

职业教育机械类专业系列教材

零件的数控铣床加工

夏尚飞 王 建 主 编

高 敏 朱 军 副主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书采用项目化编写体系，从数控加工工艺分析、编程指令、计算机自动编程到机床的实际操作训练，以典型零件的工艺分析和编程为重点，面向学习者，既注重基础知识的积累，又强调实际操作技能的培养。本书主要内容包括数控加工基础知识、编程基础知识、数控铣床的操作基础、Solidworks 软件建模、PowerMill 软件编程等。

本书是编者多年从事数控机床教学和实训的经验总结，集中体现了通过实训操作培养和提升技能的教学理念。本书可作为职业院校机械类专业的实训教材，同时也可作为企业技术人员的培训用书。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

零件的数控铣床加工/夏尚飞，王建主编. —北京：电子工业出版社，2022.7

ISBN 978-7-121-43928-5

I. ①零… II. ①夏… ②王… III. ①数控机床—铣床—零部件—加工—高等学校—教材

IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2022）第 117502 号

责任编辑：朱怀永

印 刷：

装 订：

出版发行：电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本：787×1092 1/16 印张：15.75 字数：403.2 千字

版 次：2022 年 7 月第 1 版

印 次：2022 年 7 月第 1 次印刷

定 价：49.80 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888，88258888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

本书咨询联系方式：（010）88254608，zhy@phei.com.cn。

本书编委会

主 编 夏尚飞 王 建

副主编 高 敏 朱 军

参 编 周重锋 陶 辉 王其平 胡安渠 闵 红 曾 峰

杨 升 何树安 李东民 杜 辉 潘 强 林小飞

前　　言

随着我国装备制造业的大力发展，数控机床逐渐成为机械工业设备更新和技术改造的首选。数控机床的发展与普及，需要大批高素质的数控机床编程与操作人员。全国许多院校已开设了数控专业。在数控专业的课程中，数控铣床加工尤其重要，但目前缺乏实用性和可操作性强的实训教材，在很大程度上影响了数控实训的效果。

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理念。本书采用项目化编写体例，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。书中的任务大部分来自企业产品，有的进行了转化。编者力求把数控加工企业岗位所要求的知识、技能相互融合，并渗透到每个任务中，让学生在“做中学、学中做”，以便实现与企业的零距离对接。

本书案例的选择以企业产品为主，如垫块、鲁班锁、凸轮槽、链轮、镶块等。每个案例均按照以任务化方式进行内容组织，分为工作任务、相关知识、制订任务进度计划、任务实施方案、实施编程与加工、检查与评价、探究与拓展等七个活动。

本书可作为大中专院校和技工院校等数控类、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、工程技术人员与国家职业技能鉴定的参考用书。

本书由枣庄职业学院夏尚飞组织编写并统稿。参加编写的有王建、高敏、周重锋、曾峰、陶辉、王其平、胡安渠、杨升等教师。这些教师大多数都指导学生参加过数控技能大赛并取得过优异成绩。

本书在编写过程中，还得到宁波诺扬自动化科技有限公司朱军工程师及 Autodesk 欧特克软件（中国）有限公司潘强、林小飞工程师的大力支持和帮助，在此特向他们表示感谢。

山东科技大学李东民、枣庄学院杜辉和闵红三位老师认真审阅了全书，并提出了许多宝贵意见和建议，在此谨致谢意。

由于编者的水平有限，书中难免存在一些不足，恳请读者批评指正。

编　　者

2021 年 6 月

目 录

项目一 数控铣床的认识与基本操作	1
任务一 初识数控铣床	1
一、工作任务	2
二、相关知识	2
三、制订任务进度计划	10
四、任务实施方案	11
五、任务实施	11
六、检查与评价	11
七、探究与拓展	12
任务二 垫块的手动切削	12
一、工作任务	13
二、相关知识	13
三、制订任务进度计划	23
四、任务实施方案	23
五、实施编程与加工	24
六、检查与评价	24
七、探究与拓展	25
项目二 平面与外轮廓零件的加工	26
任务一 鲁班锁的加工	26
一、工作任务	27
二、相关知识	27
三、制订任务进度计划	36
四、任务实施方案	36
五、实施编程与加工	37
六、检查与评价	38
七、探究与拓展	39
任务二 凸轮槽的加工	40
一、工作任务	40
二、相关知识	40

三、制订任务进度计划	46
四、任务实施方案	46
五、实施编程与加工	47
六、检查与评价	47
七、探究与拓展	48
项目三 孔盘类零件的加工	52
任务一 镶件零件的加工	52
一、工作任务	53
二、相关知识	53
三、制订任务进度计划	61
四、任务实施方案	61
五、实施编程与加工	62
六、检查与评价	62
七、探究与拓展	63
任务二 支撑盖的加工	64
一、工作任务	65
二、相关知识	65
三、制订任务进度计划	70
四、任务实施方案	70
五、实施编程与加工	71
六、检查与评价	72
七、探究与拓展	73
项目四 槽类零件的加工	76
任务一 长条槽板的加工	76
一、工作任务	76
二、相关知识	77
三、制订任务进度计划	85
四、任务实施方案	85
五、实施编程与加工	86
六、检查与评价	86
七、探究与拓展	87
任务二 链轮零件的加工	88
一、工作任务	88
二、相关知识	89
三、制订工作进度计划	98
四、任务实施方案	98
五、实施编程与加工	99
六、检查与评价	99
七、探究与拓展	100

项目五 非圆曲线零件的加工	102
任务一 椭圆柱注塑模具的加工	102
一、工作任务	103
二、相关知识	104
三、制订工作计划	117
四、任务实施方案	117
五、实施编程与加工	118
六、检查与评价	119
七、探究与拓展	120
任务二 顶杆底座的曲面加工	121
一、工作任务	121
二、相关知识	122
三、制订任务进度计划	131
四、任务实施方案	131
五、实施编程与加工	132
六、检查与评价	133
七、探究与拓展	134
项目六 铣削综合加工	135
任务一 腰形槽底板的加工	135
一、工作任务	136
二、相关知识	136
三、制订任务进度计划	144
四、任务实施方案	144
五、实施编程与加工	145
六、检查与评价	146
七、探究与拓展	147
任务二 三坐标测量样件的加工	148
一、工作任务	148
二、相关知识	150
三、制订任务计划	158
四、任务实施方案	158
五、实施编程与加工	159
六、检查与评价	160
七、探究与拓展	161
项目七 零件的自动编程加工	162
任务一 烟灰缸的绘制	163
一、工作任务	163
二、相关知识	163

三、制订任务进度计划	174
四、任务实施方案	174
五、实施设计与建模	174
六、检查与评价	175
七、探究与拓展	175
任务二 花瓶的加工	176
一、工作任务	176
二、相关知识	176
三、制订任务进度计划	199
四、任务实施方案	199
五、实施编程与加工	200
六、检查与评价	200
七、探究与拓展	201
附录 A 国家职业标准——数控铣工	203
一、职业概况	203
二、基本要求	205
三、基础知识	205
四、工作要求	206
五、比重表	209
附录 B 中级数控铣工技能鉴定理论知识样题	210
参考答案	222
附录 C 高级数控铣工技能鉴定理论知识样题	223
参考答案	231
附录 D 中级数控铣工操作技能考核样题	233
附录 E 高级数控铣工操作技能考核样题	236
参考文献	239

