的形式组织教材内容,由易到难,逐步深入。教材的编写注重理论知识和技能训练相结合,教学实训和生产实际相结合。

本书由北京电子科技职业学院刘岩主编,陈则钧主审。本书项目 2 由宋昀老师负责编写,项目 4 由闫永亮老师负责编写,项目 5 由靳宇老师负责编写,其余由刘岩承担编写任务。

本书在编写过程中得到了北京电子科技职业学院机械工程分院各级领导的大力支持和北人印刷机械股份有限公司谢德贵高级工程师的大力帮助,在此一并表示感谢。

由于编者学识和水平有限,书中欠妥和疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

项目 1 沟槽类零件加工	1
学习目标	1
工作任务	1
任务 1 加工“五角形”图案	2
知识准备	3
一、数控加工程序的结构	3
二、数控加工程序中的坐标系及规定	3
三、数控加工程序的常用指令代码	4
四、数控加工程序的操作	7
五、工件的装夹定位	8
六、坐标系的选择	9
七、数控加工的工艺原则	12
知识拓展	13
任务实施	18
一、任务实施工作表	18
二、确定加工工艺	18
三、计算刀位点	19
四、编制数控加工程序	21
五、启动数控加工程序	23
完成学习工作页	30
任务 2 加工“祥云”图案	31
知识准备	32
任务实施	32
一、任务实施工作表	32
二、确定加工工艺	32
三、计算刀位点	33
四、编制数控加工程序	35

五、启动数控加工程序	36
完成学习工作页	41
任务 3 加工“五角星”图案	41
任务实施	42
一、任务实施工作表	42
二、确定加工工艺	42
三、计算刀位点	43
四、编制数控加工程序	44
五、启动数控加工程序	44
完成学习工作页	49
教学评价	50
学后感言	52
思考与练习	53
项目 2 孔类零件加工	54
学习目标	54
工作任务	54
任务 1 “六边形台阶 4 孔”零件加工	55
知识准备	56
一、钻孔循环	56
二、孔加工循环指令	56
任务实施	59
一、任务实施工作表	59
二、确定加工工艺	60
三、编制数控加工程序	61
四、启动数控加工程序	62
完成学习工作页	65
任务 2 “六边形台阶多孔”零件加工	66
任务实施	67
一、任务实施工作表	67

二、确定加工工艺	67	时应注意的事项	94
三、计算刀位点	68	三、子程序调用指令	94
四、编制数控加工程序	69	任务实施	94
完成学习工作页	71	一、任务实施工作表	94
教学评价	71	二、确定加工工艺	95
学后感言	73	三、编制数控加工程序	96
思考与练习	74	完成学习工作页	97
项目3 轮廓类零件加工	75	任务2 加工“水滴”图案	98
学习目标	75	任务实施	99
工作任务	76	一、任务实施工作表	99
任务1 “S形槽”零件轮廓		二、确定加工工艺	99
加工	76	三、编制数控加工程序	100
知识准备	77	完成学习工作页	100
一、刀补	77	教学评价	101
二、刀补的建立方法	77	学后感言	103
任务实施	79	思考与练习	104
一、任务实施工作表	79	项目5 综合应用	105
二、确定加工工艺	79	学习目标	105
三、编制数控加工程序	81	工作任务	105
完成学习工作页	82	任务1 型芯的铣削加工	106
任务2 “梅花”零件轮廓加工	83	任务实施	107
任务实施	84	一、任务实施工作表	107
一、任务实施工作表	84	二、确定加工工艺	107
二、确定加工工艺	84	三、编制数控加工程序	108
三、编制数控加工程序	86	完成学习工作页	111
完成学习工作页	87	任务2 阀盖的铣削加工	112
教学评价	88	知识准备	113
学后感言	90	任务实施	113
思考与练习	91	一、任务实施工作表	113
项目4 旋转与镜像的应用	92	二、确定加工工艺	113
学习目标	92	三、任务实施表	114
工作任务	92	完成学习工作页	120
任务1 加工“中国结”图案	93	教学评价	121
知识准备	94	学后感言	123
一、建立“镜像”与“旋转”的		思考与练习	124
指令格式	94	参考文献	125
二、建立“镜像”与“旋转”			

