



国家示范院校**数控加工**重点建设项目系列教材

CNC Milling Machine/Machining Center
Programming and Operation

数控铣床/加工中心 编程与操作

主 编 陈康玮 李志江



科学出版社

国家示范院校数控加工重点建设项目系列教材

数控铣床/加工中心编程与操作

陈康玮 李志江 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书为国家示范院校数控加工重点建设项目系列教材。在编写过程中,编者对徐州市及苏南地区部分具有代表性的数控加工类企业进行了深入调研,采用了工学结合模式下的工作过程系统化编写方式。书中的许多任务来自于企业产品,体现了校企合作的最新成果。

本书是编者多年来从事数控铣床/加工中心编程与操作教学的经验总结,集中体现了理实一体化的教学特点。本书主要介绍了数控铣床/加工中心机床的结构与维护保养、平面铣削与二维轨迹加工、外轮廓加工、孔加工、型腔加工、典型零件加工、宏程序应用、复杂零件加工等内容。

本书可作为中等职业学校、技工学校、技师学院等数控类、机电类、模具制造类专业的教学用书,也可以作为企业职工培训、工程技术人员与数控爱好者的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床/加工中心编程与操作/陈康玮,李志江主编. —北京:科学出版社, 2014

国家示范院校数控加工重点建设项目系列教材

ISBN 978-7-03-040691-0

I. ①数… II. ①陈… ②李… III. ①数控机床-铣床-程序设计-中等专业学校-教材 ②数控机床加工中心-程序设计-中等专业学校-教材
IV. ①TG547 ②TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 105349 号

责任编辑:李太鍊 李欣/ 责任校对:王万红

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京鑫丰华彩印有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 6 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014 年 6 月第一次印刷 印张:14 1/2

字数:320 000

定价:30.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈鑫丰华〉)

销售部电话 010-62140850 编辑部电话 010-62148322

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

本书为国家示范院校数控加工重点建设项目系列教材,是根据江苏省职业学校数控专业教学指导方案及国家职业技能鉴定标准的相关要求编写的。在编写本书过程中,编者本着科学严谨、务实创新的原则,对徐州市及苏南地区部分具有代表性的数控加工类企业就人才结构、专业发展、人才需求、职业岗位等进行了调研,确立了工学结合模式下的工作过程系统化编写思路。

本书采用了项目化任务式编写方式,反映了当前的教学改革经验及企业生产对教学内容的新要求。书中的任务有的直接来自于企业产品,有的进行了转化。编者力求把数控加工企业岗位的知识、技能相互融合,渗透到每一个任务中,让学生在“做中学、学中做”,以便实现与企业的零距离对接。

本书由江苏省徐州技师学院陈康玮、李志江任主编。李志江编写了项目2、项目3,吴进扬编写了项目4、项目6,其他内容由陈康玮编写。江苏省徐州技师学院滕跃、徐州工程机械集团有限公司于海青担任本书的审稿工作。在编写本书过程中,得到了江苏省徐州技师学院各级领导和教师的大力支持,在此一并表示感谢。另外,在编写本书过程中,参考了大量教材和资料,在此对其作者一并表示感谢。

由于时间仓促,加之编者水平有限,书中难免存在不妥之处,敬请各位专家和读者批评指正,以便再版时修正。

编 者

2013年10月

目 录

前言

项目 1 认识数控铣床/加工中心	1
任务 1.1 数控铣床/加工中心概述	2
1.1.1 数控铣床/加工中心简介	2
1.1.2 数控铣床/加工中心坐标系	7
1.1.3 数控铣床的面板	8
1.1.4 机床结构及刀具的识别	10
复习与思考	12
任务 1.2 数控铣床/加工中心的维护与保养	13
1.2.1 数控铣床/加工中心的使用规范	13
1.2.2 数控铣床/加工中心的维护与保养要求	14
1.2.3 数控车间的 5S 管理规范	16
1.2.4 机床的规范操作	17
复习与思考	19
项目小结	20
项目 2 平面铣削及二维轨迹加工	21
任务 2.1 平面铣削与对刀操作	22
2.1.1 平面铣削的方法和进给路线	22
2.1.2 长方体工件的铣削	24
2.1.3 常用对刀工具与使用方法	25
2.1.4 工件的对刀	26
复习与思考	29
任务 2.2 二维轨迹加工	30
2.2.1 程序的结构	30
2.2.2 数控代码	31
2.2.3 字母二维轨迹的编程与加工	35
复习与思考	38
项目小结	40
项目 3 外轮廓加工	41
任务 3.1 简单外轮廓零件加工	42
3.1.1 铣削外轮廓的加工路线	42
3.1.2 刀具半径补偿	43