项目一 数控铣床的认识与基本操作



项目知识目标

- (1) 了解数控铣床的结构、组成与分类。
- (2) 了解数控铣床控制面板各按键的功能。
- (3) 了解数控铣床维护保养的内容。
- (4) 掌握 FANUC 系统数控铣床的基本操作方法与操作步骤。



项目技能目标

- (1) 能够使用数控铣床的控制面板操作数控铣床。
- (2) 能够正确进行程序的编辑与录入。
- (3) 能够正确判别数控铣床各坐标轴的正方向。
- (4) 能够正确安装刀具、工件及选用量具。

为了提高加工效率，降低加工中人为因素造成的产品质量问题，20世纪50年代数控机床运用而生。数控铣床是数控机床的一种，它主要采用铣削方式加工零件，能够进行外形轮廓铣削、平面或曲面型腔铣削及三维复杂型面的铣削，如凸轮、模具、叶片等的铣削加工。另外，数控铣床还具有孔加工的功能，通过特定的功能指令可进行一系列孔的加工，如钻孔、扩孔、铰孔、镗孔和攻丝等。

任务一 初识数控铣床



本任务课件

【任务知识目标】

- (1) 掌握数控铣床控制面板各按键的功能及用途。
- (2) 掌握数控铣床的基本加工指令、编程格式和编程加工方法。

【任务技能目标】

- (1) 能正确判别数控铣床各坐标轴的正方向。
- (2) 能正确进行数控铣床的开关机。
- (3) 掌握数控铣床的基本操作。

一、工作任务

如图 1-1 所示为一台普通的数控铣床，型号为 XKC715。该铣床为立式数控铣床，工作台尺寸为 $1600\text{mm} \times 500\text{mm}$ 。为了更好地使用和操作此类数控铣床，我们必须熟悉数控铣床的组成、工作原理，了解和掌握数控铣床的分类、特点及基本操作。



图 1-1 数控铣床

二、相关知识

(一) 数控铣床的组成和工作原理

1. 数控铣床的组成

数控铣床主要由机床本体、控制介质、数控装置、伺服机构、运动装置、辅助装置、检测反馈装置组成，如图 1-2 所示。

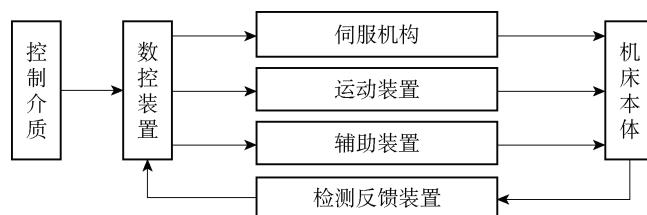


图 1-2 数控铣床的组成框图

1) 机床本体

机床本体是加工过程中实际运动的机械部件，主要包括主运动部件、进给运动部件（如工作台、刀架）和支撑部件（如床身、立柱等），还有冷却装置等。数控铣床本体如图 1-3 所示。

2) 控制介质

控制介质是指将零件加工信息传送到数控装置的程序载体。控制介质大致分为纸介质和电磁介质，且分别通过相应的方式输入到数控装置中。纸带输入方式，即在专用的纸带上穿孔，用不同孔的位置组成数控代码，再通过纸带阅读机将代表不同含义的信息读入。常用的

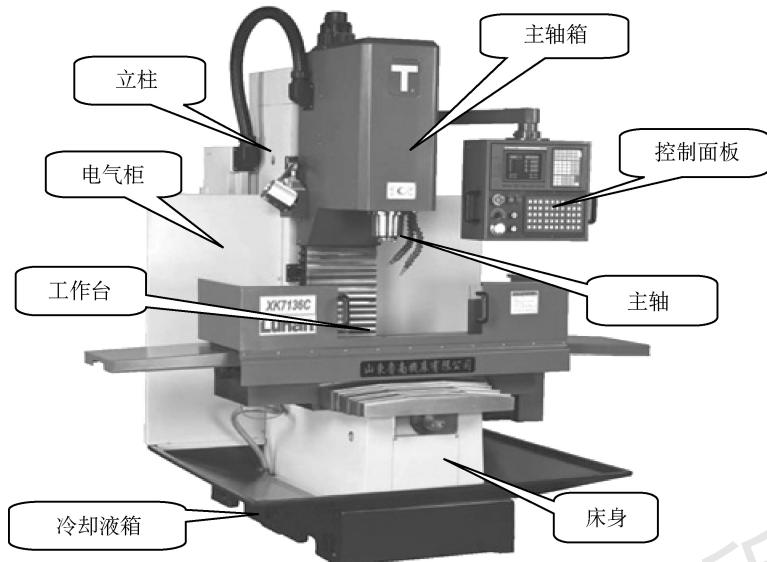


图 1-3 数控铣床本体

电磁介质有磁盘、CF 卡、Flash (U 盘) 等, 如图 1-4 所示。

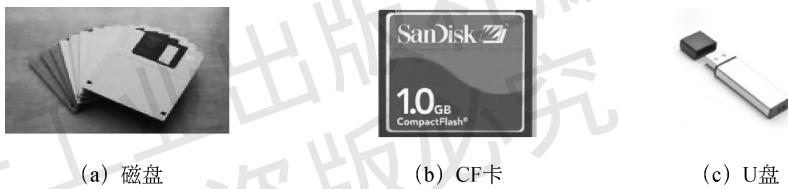


图 1-4 常用的电磁介质

手动输入是将数控程序通过数控机床上的键盘输入, 程序内容存储在数控系统的存储器内, 使用时可以随时调用。数控程序可以由计算机编程软件生成, 并通过通信方式传递到数控系统中, 通常使用数控装置的 RS-232 串行口、RJ-45 口或网络接口等来完成通信。

3) 数控装置

数控系统一般是由专用或通用计算机硬件加上系统软件和应用软件组成, 用于完成数控设备的运动控制、人机交互、数据管理和相关的辅助控制等功能。数控系统是数控设备功能实现和性能保证的核心组成部分, 是整个设备的中心控制机构。随着开放式数控技术的出现, 数控系统已具备了自我扩展和自我维护的功能, 为数控设备的应用提供了可自定义系统软硬件功能和性能的能力。数控装置是数控铣床的核心, 由数控系统、输入和输出接口等组成。数控装置的作用是将接收到的数控程序, 经过编译、数学运算和逻辑处理后, 输出各种控制信号到输出接口。

4) 伺服机构

数控伺服机构是指以机床运动部件 (如工作台、主轴和刀具等) 的位置和速度作为控制量的自动控制系统, 又称为随动系统。数控伺服系统的作用是接收来自数控装置的进给脉冲信号, 经过一定的信号变换及电压、功率放大, 驱动机床运动部件实现运动, 并保证动作的快速性和准确性。伺服机构由驱动装置和执行部件 (如伺服电机) 两大部分组成, 如图 1-5 所示。



(a) 驱动装置 (b) 伺服电机

图 1-5 伺服机构

5) 检测反馈装置

检测反馈装置是根据系统要求不断测定运动部件的位置或速度，将其转换成电信号传输到数控装置中，与目标信号进行比较、运算，并反馈到机床的数控装置中，进而对机床进行控制的。