沟槽类零件加工

通过完成“五角形”、“祥云”和“五角星”图案的加工，领会数控铣削加工的过程；学习在 FANUC 0i M 数控系统中进行数控铣削加工编程的方法，掌握常用指令的含义和格式。

【学习目标】

知识目标

1. 了解数控加工的过程。
2. 理解工件坐标系与机床坐标系的关系。
3. 掌握 FANUC 0i M 数控系统中直线插补指令、圆弧插补指令的使用方法。

技能目标

1. 使用数控仿真软件虚拟数控机床的操作。
2. 使用数控仿真软件虚拟数控机床的数控加工。
3. 能合理运用安装与定位、切削参数、对刀、机床坐标系等相关知识。

【工作任务】

任务 1 加工“五角形”图案。

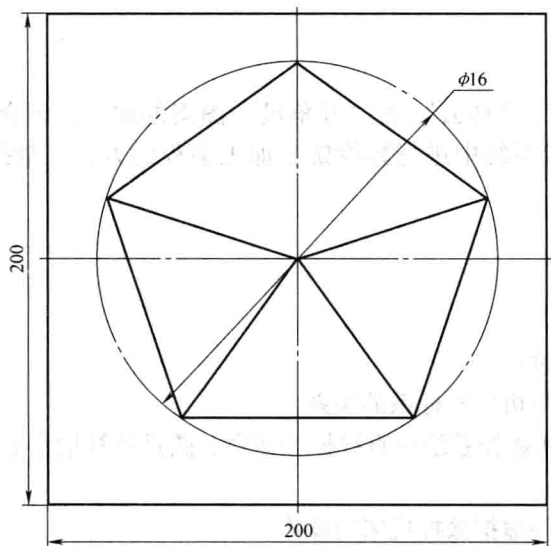
任务 2 加工“祥云”图案。

任务 3 加工“五角星”图案。

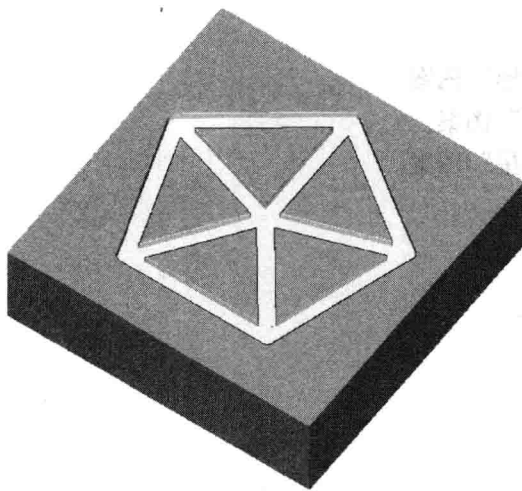
任务1 加工“五角形”图案

生产任务单	产品名称	“五角形”图案		生产批量		1	
	毛坯材料	Q235	毛坯尺寸	200mm × 200mm × 100mm	夹具	机用平口虎钳	
	生产设备	立式加工中心 XKA714			刀具	φ10mm 键槽铣刀	

刀路示意简图（背吃刀量 5mm）：



加工效果图：





【知识准备】

一、数控加工程序的结构

数控加工程序基于一个特定的数控系统（目前大多数数控系统基于 ISO6983 标准，ISO6983 标准定义了控制机床运动的相关代码），将数控机床的各种运动用特定代码有机地排列在一起。

与一般的计算机编程语言不同，主流的计算机编程语言都是面向对象的，而我国当前主流数控系统多是面向机床动作的。数控程序的一般结构见表 1-1。

表 1-1 数控程序的一般结构

作 用		示 例	
程序开头	设定机床的初始工作状态、工作模式，以及相应工作参数	O0001	程序名
		G17 G21 G40 G49 G80;	一组安全指令
		G92 X0 Y0 Z100.0;	设定工件坐标系原点
		M03 S1000;	设定机床主轴旋转参数
		G90;	设定以绝对坐标方式编程
			