3.1.3 顺铣与逆铣	44
3.1.4 刀具长度补偿	45
3.1.5 简单外轮廓零件加工	46
复习与思考	52
任务 3.2 复杂外轮廓零件加工	53
3.2.1 子程序	54
3.2.2 倒圆角与倒斜角	55
3.2.3 复杂外轮廓零件加工 (一)	56
3.2.4 复杂外轮廓零件加工 (二)	61
复习与思考	65
项目小结	69
项目 4 孔加工	70
任务 4.1 钻孔与铰孔	71
4.1.1 孔加工固定循环动作	72
4.1.2 钻孔循环指令	74
4.1.3 钻孔与铰孔加工实例	77
复习与思考	81
任务 4.2 螺纹孔加工	83
4.2.1 螺纹底孔直径与深度的确定方法	84
4.2.2 攻左右旋螺纹固定循环	84
4.2.3 孔系零件加工	86
复习与思考	91
项目小结	95
项目 5 型腔加工	96
任务 5.1 开放型腔零件加工	97
5.1.1 型腔类零件的下刀方式	97
5.1.2 坐标系旋转指令	99
5.1.3 手工编写开放型腔零件程序	100
5.1.4 自动编写开放型腔零件程序	104
复习与思考	113
任务 5.2 封闭型腔零件加工	114
5.2.1 封闭型腔零件的下刀方式	114
5.2.2 极坐标指令	115
5.2.3 镜像指令	117
5.2.4 手工编写封闭型腔零件程序	119
5.2.5 自动编写封闭型腔零件程序	124
复习与思考	133
项目小结	135



项目 6 典型零件加工	136
任务 6.1 成形模加工	137
6.1.1 手工编写成形模程序	137
6.1.2 自动编写成形模程序	142
复习与思考	149
任务 6.2 定位凸台加工	151
6.2.1 手工编写定位凸台程序	152
6.2.2 自动编写定位凸台程序	157
复习与思考	163
项目小结	165
项目 7 宏程序应用	166
任务 7.1 宏程序编写椭圆程序	167
7.1.1 宏程序简述	167
7.1.2 椭圆程序编写	171
复习与思考	176
任务 7.2 宏程序编写孔口倒圆角程序	177
7.2.1 孔口倒圆角的应用	177
7.2.2 倒圆角程序的编写	178
复习与思考	182
项目小结	184
项目 8 复杂零件加工	185
任务 8.1 星形零件加工	186
8.1.1 手工编写零件程序	186
8.1.2 自动编写成形模程序	194
复习与思考	202
任务 8.2 多次装夹零件加工	204
8.2.1 手工编写零件程序	204
8.2.2 自动编写成形模程序	212
复习与思考	218
项目小结	220
附录 FANUC-0i 准备功能一览表	221
主要参考文献	224

项目 1

认识数控铣床/加工中心

项目教学目标

【知识目标】

1. 了解数控铣床/加工中心的类型、结构和特点。
2. 熟悉数控铣床/加工中心的维护与保养。

【能力目标】

1. 能正确识别机床操作面板的各个功能按键。
2. 能对数控铣床/加工中心进行简单的日常维护与保养。
3. 初步掌握数控铣床/加工中心的基本操作。

数控铣床/加工中心是用计算机数字化信号控制的机床，能够完成平面、曲面和孔的自动加工。尤其是加工中心，能够在一次装夹下，自动完成铣削、钻削、铰削、镗削、螺纹铣削以及三维曲面的精密加工，具有加工效率高和几何公差小等特点。数控铣削主要用于模具、样板、叶片、凸轮、连杆和箱体等工件的加工，如图 1.1 所示。