检测装置的检测元件有多种，常用的有直线光栅（见图 1-6）、光电编码器（见图 1-7）、圆光栅、绝对编码尺等。



图 1-6 直线光栅



图 1-7 光电编码器

6) 运动装置

运动装置由床身、主轴箱、工作台、进给机构等组成，伺服电机驱动运动装置运动，完成工件与刀具之间的相对运动。

7) 辅助装置

辅助装置是指数控铣床（加工中心）的一些配套部件，包括刀库、液压和气动装置、冷却系统和排屑装置等。

2. 数控铣床的工作原理

数控铣床的工作原理如图 1-8 所示。加工零件的步骤如下：

- (1) 根据被加工零件的图样与工艺方案，用规定的代码和程序段格式编写加工程序。
- (2) 将所编写的加工程序输入到数控装置中。
- (3) 数控装置对程序（代码）进行处理之后，向铣床各个坐标的伺服机构和辅助装置发出控制信号。
- (4) 伺服机构接到控制信号后，驱动铣床的各个运动装置，并控制所需的辅助动作。
- (5) 数控装置再次进行数控程序中程序段的插补计算和位置控制，逐行完成加工程序的编译和处理，直至加工程序执行完毕。



图 1-8 数控铣床的工作原理

(二) 数控铣床的分类和特点

1. 数控铣床的分类

数控铣床的用途十分广泛，按照不同的分类标准可分为不同种类。

(1) 按主轴轴线位置方向分为数控立式铣床、数控卧式铣床，分别如图 1-9 和图 1-10 所示。



图 1-9 数控立式铣床



图 1-10 数控卧式铣床

(2) 按加工功能分为数控铣床、数控仿形铣床、数控齿轮铣床等。

(3) 按控制坐标轴数分为两坐标数控铣床、两坐标半数控铣床、三坐标数控铣床等。

(4) 按伺服方式分为闭环伺服系统数控铣床、开环伺服系统数控铣床、半闭环伺服系统数控铣床等。

2. 数控铣床的特点

数控铣床可完成铣平面、铣斜面、铣槽、铣曲面、钻孔、镗孔、攻螺纹等的加工，一般情况下，可以在一次装夹中完成所需的加工工序。

目前，数控装置的脉冲当量一般为 0.001mm，高精度的数控系统可达 0.0001mm，因此可保证加工工件的精度。此外，利用数控铣床加工零件还可避免工人的操作误差，使得一批加工零件的尺寸同一性更好，定位精度更高，在加工各种复杂模具时显示出更好的优越性。

数控铣床的最大特点是高柔性，一般不需要使用专用夹具，在更换工件时，只需调用存储于存储器中的加工程序，即可进行工件装夹和刀具数据调整，因此能大大缩短生产周期。

一般的数控铣床都具有铣床、镗床和钻床的功能，高度集中了生产工序，大大提高了生产效率，同时减少了工件的装夹误差。

(三) FANUC 数控铣床面板介绍

1. 基本面板

FANUC Oi Mate-MD 铣床数控系统面板如图 1-11 所示，由系统操作面板（见图 1-12）和

机床控制面板（见图 1-13）两部分组成。系统操作面板可分为 LED 显示区、MDI 键盘区（包括字符键和功能键等）、软键开关区和存储卡接口。



图 1-11 Fanuc Oi Mate-MD 铣床数控系统面板



图 1-12 系统操作面板



图 1-13 机床控制面板

1) MDI 键盘功能说明

MDI 键盘用于程序编辑、参数输入等。MDI 键盘上各按键及功能见表 1-1。

表 1-1 MDI 键盘上各按键及功能

按键	功能
	：左侧 CRT (显示器) 显示内容的向上翻页；：左侧 CRT 显示内容的向下翻页
	移动 CRT 中的光标位置，分别代表光标的上、下、左、右移动
	实现字符的输入，按 键后再按字符键，将输入右下角的字符。例如：按 键将在 CRT 的光标处输入 “O” 字符；按 键后再按 键将在光标处输入 P 字符；按 “EOB” 键将输入 “;”，表示换行结束
	实现字符的输入。例如：按 键将在光标所在位置输入 “5” 字符，按 键后再按 键将在光标所在位置输入 “]”
	在 CRT 中显示当前机床的坐标位置
	CRT 将进入程序编辑和显示界面
	CRT 将进入参数刀偏/设定显示界面
	显示系统界面（包括参数、诊断、PMC 和系统等）
	显示报警界面
	在自动运行状态下将数控显示切换至轨迹模式
	上档键，按一下此键，再按字符键，将输入对应右下角的字符
	删除已输入到缓存器的最后一个字符
	将数据域中的数据输入到指定的区域
	字符替换
	将输入域中的内容插入到指定区域
	删除一段字符
	显示操作机床的帮助
	使 CNC 复位，用以消除报警等

2) 机床坐标位置界面

按 键进入坐标位置界面。单击 [绝对]、[相对]、[综合] 软键，CRT 界面将依次对应切换为相对坐标界面（见图 1-14^①）、绝对坐标界面（见图 1-15）、和综合坐标界面（见图 1-16）。

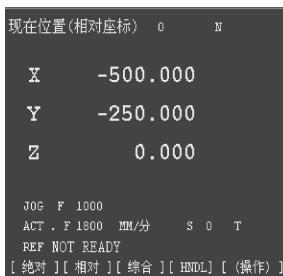


图 1-14 相对坐标界面

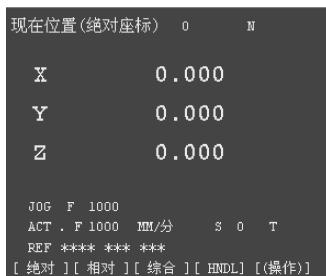


图 1-15 绝对坐标界面

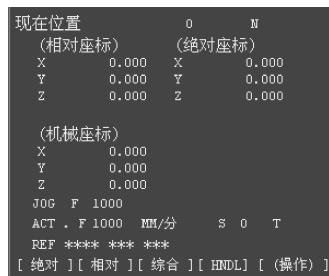


图 1-16 综合坐标界面

① 机床位置界面中“座标”应为“坐标”，在此统一说明。

3) 程序管理界面

按 **POS** 键进入程序管理界面，单击 **[LIB]** 软键，将显示程序列表（见图 1-17），在程序列表中选择某一程序，按 **PROG** 键将显示该程序内容（见图 1-18）。

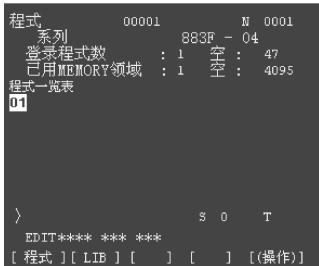


图 1-17 显示程序列表



图 1-18 显示当前程序内容

2. 控制面板

FANUC Oi 数控铣床的控制面板通常在 CRT 的下方（见图 1-19），各按键（旋钮）的名称及功能见表 1-2。

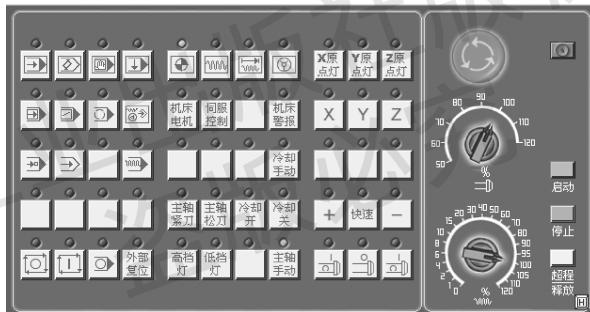


图 1-19 Fanuc Oi 数控铣床的控制面板

表 1-2 控制面板上各按键（旋钮）的名称及功能

按键（旋钮）	名称	功能说明
	自动运行	此按键被按下后，系统进入自动运行模式，其指示灯点亮
	编辑	此按键被按下后，系统进入程序编辑状态，其指示灯点亮
	MDI	此按键被按下后，系统进入 MDI 模式，手动输入并执行指令，其指示灯点亮
	远程执行	此按键被按下后，系统进入远程执行模式（DNC 模式）
	单节	此按键被按下后，运行程序时每次执行一条数控指令
	单节忽略	此按键被按下后，数控程序中的注释符号 “/” 有效
	选择性停止	此按键被按下后，“M01” 代码有效
	机械锁定	自动运行模式下按下此按键，Z 轴不移动，只在屏幕上显示坐标值的变化，其左上角带有指示灯
	试运行	空运行
	进给保持	程序运行暂停与恢复。在程序运行过程中，按下此按键，运行暂停；按下“循环启动”按键，恢复运行