程序主体	控制机床按设定的路线运动，完成产品加工		
		G01 X-10.0 Y10.0;	让机床运动到(-10,10)的位置
			
程序结尾	将机床恢复到初始状态，将数控程序的指针定位在程序开头，以备下一次加工运行		
		M09;	关闭切削液
		M05;	主轴停转
		M30;	程序停止并返回程序开头

二、数控加工程序中的坐标系及规定

1. 数控加工程序中的坐标系

由编程者建立、用来描述工件形状的坐标系就是工件坐标系（又被称为编程坐标系）；由数控机床厂家建立、用来确定机床主轴运动位置的坐标系就是机床坐标系。

2. 数控加工程序中的坐标系的规定

我国制定了数控加工中涉及的坐标系的相应标准：JB/T 3051—1999《数控机床 坐标和运动方向的命名》。

1) 刀具的运动原则。由于机床的结构各不相同，有些是刀具运动而工件静止，有些则相反。为避免发生混乱，在确定机床运动方向时，统一假定工件静止，以刀具相对于静止的工件运动的方向为机床运动方向。

2) 各轴运动方向的规定。

①X 轴的运动方向：X 轴是水平方向，且平行于工件的装夹面，并垂直于 Z 轴。对于单

立柱机床,当机床操作者面向机床时,刀具向右运动为正方向,记为 $+X$;向左为负方向,记为 $-X$ 。

② Z 轴的运动方向: Z 轴平行于机床主轴,刀具远离工件的方向为正方向,记为 $+Z$;接近工件的方向为负方向,记为 $-Z$ 。

③ Y 轴的运动方向:当 X 轴和 Z 轴方向确定下来后, Y 轴方向由右手定则(右手直角笛卡儿坐标系)确定。

3) 标准规定数控加工中的直角坐标系的正方向与右手直角笛卡儿坐标系相同:当右手的大拇指、食指、中指互成空间 90° 角时,右手大拇指指向 X 轴正方向,右手食指指向 Y 轴正方向,右手中指指向 Z 轴正方向。

4) 标准规定数控加工中的旋转坐标系采用右手螺旋定则:当右手大拇指指向 X 轴正方向时,右手其余四指的旋转方向为 A 轴正方向;当右手大拇指指向 Y 轴正方向时,右手其余四指的旋转方向为 B 轴正方向;当右手大拇指指向 Z 轴正方向时,右手其余四指的旋转方向为 C 轴正方向;如图1-1所示。

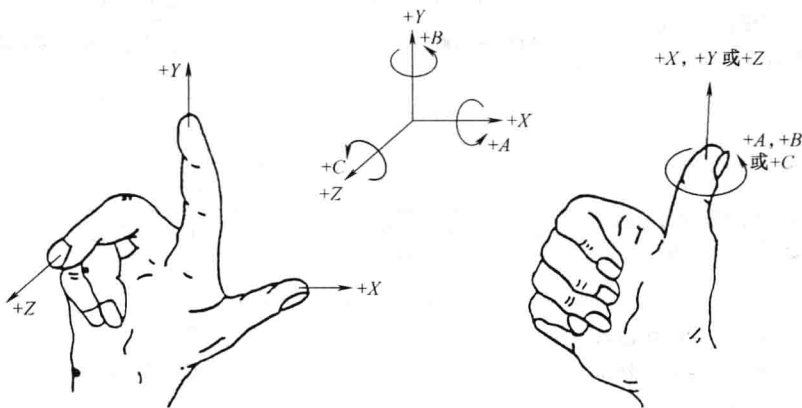


图 1-1 机床运动方向的判断方法

三、数控加工程序的常用指令代码

数控加工程序的常用指令代码通常分为两类。一类用来控制机床的运动,这一类功能以字母 G 以及两位数字组成,称为 G 代码。另一类用来完成程序的执行和相关功能的实现。其中, $T \times \times$ 用于设定所选用刀具; $F \times \times$ 用于设定刀具的进给速度; $S \times \times \times$ 用于设定主轴的转速。其他功能由以字母 M 与两位数字组成的 M 代码来实现。