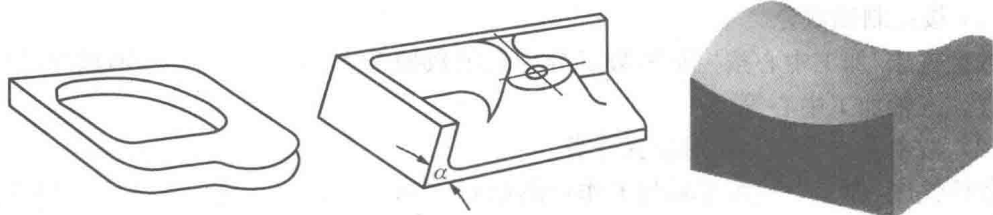


图 1.1 数控铣床/加工中心的主要加工对象



任务 1.1 数控铣床/加工中心概述

知识目标

1. 了解数控铣床的类型、结构与特点。
2. 掌握数控铣削中常用的刀具及应用场合。
3. 熟悉数控铣床坐标系。

能力目标

1. 能正确识别机床操作面板的各个功能按键。
2. 会判断坐标轴的运动方向。

工作任务

认识数控铣床与加工中心的结构，了解其加工范围与功能。

相关知识

1.1.1 数控铣床/加工中心简介

数控铣床是世界上最早研制出来的数控机床，是一种功能很强的机床。它的加工范围广，工艺复杂，涉及的技术问题多，是数控加工领域中具有代表性的一种机床。目前迅速发展的加工中心和柔性制造单元等都是在数控铣床的基础上发展起来的。人们在研究和开发新的数控系统和自动编程软件时，也常把数控铣削加工作为重点。与普通铣床相比，数控铣床的加工精度高、稳定性好、适应性强、操作劳动强度低，特别适用于板类、盘类、壳具类、模具类等复杂形状的零件或对精度保持性要求较高的中、小批量零件的加工。

1. 数控铣床/加工中心的分类

(1) 按控制轴数分类

数控铣床/加工中心按控制轴数可分为三轴数控铣床/加工中心、四轴数控铣床/加工中心、五轴加工中心等。

(2) 按主轴与工作台相对位置分类

数控铣床/加工中心按主轴与工作台的相对位置主要分为立式加工中心与卧式加工中心。

1) 立式加工中心是指主轴轴线竖直向下设置的加工中心，主要适用于加工板类、盘类、模具及小型壳体类复杂零件。

立式加工中心一般不带转台，如图 1.2 所示，主轴与工件台面垂直，工件装夹方便，加工时便于观察工件，但不便于排屑。立式加工中心又可分为大、中、小三种类



型。小型采用工作台移动和升降而主轴不移动的方式；中型采用纵向和横向移动方式，且主轴可沿垂直方向上下移动；大型考虑到扩大行程、缩小占地面积及保持刚性等技术上的诸多因素而普遍采用龙门移动方式，其主轴可在龙门架横向和垂直移动，龙门架则沿床身做纵向运动。

2) 卧式加工中心（图 1.3）是指主轴轴线水平设置的加工中心，主要适用于加工箱体类零件。



图 1.2 立式加工中心



图 1.3 卧式加工中心

卧式加工中心一般具有分度转台或数控转台，可加工工件的各个侧面；也可做多个坐标的联合运动，以便加工复杂的空间曲面。主轴轴线水平设置，加工时不便于观察，但排屑顺畅，相对立式机床尺寸要大，目前大都配备自动换刀装置。

此外，还有带立、卧两个主轴的复合式加工中心，其主轴能调整成卧轴或立轴，它们能对工件进行五个面的加工。



2. 数控铣床/加工中心的组成与工作原理

(1) 数控铣床/加工中心的组成

数控铣床/加工中心与其他数控机床一样，由数控系统、伺服系统、机床本体三部分组成。其中，数控系统是核心部件。

数控系统是控制机床运动的中枢系统，它的基本任务是接收程序介质带来的信息，按照规定的控制算法进行插补运算，把它们转换为伺服系统能够接受的指令信号，然后将结果由输出装置送到各坐标控制的伺服系统。