续表

按键(旋钮)	名称	功能说明
	循环启动	程序运行开始。系统处于“自动运行”或“MDI”模式时按下此按键，有效，其余模式下无效
	循环停止	程序运行停止。在数控程序运行中，按下此按键，停止程序运行
	回原点	机床处于回零模式。机床必须首先执行回零操作，然后才可以运行
	手动	机床处于手动模式，连续移动
	手动脉冲	机床处于手轮控制模式
	手动脉冲	机床处于手轮控制模式
	X轴选择	手动模式时 X 轴选择按键
	Y 轴选择	手动模式时 Y 轴选择按键
	Z 轴选择	手动模式时 Z 轴选择按键
	正向移动	手动模式时，按下该按键，系统将向所选轴正向移动。在回零模式时，按下该按键将所选轴回零
	负向移动	手动模式时，按下该按键，系统将向所选轴负向移动
	快速	按下该按键将进入手动快速模式
	主轴控制	依次为主轴正转、主轴停止、主轴反转
	启动	用于打开 NC 系统电源，启动数控系统的运行
	停止	用于关闭 NC 系统电源，停止数控系统的运行
	超程释放	当 X、Z 轴达到硬限位时，按下此按键释放限位。此时，限位报警无效，急停信号无效，其左上角带有指示灯
	主轴倍率选择	当旋钮旋至对应刻度时，主轴将按设定值乘以刻度对应百分数执行动作
	进给倍率	当旋钮旋至相应刻度时，各进给轴将按设定值乘以刻度对应百分数执行进给动作
	急停	按下急停按键，使机床立即停止，并且所有的输出（如主轴的转动等）都会关闭
	手轮轴选择	用于选择进给轴
	手轮进给倍率	用于调节点动/手轮步长。 $\times 1$ 、 $\times 10$ 、 $\times 100$ 分别代表移动量为 0.001mm、0.01mm、0.1mm
	手轮进给倍率	在手轮控制模式下，可以对各进给轴进行手轮进给操作，其倍率可以通过该旋钮进行选择

(四) FANUC 数控铣床基本操作

1. 启动机床电源及系统

按下“启动”按键 启动 ，此时机床电机和伺服控制的指示灯点亮。

检查“急停”按键 急停 是否处于松开状态，若未松开，按下“急停”按键 急停 ，将其松开。

2. 机床回参考点

检查操作面板上回原点指示灯是否点亮，若指示灯点亮，则已进入回零模式；若指示灯不亮，则按下“回原点”按键 回原点 ，进入回零模式。

在回零模式下，先将X轴回原点，按操作面板上的“X轴选择”按键 X ，使X轴方向移动指示灯点亮 X ，按 + 键，此时X轴回到原点，CRT界面上X坐标变为“0.000”。同样，再分别按Y轴和Z轴按键 Y 、 Z ，使指示灯点亮，按 + 键，Y轴和Z轴回到原点。回原点后的CRT显示如图1-20所示。



图 1-20 回原点后的 CRT 显示

3. 机床运动

按下“手动”按键 手动 ，手动状态灯点亮，进入手动模式。按下“X轴选择”按键 X ，X轴方向移动指示灯点亮 X ，按 - 键，此时X轴将沿着负方向运动。同样，再分别按Y轴和Z轴选择按键 Y 、 Z ，将相应指示灯点亮，按 - 键，此时Y轴和Z轴对应坐标发生变化。

按下“手动脉冲”按键 脉冲 ，采用手轮控制方式移动机床，将“手轮轴选择”旋钮 手轮轴选择 置于X档，调节“手轮进给倍率”旋钮 手轮进给倍率 ，分别顺时针及逆时针旋转“手轮进给倍率”旋钮 手轮进给倍率 ，查看坐标系变化情况。同样，用手轮分别控制Y轴和Z轴运动。

三、制订任务进度计划

通过参观数控加工车间完成本任务，试根据任务要求，制订合理的任务完成进度计划，根据各小组成员的特点分配具体工作任务。初识数控铣床任务分配表见表1-3。

表 1-3 初识数控铣床任务分配表

序号	工作内容	时间分配	成员	责任人
1	认识数控铣床的组成结构			
2	认识数控铣床操作面板上各按键的功能及操作			
3	数控铣床开机及回零操作			
4	数控铣床的日常维护与保养			

四、任务实施方案

1. 参观要求

参观数控加工车间，观察技术人员操作数控铣床加工零件，根据查阅的相关资料及实训教师和技术人员的讲解，明确数控铣床的加工范围及组成；了解数控铣床涉及的机械传动及电气控制知识；能够正确判断数控铣床的坐标系；简单了解数控铣床加工零件的全过程。

2. 收集信息

制作并填写参观提问计划表，见表 1-4。

表 1-4 参观提问计划表

设计问题	描述	知识整理
与数控车削相比较，数控铣削的优势		
数控铣床的坐标系如何确定		
数控铣削加工与雕刻加工的不同		
数控铣床加工零件的范围		
车铣复合机床的用途		
.....		

3. 填写数控铣床加工零件参观现场记录表

数控铣床加工零件参观现场记录表见表 1-5。

表 1-5 数控铣床加工零件参观现场记录表

观察项目	观察记录	问题
数控铣床的组成及各部位名称		
工具、量具、刀具		
数控铣床的运动		
生产车间工艺文件的填写		
零件加工的过程		
系统面板各按键的功能		

五、任务实施

- (1) 在教师讲解时，验证信息的正确性，并在相应表格中进行知识整理。
- (2) 小组讨论后与教师沟通，确定表 1-4 和表 1-5 的栏目和内容。
- (3) 学生在教师的指导下，完成数控铣床的开关机、回零及精准运动操作。

六、检查与评价

1. 学生自检

学生自检操作机床的准确性及熟练程度，能根据组长的指令通过手轮完成机床的精准移动。

2. 成绩评定

教师协同组长，对各组成员完成工作任务的情况进行综合评价（见表 1-6）。

表 1-6 工作任务评价表

评价项目与标准		配分	等级评定			
			A	B	C	D
职业能力	1. 能够准确叙述数控铣床的组成及分类	10				
	2. 能够准确叙述数控铣床的加工范围及特点	10				
	3. 理解数控铣床的坐标系及运动	10				
	4. 感知数控铣床的机械传动	10				
	5. 理解数控铣削加工过程	10				
	6. 理解数控的概念，能叙述数控铣床的工作原理	10				
	7. 能识别常用的机床按键	10				
	8. 能完成数控铣床回零、对刀等基本操作	10				
参观过程	1. 出勤情况 2. 遵守纪律情况 3. 计划落实情况，有无提问与记录 4. 有无安全意识 5. 是否主动了解情况	10				
核心能力	1. 能否有效沟通 2. 使用基本的礼貌用语 3. 能否与组员主动交流 4. 能否自我学习及自我管理	10				
合计		100				
简要自我评述		学习建议				