1. FANUC 0i 数控系统控制机床运动的 G 代码

FANUC 0i 数控系统只提供控制机床作直线运动或圆弧运动的代码。其中,FANUC 0i M 主要用于数控铣床和加工中心数控程序的编制, M 是英语 Mill 即“铣床”、“铣削”的意思;FANUC 0i T 主要用于数控车床数控加工程序的编制, T 是英语 Lathe 即“车床”的意思。FANUC 0i 的这两个子系统在控制机床作直线运动或圆弧运动时不论 FANUC 0i M 还是 FANUC 0i T 的格式都是一样的,见表 1-2 及图 1-2、图 1-3、图 1-4。

表 1-2 FANUC 0i 数控系统控制机床运动的 G 代码

代 码	使用格式	含 义
G00	G00 X__ Y__ Z__;	控制机床以预先设定的最快的速度沿直线运动到终点 (x,y,z)
G01	G01 X__ Y__ Z__ F__;	控制机床以预先设定的速度沿直线运动到终点 (x,y,z)
G02	G02 X__ Y__ R__;	控制机床以给定的半径 R 沿顺时针运动到圆弧终点 (x,y)
	G02 X__ Y__ I__ J__;	控制机床沿顺时针运动到圆弧终点 (x,y) , 圆心相对于圆弧起点的增量坐标为 (I,J)
G03	G03 X__ Y__ R__;	控制机床以给定的半径 R 沿逆时针运动到圆弧终点 (x,y)
	G03 X__ Y__ I__ J__;	控制机床沿逆时针运动到圆弧终点 (x,y) , 圆心相对于圆弧起点的增量坐标为 (I,J)