伺服系统是数控铣床/加工中心执行机构的驱动部件，主要包括主轴伺服系统和进给伺服系统。它把来自数控装置的运动指令放大，驱动机床的运动部件，使工作台按规定轨迹移动或准确定位。

机床本体包括床身、主轴箱、工作台、底座、立柱等部分，如图 1.4 所示。加工中心在结构上则多了刀库。

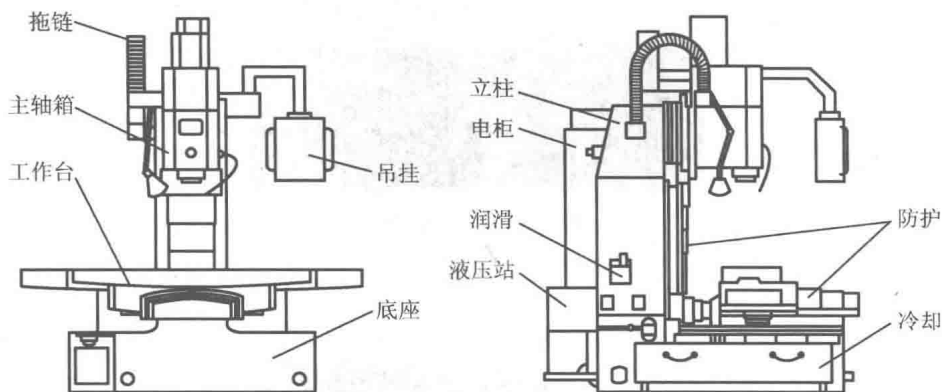


图 1.4 数控铣床的组成

(2) 数控铣床/加工中心的工作原理

数控铣床加工中心的工作原理如图 1.5 所示。根据被加工零件的图样、尺寸、材料及技术要求等进行工艺分析，确定加工顺序、进给路线、切削用量等，把加工程序输入到数控装置中，经驱动电路控制和放大，使伺服电动机转动，经滚珠丝杠驱动工作台，最终完成整个零件的加工，加工结束后机床自动停止。



图 1.5 数控铣床/加工中心的工作原理

3. 数控铣床/加工中心的加工范围与常用刀具

(1) 数控铣床/加工中心的加工范围

1) 平面类零件：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。



2) 变斜面类零件: 指由直线依某种规律移动产生的曲面类零件。

3) 立体曲面类零件: 指加工面为空间曲面的零件。这类零件的加工面不能展开为平面, 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, 则易产生干涉而铣伤邻近表面, 如图 1.6 所示。

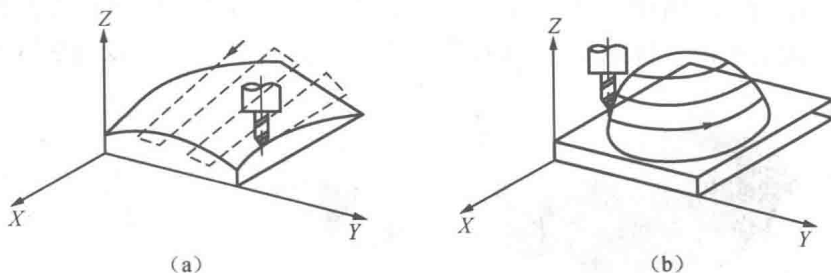


图 1.6 立体曲面零件

4) 孔类零件: 数控铣床/加工中心还可以加工各种孔类零件, 如钻孔、铰孔、镗孔、螺纹孔等。

(2) 数控铣床/加工中心的常用刀具

数控铣床/加工中心上常用的刀具主要有面铣刀、立铣刀、球头铣刀、三面刃铣刀、环形铣刀等。除此之外, 还有各种孔加工刀具, 如钻头、铰刀、镗孔刀和丝锥等, 如图 1.7 所示。