七、探究与拓展

继续查阅相关资料，总结归纳除 FANUC 系统外常见的数控机床系统还有哪些？如何进行数控铣床的安全操作与日常维护？

任务二 垫块的手动切削



本任务课件

【任务知识目标】

- (1) 认识数控铣床常用刀具。
- (2) 认识数控铣床常用量具。
- (3) 了解数控铣床基本功能指令。

【任务技能目标】

- (1) 掌握在 MDI 模式时启动主轴的方法。
- (2) 掌握手动模式时操作数控铣床的方法。
- (3) 掌握手轮控制模式时操作数控铣床的方法。

一、工作任务

某模具厂需加工垫块（图纸如图 1-21 所示）上平面，下平面及两侧均已按图纸技术要求加工完毕，上平面留 0.5mm 余量待加工。垫块的制作件数为 20，毛坯为 45#钢。现要求按图纸加工该垫块，提交成品件及检验报告。

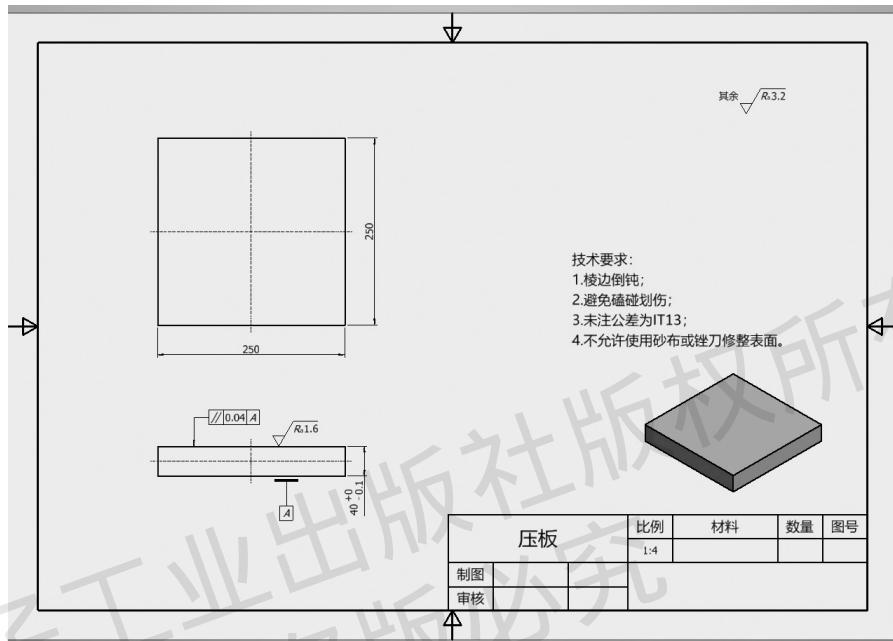


图 1-21 板状零件平面铣削^①

二、相关知识

(一) 数控铣床刀具

金属切削示意图如图 1-22 所示，数控铣床钻削加工时使用的钻削刀具（数控刀具的一种）如图 1-23 所示。数控刀具主要指数控铣床上所使用的刀具，简称数控车刀。数控铣床配置的刀具的性能直接影响数控铣床功能和作用的发挥。

数控铣床刀具的种类很多，为了适应数控铣床高速和自动化程度高的特点，刀具正朝着标准化、通用化和模块化的方向发展。常用的数控铣床刀具按切削加工工艺可分为三种：钻削刀具、镗削刀具和铣削刀具。为了满足特殊的铣削要求，又发展了各种特殊用途的专用刀具。

1. 钻削刀具和螺纹刀具

1) 钻削刀具

在数控铣床和加工中心上钻孔都是无钻模直接钻孔，一般钻孔深度约为钻孔直径的 5 倍左右，加工细长孔时刀具易折断，因此需要注意冷却和排屑。

在钻孔前应先用中心钻钻一个中心孔，或用一个刚性较好的短钻头代替中心钻，解决在

^① 图中，此图为 Pro/E 绘制，尺寸标注时由软件自动添加尺寸符号，符号与国家制图标准有差异。

铸件毛坯表面的引正等问题。如代替孔的倒角，以提高小钻头的寿命。

当工件毛坯表面硬度较高钻头无法钻削时，可先用硬质合金立铣刀，在欲钻孔部位先铣一个小平面，然后再用中心钻钻一引孔，解决硬表面钻孔的引正问题。



图 1-22 金属切削示意图



图 1-23 钻削刀具

2) 螺纹刀具

内螺纹、外螺纹、圆柱螺纹、圆锥螺纹等都可以在数控铣床上加工。内外螺纹加工示意图分别如图 1-24 和图 1-25 所示。丝锥是一种加工内螺纹的工具，可加工 M3~M12 的螺纹孔。但是，使用丝锥进行螺纹切削时，经常会出现由于底孔精度不足导致螺纹精度、表面粗糙度降低的问题。螺纹铣刀可以确保较大的排屑空间，尤其对加工直径较大的螺纹孔，如 M5~M20 的螺纹孔。螺纹加工中使用的可换刀片式螺纹刀、整体式螺纹刀分别如图 1-26 和图 1-27 所示。

2. 铣削刀具

铣削加工刀具的种类很多，在数控铣床和加工中心上常用的铣刀有以下几种。

1) 面铣刀

铣削较大平面时，为了提高生产效率和提高加工表面粗糙度，一般选用面铣刀。面铣刀的圆周表面和端面上都有切削刃，刀齿材料为高速钢或硬质合金，刀体材料为 40Cr。面铣刀分为两大类，一类是以钎焊方式将硬质合金刀片固定在刀齿上，然后把刀齿安装在铣刀刀体上，这种铣刀称为整体式焊接铣刀，如图 1-28 所示。第二类是将硬质合金刀片直接安装在铣刀刀体上，然后用螺钉等固定，这种铣刀称为可转位机夹式铣刀，如图 1-29 所示。