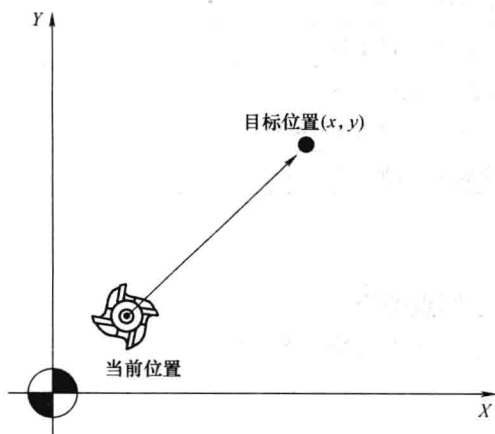


图 1-2 直线运动

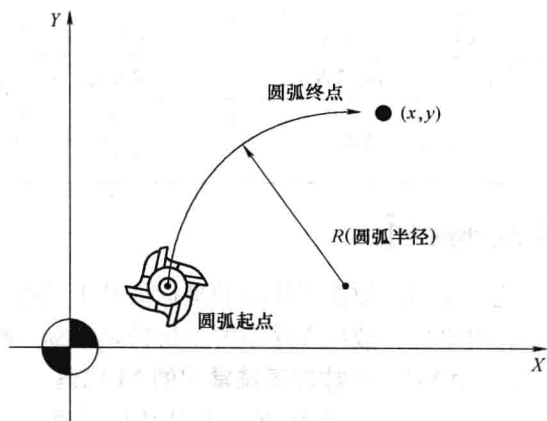


图 1-3 以 R 方式进行圆弧运动

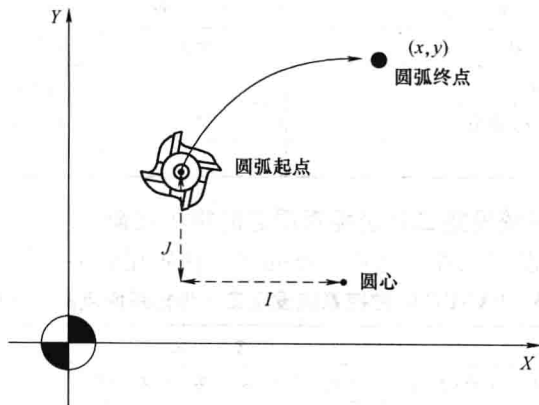


图 1-4 以 I/J 方式进行圆弧运动

2. FANUC 0i 数控系统常用的安全代码

数控系统中有一些代码一经在一个程序段中指定, 便保持有效到以后的程序段中出现同组的另一代码时才失效, 这种代码称为模态代码。只有在一个程序段中书写了该代码才有效的代码称为非模态代码。模态代码之间在一些特殊状态下会彼此发生冲突, 为了安全起见,

通常在程序开始的时候将各状态进行初始化设定, 这些代码称为安全代码。FANUC Oi 数控系统常用的安全代码见表 1-3。

表 1-3 FANUC Oi 数控系统常用的安全指令代码

初始化设定	使用代码	含 义
设定机床的加工平面	G17	设定机床的加工平面为 XY 平面
	G18	设定机床的加工平面为 XZ 平面
	G19	设定机床的加工平面为 YZ 平面
设定机床移动的单位	G20	设定机床的移动单位为英制(in)
	G21	设定机床的移动单位为米制(mm)
设定刀具补偿状态	G40	取消刀具半径补偿
	G49	取消刀具长度补偿
设定工件坐标系状态	G69	取消工件坐标系旋转
设定孔加工循环指令状态	G80	取消孔加工循环指令
设定编程模式	G90	设定采用绝对坐标方式编程
	G91	设定采用相对坐标方式编程



【小贴士】

绝对坐标: 数控程序中的坐标值基于工件坐标系原点的坐标。

相对坐标: 数控程序中的坐标值是目标点相对于当前点的增量坐标。

3. FANUC Oi 数控系统常用的 M 代码

FANUC Oi 数控系统常用的 M 代码见表 1-4。

表 1-4 FANUC Oi 数控系统常用的 M 代码

代 码	含 义	代 码	含 义
M03	设定主轴正转	M08	切削液开
M04	设定主轴反转	M09	切削液关
M05	设定主轴停止旋转	M30	程序结束并返回程序开头
M06	刀具交换		

4. FANUC Oi 数控系统设定工件坐标系原点的指令代码

FANUC Oi 数控系统设定工件坐标系原点的指令代码见表 1-5 和图 1-5。

表 1-5 FANUC Oi 数控系统设定工件坐标系原点的指令代码

代 码	含 义
G54	读取存储器中第一个点的坐标值, 并将其设定为工件坐标系的原点
G55	读取存储器中第二个点的坐标值, 并将其设定为工件坐标系的原点
G56	读取存储器中第三个点的坐标值, 并将其设定为工件坐标系的原点
G57	读取存储器中第四个点的坐标值, 并将其设定为工件坐标系的原点
G58	读取存储器中第五个点的坐标值, 并将其设定为工件坐标系的原点
G59	读取存储器中第六个点的坐标值, 并将其设定为工件坐标系的原点
G92	将刀具当前位置与工件坐标系原点建立联系, 如 G92 X0 Y0 Z100.0, 即将刀具正下方 100mm 处设为工件坐标系原点