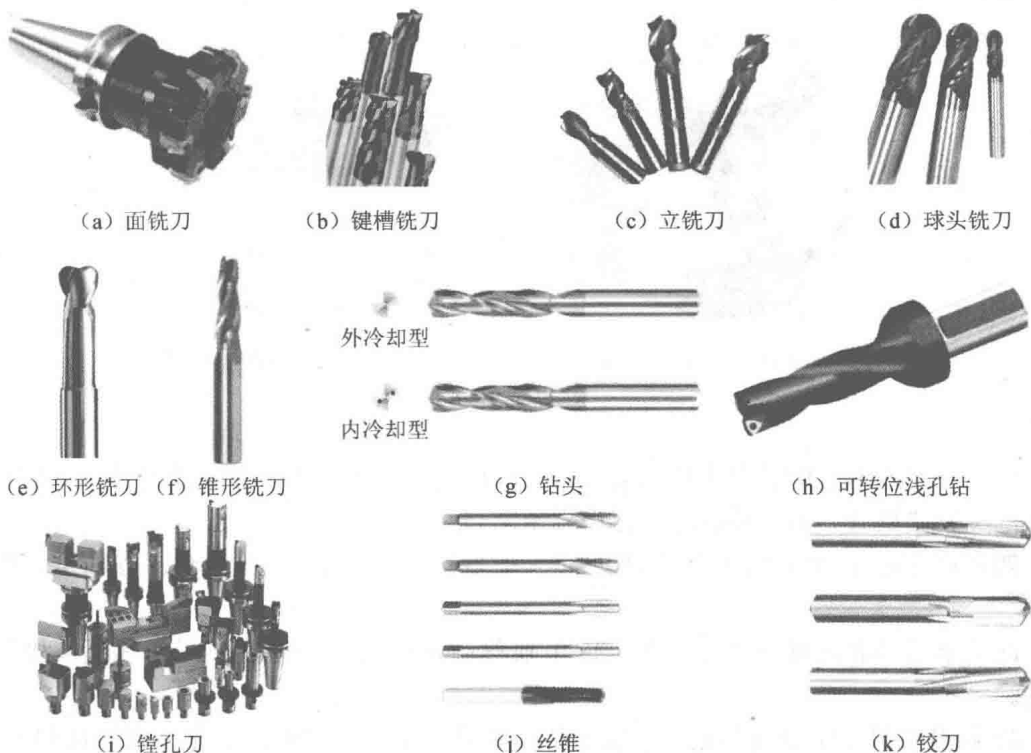


图 1.7 数控铣床/加工中心常用刀具



4. 数控铣床/加工中心常用夹具

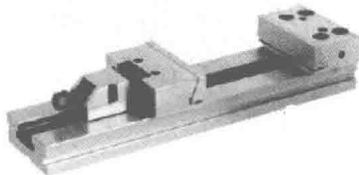
(1) 数控铣床/加工中心常用夹具分类

数控铣床/加工中心常用夹具具有通用夹具（平口钳、卡盘）与组合夹具。

1) 平口钳。平口钳是数控铣床上常用的夹具，有回转式和非回转式两种，外形如图 1.8 所示。铣削平面、台阶面、斜面和某些零件上曲面时，都可以用平口钳来装夹。



(a) 回转式平口钳

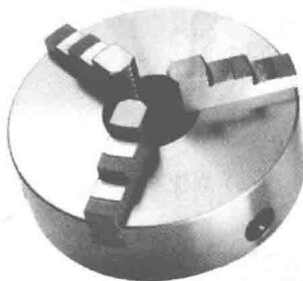


(b) 非回转式平口钳

图 1.8 平口钳

这两种平口钳的结构基本相同，只是回转式平口钳的底座设有转盘，钳体可绕转盘轴线在 360° 内任意转动，使用方便，适应性强。平口钳底座下面带有定位键槽，用于铣床工作台 T 形槽的定位和连接，以固定平口钳。