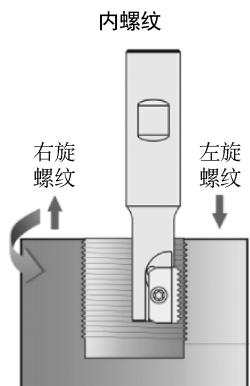


图 1-24 内螺纹加工示意图

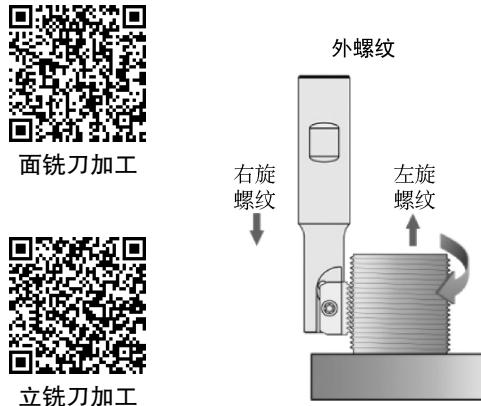


图 1-25 外螺纹加工示意图



图 1-26 可换刀片式螺纹刀



图 1-27 整体式螺纹刀

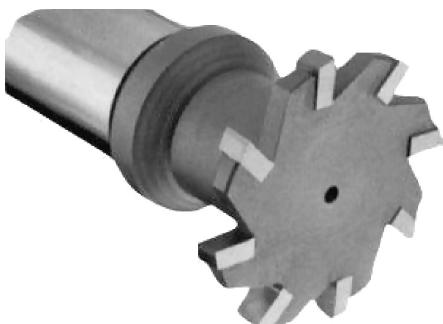


图 1-28 整体式焊接铣刀



图 1-29 可转位机夹式铣刀

目前，可转位机夹式铣刀的应用较为广泛，它将可转位刀片通过夹紧装置固定在刀体上，当刀片的一个切削刃用钝后，可直接在机床上将刀片旋转或更换新刀片。可转位机夹式铣刀要求刀片定位精度高、夹紧可靠、排屑容易、更换刀片迅速等，同时各定位、夹紧装置通用性要好，制造要方便，并且要求经久耐用。

面铣刀铣削平面一般采用二次走刀。粗铣时沿工件表面连续走刀，应选好走刀宽度和铣刀直径，使接刀刀痕不影响精铣走刀精度，当加工余量大且不均匀时铣刀直径要小些。精加工时铣刀直径要大些，最好能包容加工面的整个宽度。

2) 端铣刀

端铣刀是数控机床上用得最多的一种铣刀，主要用于在立式铣床上加工凹槽、台阶面等，如图 1-30 所示。



常用刀具

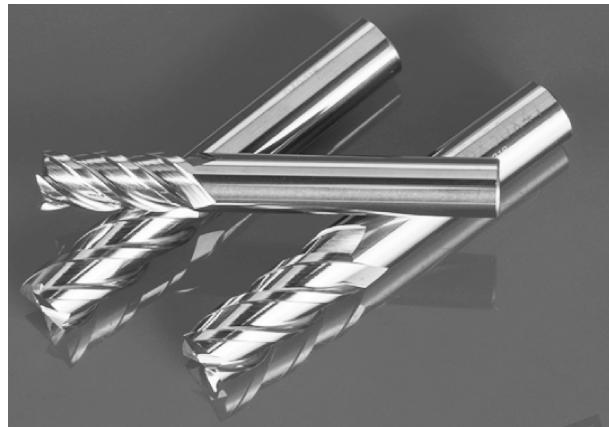
涂层立铣刀
加工

图 1-30 端铣刀

端铣刀的侧面和端面上都有切削刃，圆柱表面的切削刃为主切削刃，端面上的切削刃为副切削刃。主切削刃一般为螺旋齿，这样可以增加切削的平稳性，提高加工精度。由于普通端铣刀的端面中心处无切削刃，所以端铣刀不能做轴向进给，端面切削刃主要用来加工与侧面相垂直的底平面。

为了提高槽的加工精度，减少铣刀的种类，加工时可采用直径比槽宽小的铣刀，先铣槽的中间部分，然后用刀具半径补偿功能来铣槽的两边。

3) 球头铣刀

球头铣刀是刀刃类似球头的铣刀，也称为 R 刀。刀具为特殊的球体形状有助于延长刀具的使用寿命，以及提高切削速度和进给速度，如图 1-31 所示。球头铣刀适用于加工空间曲面零件，有时也用于平面类零件较大的转接凹圆弧的加工。



球头铣刀加工



盘铣刀加工

图 1-31 球头铣刀

4) 键槽铣刀

键槽铣刀主要用于加工键槽与槽等。如图 1-32 所示，键槽铣刀一般有两个刀齿，圆柱面和端面都有切削刃。相对于端铣刀来说，键槽铣刀端面没有中心孔。键槽铣刀可以轴向进给

达到槽深，然后沿键槽方向铣出键槽。修磨键槽铣刀时只需磨端刃即可。



图 1-32 键槽铣刀

5) 模具铣刀

模具铣刀由立铣刀发展而成，适用于加工空间曲面零件，有时也用于平面类零件上有较大转接圆弧的过渡加工。模具铣刀可分为圆锥形立铣刀（圆锥半角 $\frac{\alpha}{2} = 3^\circ, 5^\circ, 7^\circ, 10^\circ$ ）、圆柱形球头立铣刀和圆锥形球头立铣刀，其柄部有直柄、削平型直柄和莫氏锥柄等几种类型。图 1-33 为不同类型的硬质合金模具铣刀。



图 1-33 模具铣刀

6) 鼓形铣刀

鼓形铣刀（见图 1-34）主要用于对变斜角类零件的变斜角面进行近似加工。它的切削刃分布在半径为 R 的圆弧面上，端面无切削刃， R 越小，加工的斜角范围越大。这种刀具刃磨困难，切削条件差，不适于加工有底的轮廓表面。



图 1-34 鼓形铣刀

7) 成型铣刀

成型铣刀一般都是为特定的工件或加工内容专门设计制造的，适用于加工平面类零件的

特定形状（如角度面、凹槽面等），也适用于加工特形孔或台。图 1-35 是几种成型铣刀。



图 1-35 成型铣刀

3. 镗削刀具

镗孔加工是为了修正下孔的偏心、获得精确的孔的位置，取得高精度的圆度、圆柱度和表面光洁度。镗孔一般是孔加工的最后工序。

镗孔的过程中一般都是采用移动工作台或立柱完成 Z 向进给（卧式）的，以此保证悬伸不变，从而获得进给的刚性。

镗刀是孔加工刀具的一种，一般是圆柄的，如图 1-36 所示。根据加工内容的不同，镗刀的选择也不一样。一般来说，应注意系统本身的刚性、动平衡性、柔性、信赖性、操作方便性及寿命和成本。

对于精度要求不高的几个同尺寸的孔，在加工时，可以用一把刀具完成所有孔的加工后，再更换一把刀具加工各孔的第二道工序，直至换最后一把刀具加工最后一道工序为止。

精加工孔则须单独完成，每道工序换一次刀具，尽量减少各个坐标的运动以减少定位误差对加工精度的影响。



图 1-36 镗刀

4. 铣床刀具的材料

铣床刀具的材料有金刚石刀具材料、立方氮化硼刀具材料、陶瓷刀具材料、涂层刀具材料、硬质合金刀具材料、高速钢刀具材料等。

刀具材料的性能主要是耐磨性、韧性和热硬性。耐磨性反映在刀具后刀面的磨损及其他形式的磨损，韧性是指刀具整体的抗弯性和抗横向断裂能力，热硬性是指刀具在高速度下对高温材料加工时的硬度保持性能。

1) 高速钢

高速钢是含较多钨、铬、钼、钒等合金元素的合金工具钢，刀具使用前需生产者自行刃

磨，适于各种非标准刀具。

2) 硬质合金

硬质合金是一种由碳化物和金属黏结剂组成的粉末的烧结制品。

3) 超硬刀具材料

超硬刀具材料是金刚石和立方氮化硼（cubic boron nitride, CBN）的统称，用于超精加工及硬脆材料加工，切削速度较硬质合金刀具提高了10~20倍。