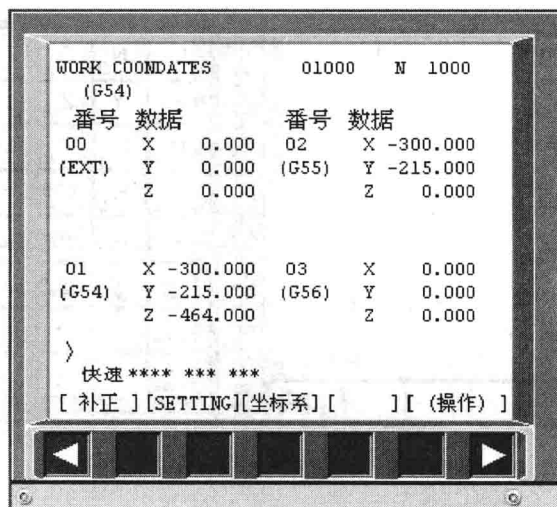


图 1-5 FANUC Oi 数控系统中 G54 设定界面

四、数控加工程序的操作

1. 新建程序

1) 要建立一个新的程序，数控系统的工作模式必须处在“编辑”模式下。数控系统工作模式选择界面如图 1-6 所示。

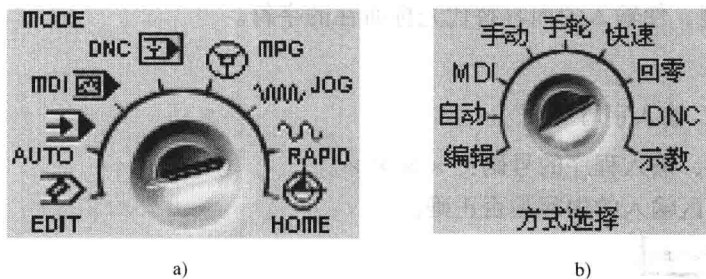


图 1-6 数控系统工作模式选择界面

a) 图标及英文界面 b) 中文界面

2) 在 MDI 区域按下 **PROG** 键以显示数控系统中有关“程序”的相关信息。数控系统编辑程序界面如图 1-7 所示。

3) 新建程序的操作步骤如下：

- ①按 **Op** 键，输入字母“O”。
- ②按数字键，输入程序的号码：××××。
- ③检查缓存区输入的内容是否正确。
- ④按下光标 **INSERT** 键。

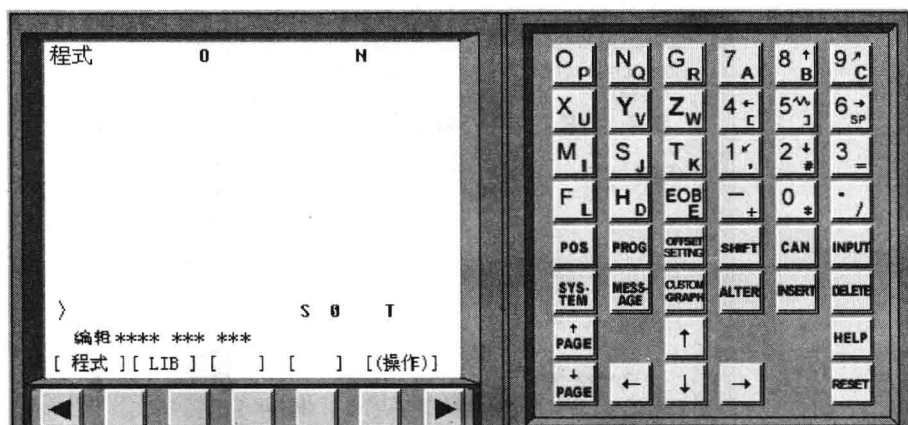


图 1-7 数控系统编辑程序界面

2. 编辑程序

(1) 插入字符 先将光标移到所需位置，单击相应的数字/字母键，将代码输入到缓存区中，按 **INSERT** 键，把缓存区的内容插入到光标所在代码后面。

(2) 删除缓存区中的数据 按 **CAN** 键用于删除缓存区中的数据。

(3) 删除字符 先将光标移到需删除字符的位置，按 **DELETE** 键，删除光标所在的字符。

(4) 替换字符 先将光标移到需替换字符的位置，将新替换的字符通过键盘输入到缓存区中，按 **ALTER** 键，使输入的内容替代光标所在的字符。

3. 删除程序

- 1) 按 **O_p** 键，输入字母“O”。
- 2) 按数字键，输入程序的号码：××××。
- 3) 检查缓存区输入的内容是否正确。
- 4) 按删除键 **DELETE**。