2) 卡盘。卡盘有三爪自定心卡盘和四爪卡盘两大类，其中四爪卡盘又分为四爪自定心和四爪单动卡盘，如图 1.9 所示。



(a) 三爪自定心卡盘



(b) 四爪卡盘

图 1.9 卡盘

三爪自定心卡盘的三个卡爪均匀分布在圆周上，能同步沿卡盘的径向移动，实现对工件的夹紧或松开，能自动定心，使用方便。

四爪自定心卡盘适用于夹持正方形、正多边形零件，也适用于夹持轴类、盘类零件。

四爪单动卡盘的每一个卡爪都可以单独移动，适用于夹持偏心零件和不规则形状零件。

3) 组合夹具。组合夹具是工艺装备的一部分，是由一系列标准化、模块化的元件，根据产品加工要求而组装出来的夹具，可以理解成高度标准化的专用夹具。但因其元件



可以循环应用, 夹具能够快速组装、快速调整, 因此能够缩短 60% 以上的夹具生产周期, 节省 80% 以上的原材料, 如图 1.10 所示。

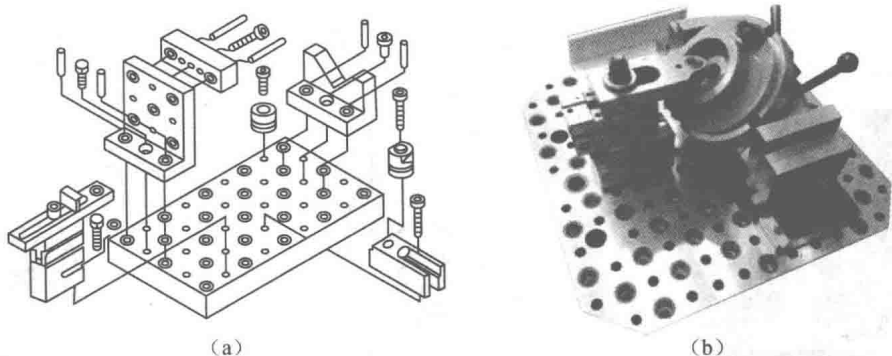


图 1.10 组合夹具

(2) 数控铣床/加工中心对夹具的要求

- 1) 夹具应具有足够的夹紧力、刚度和强度。
- 2) 尽量减少夹紧变形。
- 3) 夹具的定位及夹紧机构不能影响刀具的进给运动。
- 4) 装卸方便, 辅助时间尽量短。

(3) 夹具的选择

数控铣床的夹具只要求有简单的定位、夹紧机构即可, 但加工部位要敞开。夹具的选择原则如下:

- 1) 单件或研制新产品且零件简单时, 尽量采用平口钳和三爪自定心卡盘等通用夹具。
- 2) 小批量加工零件, 尽量采用组合夹具、可调式夹具及其他通用夹具。
- 3) 成批生产时应考虑采用专用夹具, 力求装卸方便。
- 4) 装卸零件时要考虑采用专用夹具, 成批生产时可采用气动夹具、液压夹具和多工位夹具。

1.1.2 数控铣床/加工中心坐标系

1. 数控铣床/加工中心坐标系的规定

在数控机床上, 机床的动作是由数控装置来控制的, 为了确定数控机床上的成形运动和辅助运动, 必须先确定机床上运动的位移和方向, 这就需要通过坐标系来实现, 这个坐标系称为机床坐标系。

如图 1.11 所示, 在铣床上, 有机床的纵向运动、横向运动以及垂向运动。在数控加工时就应用机床坐标系来描述。标准机床坐标系中 X、Y、Z 坐标轴的相互关系用右手笛卡儿直角坐标系确定, 如图 1.12 所示。