5. 数控铣床刀具的应用范围

数控铣床可以完成各种平面轮廓、斜面轮廓、曲面轮廓（见图1-37）的铣削加工，还可以进行钻孔、扩孔、锪孔、铰孔、攻丝、镗孔等。

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。



图 1-37 平面类零件

2) 变斜角类零件

变斜角类零件（变斜角梁缘条如图1-38所示）的变斜角加工面不能展开为平面，但在加工中，加工面与铣刀圆周的瞬时接触为一条线。最好采用四坐标、五坐标数控铣床进行摆角加工，若没有上述机床，也可用三坐标数控铣床进行两轴半近似加工。

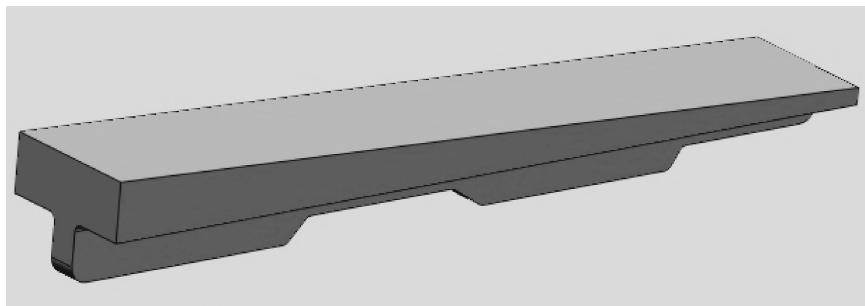


图 1-38 变斜角梁缘条

3) 空间曲面类零件

加工面为空间曲面的零件称为空间曲面类零件，如叶轮（见图1-39）、螺旋桨等。这类零件的加工面不能展成平面，一般使用球头铣刀切削，由于其加工面与铣刀始终为点接触，若采用其他刀具加工，则易产生干涉而破坏邻近表面，故可采用行切法或三坐标联动加工（空间直线插补）。当曲面较复杂、通道较狭窄、会伤及相邻表面及需要刀具摆动时，应采用四坐标或五坐标数控铣床进行加工。



图 1-39 叶轮

6. 箱体类零件

箱体类零件是机器或箱体部件的基础件，一般是指具有一个以上孔系，内部有不定型腔或空腔，在长、宽、高方向有一定比例的零件。汽车变速箱箱体如图 1-40 所示。

箱体类零件一般都需要进行多工位孔系、轮廓及平面加工，公差要求较高，特别是形位公差要求较为严格，通常要经过铣、钻、扩、镗、铰、锪、攻螺纹等加工工序，需要刀具较多，在普通机床上加工难度大，工装套数多，费用高，加工周期长，需多次装夹、找正，手工测量次数多，加工时必须频繁地更换刀具，工艺难以制定，更重要的是精度难以保证。这类零件在数控铣床尤其是加工中心上加工，一次装夹可完成普通机床 60%~95% 的工序内容，零件各项精度的一致性好，质量稳定，同时可节省费用、缩短生产周期。



图 1-40 汽车变速箱箱体

(二) 数控铣床的基本操作

数控铣床是在一般铣床的基础上发展起来的一种自动加工设备，两者的加工工艺基本相同，结构也相似。数控铣床分为不带刀库和带刀库两大类，其中带刀库的数控铣床又称为加工中心。

1. MDI 运行

(1) 将控制面板上 MODE 旋钮 切换至 MDI 模式。

(2) 按系统操作面板上的“PROG”键，在程序界面单击“翻页”键后 LED 显示区显示“程序段值”界面。

(3) 输入 M03，再输入给定的转速 (S1500)，按“INSERT”键将程序输入到系统中，最后按“循环启动”键。

2. 点动、步进操作

(1) 按机床控制面板上的“手动”键 , 使其指示灯点亮，机床进入手动模式。

- (2) “手动”模式时使用倍率旋钮选择增量进给的倍率大小。
- (3) 按机床控制面板上的“+X”“+Y”或“+Z”键，则刀具分别向X、Y、Z轴的正方向移动，按机床控制面板上的“-X”“-Y”或“-Z”键，则刀具分别向X、Y、Z轴的负方向移动。
- (4) 如使某坐标轴快速移动，只需在按住某轴的“+”或“-”键的同时，按住“快移”键即可。

3. 手轮进给

- (1) 按机床控制面板上的 ⑤ 功能按键。
- (2) 使用倍率旋钮选择增量进给的倍率大小。
- (3) 旋转“手轮轴选择”旋钮，选择相应的轴，旋转“手轮进给倍率”旋钮实现轴的运动。一般情况下，顺时针旋转“手轮进给倍率”旋钮为正向进给，逆时针旋转“手轮进给倍率”旋钮为负向进给。

(三) 数控机床坐标轴和运动方向

规定数控机床坐标轴和运动方向，是为了准确地描述机床运动，简化程序的编制，并使所编程序具有互换性。国际标准化组织已经统一了标准坐标系，我国也颁布了相应标准(JB3051—1982)，对数控机床的坐标和运动方向做了明文规定。

1. 运动方向命名的原则

机床在加工零件时，无论是刀具移动还是工件移动，永远都假定刀具是相对于静止的工件坐标而运动的，这样更容易确定零件的加工过程。

2. 坐标系的规定

为了确定机床坐标轴的运动方向、移动的距离，要在机床上建立一个坐标系，这个坐标系就是标准坐标系。在编制程序时，以该坐标系来规定运动的方向和距离。数控机床上的坐标系可采用右手笛卡儿坐标系(见图1-41)的方法进行确定。

- (1) 伸出右手的大拇指、食指和中指，并互为90°，大拇指代表X轴，食指代表Y轴，中指代表Z轴。
- (2) 大拇指的指向为X轴的正方向，食指的指向为Y轴的正方向，中指的指向为Z轴的正方向。

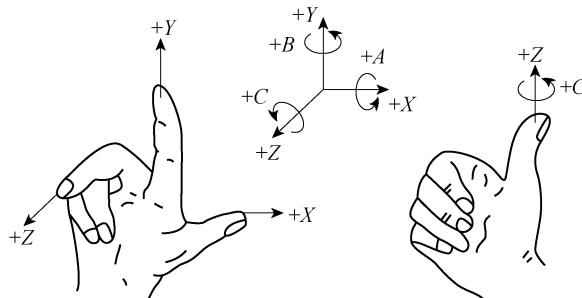


图1-41 笛卡儿坐标系

- (3) 围绕X、Y、Z轴旋转的旋转轴分别用A、B、C表示，根据右手螺旋定则，大拇指的

指向为 X 、 Y 、 Z 轴中任意轴的正向，则其余四指的旋转方向即为旋转轴 A 、 B 、 C 的正向。

3. 常用的坐标系

1) 机床坐标系

机床坐标系是机床上固有的坐标系，机床坐标系方位是通过参考机床上的一些基准来确定的。机床上有一些固定的基准线、固定的基准面，如主轴中心线、工作台面、主轴端面、工作台侧面、导轨面等，不同的机床有不同的坐标系。

在坐标系中，先确定 Z 轴，再确定 X 轴，最后按右手定则判定 Y 轴，增大工件与刀具之间距离的方向为坐标轴正方向。

Z 轴为平行于机床主轴（传递切削力）的刀具运动坐标轴，取刀具远离工件的方向为正方向 ($+Z$)。如果机床有多个主轴时，则选一个垂直于工件装夹面的主轴为 Z 轴。

X 轴垂直于 Z 轴，并平行于工件的装卡面，如果为单立柱铣床，面对刀具主轴向立柱方向看，其右运动的方向为 X 轴的正方向 ($+X$)。上述正方向都是刀具相对工件运动而言的。