五、工件的装夹定位

工件的定位是指工件在机床或夹具中取得一个正确的加工位置的过程。

反映一个物体在三维空间中运动状况的是“自由度”。一个工件有六个自由度，分别是三个移动自由度，三个转动自由度。用六个合理分布的支承点限制工件的六个自由度，使工件在机床或夹具中取得一个正确的加工位置就是六点定位。

定位就是限制自由度。定位支承点与工件定位基准面始终保持紧贴接触，设置的定位支承点数目，原则上不应超过六个。定位支承点是由定位元件抽象而来的。在夹具中，定位支承点总是通过具体的定位元件来体现。定位和夹紧是两个概念，不能混淆。

工件的定位有以下四种情况：

- (1) 完全定位 工件的六个自由度全部被限制的定位，称为完全定位。
- (2) 不完全定位 不完全定位是指工件被限制的自由度少于六个，但能满足工件加工

要求的定位。

(3) 欠定位 根据工件的加工要求,应该限制的自由度没有完全被限制的定位,称为欠定位。

(4) 过定位 工件的同一自由度被两个或两个以上的支承点重复限制的定位,称为过定位。

在机械加工过程中,工件会受到切削力、离心力、重力、惯性力等的作用,在这些外力作用下,为了使工件仍能在夹具中保持已有定位元件所确定的加工位置,而不致发生振动或位移,确保加工质量和生产安全,一般夹具结构中都必须设置夹紧装置将工件可靠夹牢。

切削力本身是一个动态载荷,在加工过程中也是变化的。夹紧力的大小与工艺系统刚度、夹紧机构的传动效率等因素有关。手动夹紧机构一般根据经验或类比法确定夹紧力,夹紧力大小要适当,过大,会使工件变形;过小,则在加工时工件会松动造成报废,甚至发生事故。

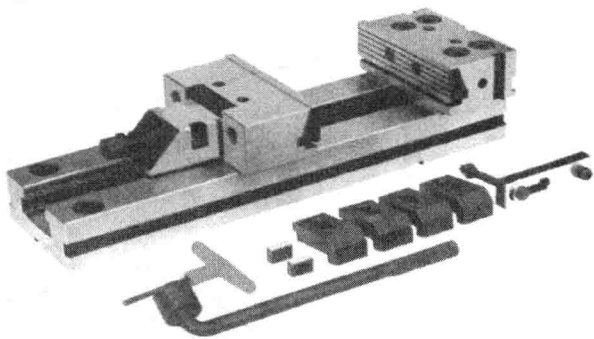


图 1-8 机用平口虎钳

在数控铣削加工中,装夹零件的夹具通常分为专用夹具和通用夹具。通用夹具主要是机用平口虎钳,它具有装夹迅速、定位准确、使用方便的特点,如图 1-8 所示。

六、坐标系的选择

对于矩形毛坯,通常将工件坐标系的原点选择在毛坯上表面的对称中心或矩形的某一个角点处。

1. 以毛坯上表面某一角点为工件坐标系原点(图 1-9)