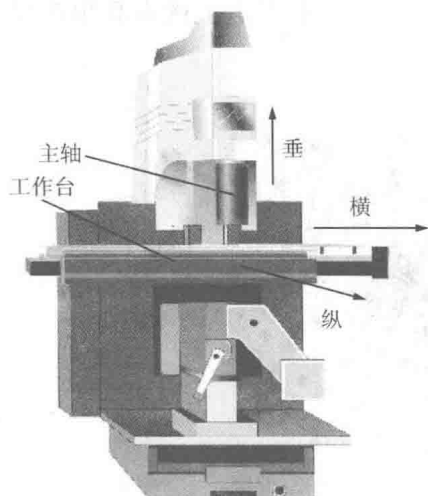


图 1.11 铣床的运动方向

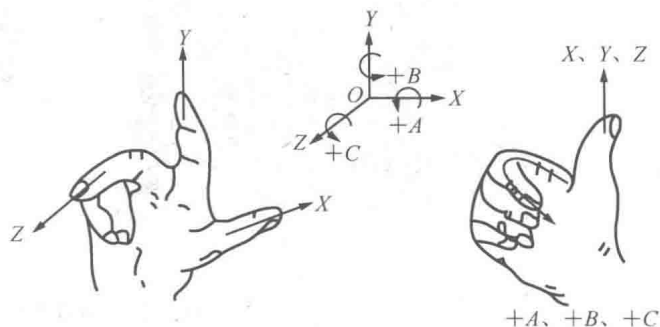


图 1.12 右手笛卡儿直角坐标系

伸出右手的大拇指、食指和中指，并互为 90° ，大拇指代表 X 坐标轴，食指代表 Y 坐标轴，中指代表 Z 坐标轴；大拇指的指向为 X 坐标的正方向，食指的指向为 Y 坐标的正方向，中指的指向为 Z 坐标的正方向；围绕 X 、 Y 、 Z 坐标轴旋转的旋转坐标分别用 A 、 B 、 C 表示，根据右手螺旋定则，大拇指的指向为 X 、 Y 、 Z 坐标轴中任意轴的正向，其余四指的旋转方向即为旋转坐标 A 、 B 、 C 的正向。

2. 坐标轴的确定

(1) 运动方向的规定

规定使刀具与工件距离增大的方向为运动的正方向，反之为负方向。

(2) 确定坐标轴的方法及步骤

1) Z 坐标轴：一般取产生切削力的主轴轴线为 Z 坐标轴，刀具远离工件的方向为正方向。当机床有几个主轴时，选择一个与工件装夹面垂直的主轴为 Z 坐标轴。当机床无主轴时，选择与工件装夹面垂直的方向为 Z 坐标轴。