在确定了 X 、 Z 轴的正方向后，可按右手直角笛卡儿坐标系确定 Y 轴的正方向，即在 $Z-X$ 平面内，从 $+Z$ 转到 $+X$ 时，右螺旋应沿 $+Y$ 方向前进。常见机床的坐标方向如图 1-42 和图 1-43 所示，图中表示的方向为实际运动部件的移动方向。

机床原点（机械原点）是机床坐标系的原点，它的位置通常是在各坐标轴的最大极限处。

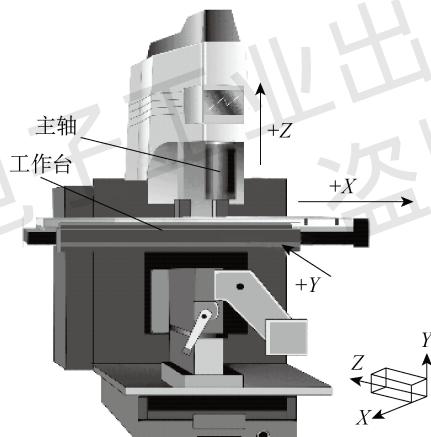


图 1-42 立式数控铣床坐标系

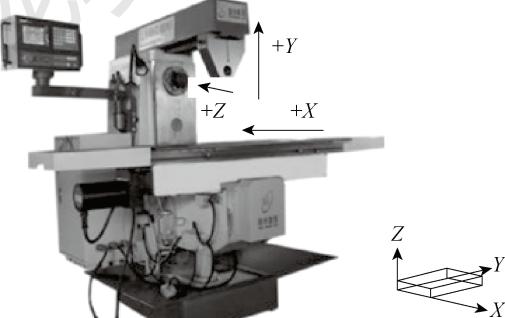


图 1-43 卧式数控铣床坐标系

2) 工件坐标系

工件坐标系是编程人员在编程和加工时使用的坐标系，是程序的参考坐标系。工件坐标系的位置以机床坐标系为参考点，一般在一个机床中可以设定 6 个工件坐标系。数控铣床/加工中心的机床原点一般设在刀具远离工件的极限点处，即坐标正方向的极限点处。编程人员以工件图样上的某点为工件坐标系的原点，称工件原点。而编程时的刀具轨迹坐标点是按工件轮廓在工作坐标系中的坐标而确定的。在加工时，工件随夹具安装在机床上，这时测量工件原点与机床原点间的距离，这个距离称作工件原点偏置。工件坐标系如图 1-44 所示。

工件原点偏置值必须在执行加工程序前预存到数控系统中。在加工时，工件原点偏置便能自动加到工件坐标系上，使数控系统可按机床坐标系确定加工时的绝对坐标值。因此，编程人员可以不考虑工件在机床上的实际安装位置和安装精度，而利用数控系统的原点偏置功

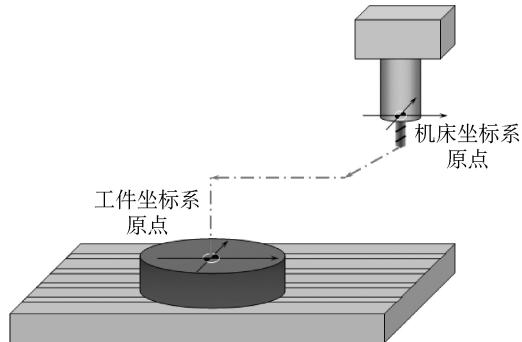


图 1-44 工件坐标系

能，通过工作原点偏置值补偿工件在工作台上的位置误差。

3) 附加运动坐标系

一般，我们称 X 、 Y 、 Z 构成的坐标系为第一坐标系，如有平行于第一坐标系的第二组和第三组坐标系，则分别指定为 U 、 V 、 W 、和 P 、 Q 、 R ，分别称为第二坐标系，更远的为第三坐标系。

三、制订任务进度计划

本次生产任务工期为 2 天，试根据任务要求，制定合理的工作进度计划，根据各小组成员的特点分配工作任务，填写表 1-7。

表 1-7 垫块加工任务分配表

序号	工作内容	时间分配	成员	责任人
1	工艺分析			
2	准备工具、量具			
3	铣削加工			
4	产品质量检验与分析			

四、任务实施方案

(1) 分析零件图样，写出垫块的加工方案。

(2) 查阅资料，分析完成本次任务需要用到哪些刀具、量具及夹具？

(3) 以小组为单位，结合所学普通铣床加工工艺知识，制定垫块的加工工艺卡（见表 1-8）。

表 1-8 垫块加工工艺卡

序号	加工方式	加工部位	刀具名称	刀具直径	刀角半径	刀具长度	刀刃长度	主轴转速/(r/min)	进给速度/(mm/min)	切削深度/Mm	加工余量/mm	程序名称

(4) 根据垫块的加工内容，完成垫块加工工艺过程卡，见表 1-9。

表 1-9 垫块加工工艺过程卡

工序号	名称	尺寸	工艺要求	检验	备注
1					
2					
3					

五、实施编程与加工

根据任务，选用手动或手轮控制模式编程与加工垫块。

六、检查与评价

1. 学生自检

学生完成零件自检，填写“考核评分表”（见表 1-10），并同刀具卡、工序卡和程序单（MDI 模式指令）一起上交。

2. 成绩评定

教师协同各组组长，对零件进行检测，对刀具卡、工序卡和程序单（MDI 模式指令）进行批改，对学生整个任务的实施过程进行分析，并填写“考核评分表”（见表 1-10），对每个学生进行成绩评定。

表 1-10 考核评分表

零件名称		零件图号		操作人员		完成工时		
序号	鉴定项目及标准		配分	评分标准（扣完为止）		自检	检查结果	得分
1	任务实施 45 分	填写刀具卡	5	刀具选用不合理扣 5 分				
2		填写加工工序卡	5	工序编排不合理每处扣 1 分，工序卡填写不正确每处扣 1 分				
3		填写加工程序单	10	程序编写不正确每处扣 1 分				
4		工件安装	3	装夹方法不正确扣 3 分				
5		刀具安装	3	刀具安装不正确扣 3 分				
6		程序录入	3	程序输入不正确每处扣 1 分				
7		对刀操作	3	对刀不正确每次扣 1 分				
8		零件加工过程	3	加工不连续，每终止一次扣 1 分				
9		完成工时	4	每超时 5min 扣 1 分				
10		安全文明	6	撞刀、未清理机床和保养设备扣 6 分				

续表

零件名称			零件图号		操作人员		完成工时						
序号	鉴定项目及标准		配分	评分标准（扣完为止）		自检	检查结果	得分					
11	工件质量 45分	尺寸	30	尺寸每超 0.1mm 扣 2 分									
12		粗糙度	15	每降一级扣 2 分									
13	误差分析 10分	零件自检	4	自检有误差每处扣 1 分，未自检扣 4 分									
14			6	误差分析不到位扣 1~4 分，未进行误差分析扣 6 分									
15	合计		100										
误差分析（学生填写）													
考核结果（教师填写）													
检验员		记分员		时间			年 月 日						

七、探究与拓展

本次任务加工的工件采用的是手动模式或手轮控制模式完成的，但是这两种加工模式并没有发挥数控铣床的优越性，效率不是很高。思考数控铣床的自动加工是如何实现的？