1) 工件坐标系在机床坐标系下 X 、 Y 坐标值的确定,如图 1-10 ~ 图 1-12 所示。

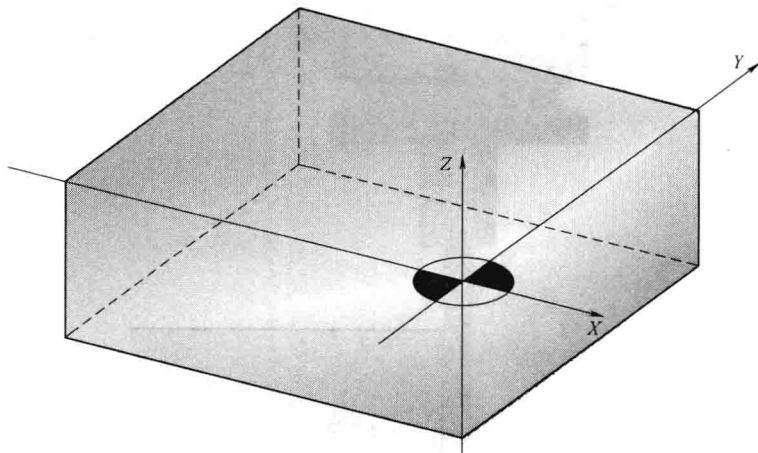


图 1-9 以毛坯上表面某一角点为工件坐标系原点示意图

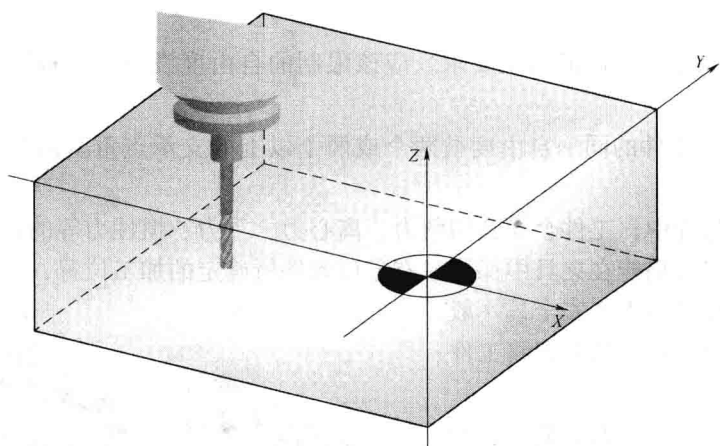
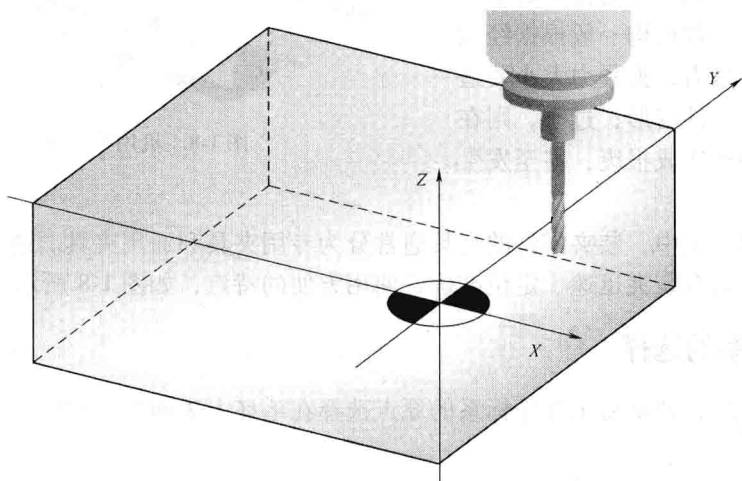
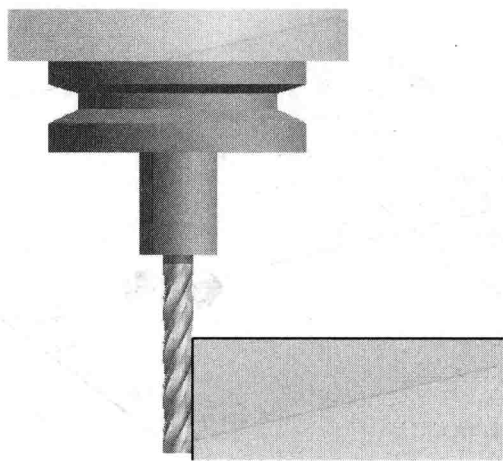
图 1-10 刀具与 X 轴所在的工件边缘恰好接触图 1-11 刀具与 Y 轴所在的工件边缘恰好接触

图 1-12 刀具与工件侧面边缘恰好接触