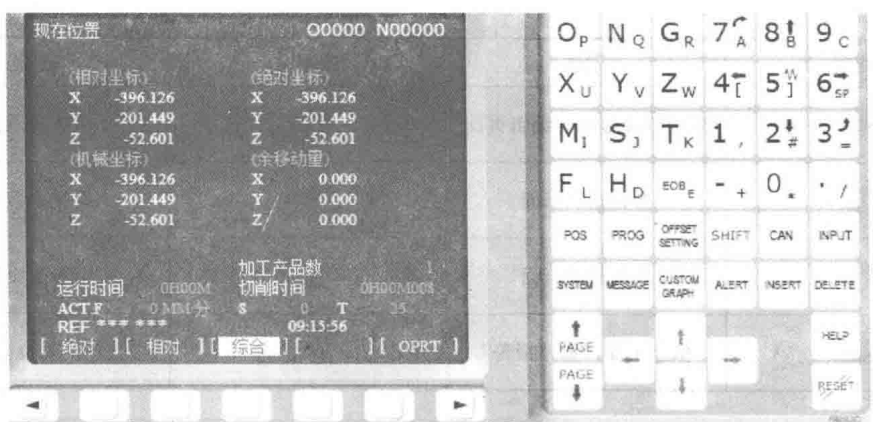
2) X 坐标轴： X 坐标轴平行于工件的装夹平面，一般在水平面内。

3) Y 坐标轴：在确定 X 、 Z 坐标轴的正方向后，可以根据 X 、 Z 坐标轴的方向，按照右手直角坐标系来确定 Y 坐标轴的方向。

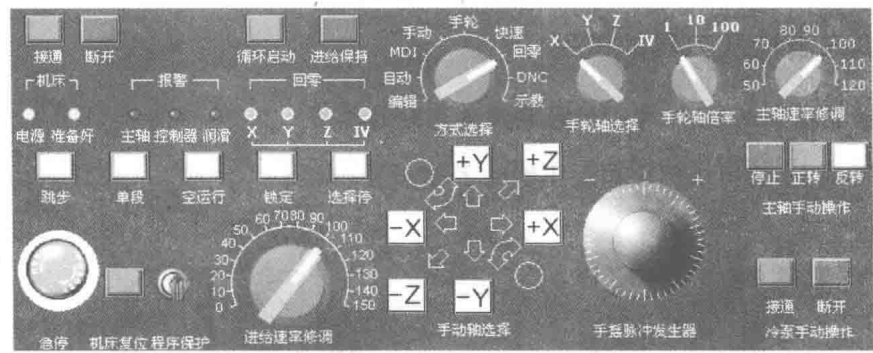
4) A 、 B 、 C 坐标轴：此三坐标轴为回转进给运动坐标轴，根据已确定的 X 、 Y 、 Z 坐标轴，用右手螺旋定则来确定。

1.1.3 数控铣床的面板

本书是以 FANUC Oi Mate-MD 系统为基础的数控铣床/加工中心来编写的，操作面板如图 1.13 所示，由 CRT/MDI 面板 [图 1.13 (a)] 与操作面板 [图 1.13 (b)] 组成。



(a) CRT/MDI 面板



(b) 操作面板

图 1.13 CRT/MDI 面板与操作面板

1. CRT/MDI 面板

CRT/MDI 面板由 CRT 软键、复位键、地址键、数字键、编辑键、功能键、方向键和翻页键构成，是人机对话的窗口。

2. CRT/MDI 面板主要功能键的用途

CRT/MDI 面板主要功能键的用途见表 1.1。

表 1.1 CRT/MDI 面板主要功能键的用途

功能键	用途	功能键	用途
ALERT	替代键	DELETE	删除键
INSERT	插入建	CAN	修改键
EOB_E	换行键	SHIFT	上档键



续表

功能键	用途	功能键	用途
PROG	数控程序显示与编辑页面	POS	位置显示页面
OFFSET SETTING	参数输入页面	SYSTEM	系统参数页面
HELP	系统帮助页面	CUSTOM GRAPH	图形参数设置页面
MESSAGE	信息页面, 如“报警”	RESET	复位键

任务实施

1.1.4 机床结构及刀具的识别

1. 识别数控铣床/加工中心的结构及各部分的作用

1) 在图 1.14 的斜线部位写上正确的名称。

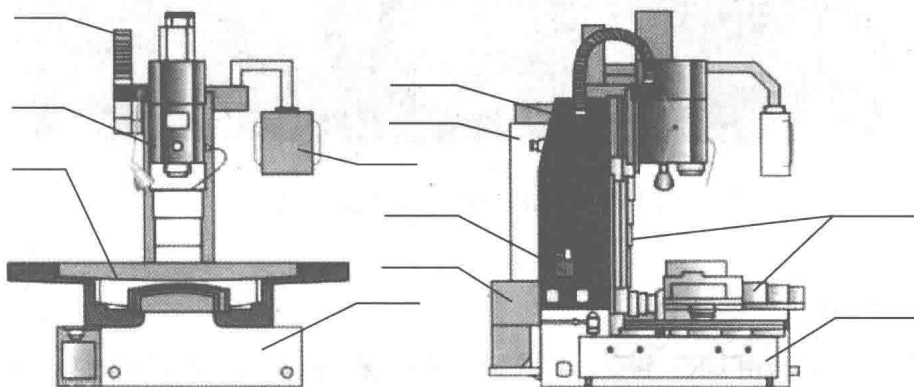


图 1.14 数控铣床示意图

2) 简述各部分的作用。

2. 识别数控铣床/加工中心常用的刀具并能说明其使用的场合

1) 在图 1.15 所示刀具的相应位置, 写出正确的刀具名称。

2) 简述各种类刀具的使用场合。