

# 数控铣编程与操作

## 项目教程

主编 李煜云

参编 刘俊华 张岩坤 林滋露 王欢

主审 黄富



华南理工大学出版社



# 数控铣编程与操作项目教程

主 编 李煜云  
参 编 刘俊华 张岩坤 林滋露 王 欢  
主 审 黄 富



华南理工大学出版社  
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

## 图书在版编目(CIP)数据

数控铣编程与操作项目教程/李煜云主编. —广州: 华南理工大学出版社, 2017. 4  
国家示范性中等职业技术教育精品教材  
ISBN 978 - 7 - 5623 - 5217 - 4

I. ①数… II. ①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 - 铣床 - 金属切削 - 中等专业学校 - 教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 063823 号

Shukong Xi Biancheng Yu Caozuo Xiangmu Jiaocheng

数控铣编程与操作项目教程

李煜云 主编

---

出 版 人: 卢家明

出版发行: 华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

http://www.scutpress.com.cn E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话: 020-87113487 87111048 (传真)

策划编辑: 何丽云

责任编辑: 何丽云

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16 印张: 10 字数: 260 千

版 次: 2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

---

版权所有 盗版必究 印装差错 负责调换

# 前言

本课程是数控技术、模具制造专业的核心课程，以系列典型零件项目为载体，学习数控铣床操作、编程知识和技能。每个项目中以典型实际零件为实例，涵盖了图纸分析、工艺知识、操作加工方法及编程知识等方面。通过本课程的学习，学生能够独立完成中等复杂程度零件的数控加工，掌握设计工艺、编制程序及操作加工等知识与技能。

本书以数控铣床加工的基本加工要素为项目设计思路，囊括了数控铣床基本知识、平面铣削加工、外形铣削加工、台阶零件加工、内槽加工、内轮廓加工、钻孔加工、镜像铣削加工、旋转加工、综合零件加工和半球铣削加工等。每个项目内容包含零件图纸的分析、零件加工刀具量具的选用、零件的加工工艺、零件节点坐标的计算、零件加工程序的编写、项目评分评价和适用的理论知识等。

本书具有以下特点：

(1) 以培养技能型人才为导向，以培养职业能力为核心，以项目工作任务及工作过程为依据，整合、程序化教学内容，做到技能训练与知识学习并重。既注重理论与任务相结合，同时遵循中等职业院校学生的认知规律，紧密结合职业技能考核要求，在编写过程中考虑企业对技术人员的需求，结合工作岗位实际，与就业岗位对接；以项目任务为驱动，强化知识与技能的融合；以技能鉴定为方向，促进学生养成规范的职业行为；将创新理念贯彻到内容选取、教材体例等方面，以学生能力发展为中心，培养学生的创新能力和自学能力。

(2) 除了大量项目实训和应用案例外，每个项目模块都能覆盖本课程的知识点，使抽象、难懂的教学内容变得直观、易懂和易掌握，并充分利用互联网资源、本课程网站资源，在网上开展教学活动，包括网络课程学习、自主学习、课后复习、课件下载、网上答疑等，使学生可以不受时间、地点的限制，方便学习提高。

(3) 在内容上，本书充分考虑到中职教育的特点和当前课程改革



的要求，针对一般教材“重知识、轻能力，重理论、轻实践”的弊端，按照“以工作任务为中心组织教学内容，以完成工作任务为主要学习方式和最终目标”的原则，并结合多年教学实践编写而成。通过设计课程内容，每个项目的学习都以实际零件工作任务为载体进行设计活动，实现“想、做、写、评、学、练”一体化，从而提高学生各方面的能力。

(4)在形式上，每个具体项目设置[项目引入]、[项目任务及要求]、[学习目标]、[项目实施过程]、[项目检查与评价]、[指令知识加油站]、[拓展项目]等板块，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。

本书由李煜云主编，黄富主审。具体写作分工如下：林滋露、王欢共同编写了项目一，李煜云编写了项目二至项目四，张岩坤编写了项目五至项目七，刘俊华编写了项目八至项目十一；全书由李煜云统稿。在编写过程中，东莞市高技能公共实训中心、东莞理工学院、东莞市高级技工学校、东莞电子商贸学校以及东莞模具制造相关企业给予了大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

限于作者的水平，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编者  
2017年1月

# 目 录

项目一 数控铣床基础知识 .....	1
内容一 数控技术与数控铣床的组成及加工特点 .....	1
[学习目标] .....	1
[知识学习] .....	2
内容二 数控铣床操作面板功能及操作 .....	11
[学习目标] .....	11
[知识学习] .....	11
内容三 数控铣床常用工刀夹具与对刀 .....	25
[学习目标] .....	25
[知识学习] .....	25
内容四 数控铣床指令及编程 .....	33
[学习目标] .....	33
[知识学习] .....	33
内容五 程序输入、编辑 .....	44
[学习目标] .....	44
[知识学习] .....	44
项目二 平面铣削加工 .....	48
[项目引入] .....	48
[项目任务及要求] .....	48
[学习目标] .....	49
[项目实施过程] .....	49
[项目检查与评价] .....	53
[指令知识加油站] .....	54
[拓展项目] .....	56
项目三 外形铣削加工 .....	57
[项目引入] .....	57
[项目任务及要求] .....	57
[学习目标] .....	58



	[项目实施过程] .....	58
	[项目检查与评价] .....	62
	[指令知识加油站] .....	63
	[拓展项目] .....	65
<b>项目四</b>	<b>台阶零件加工</b> .....	<b>66</b>
	[项目引入] .....	66
	[项目任务及要求] .....	66
	[学习目标] .....	67
	[项目实施过程] .....	67
	[项目检查与评价] .....	73
	[指令知识加油站] .....	74
	[拓展项目] .....	77
<b>项目五</b>	<b>内槽加工</b> .....	<b>78</b>
	[项目引入] .....	78
	[项目任务及要求] .....	78
	[学习目标] .....	79
	[项目实施过程] .....	79
	[项目检查与评价] .....	83
	[指令知识加油站] .....	84
	[拓展项目] .....	85
<b>项目六</b>	<b>内轮廓加工</b> .....	<b>86</b>
	[项目引入] .....	86
	[项目任务及要求] .....	86
	[学习目标] .....	87
	[项目实施过程] .....	87
	[项目检查与评价] .....	91
	[指令知识加油站] .....	92
	[拓展项目] .....	94
<b>项目七</b>	<b>钻孔加工</b> .....	<b>95</b>
	[项目引入] .....	95



	[项目任务及要求] .....	95
	[学习目标] .....	96
	[项目实施过程] .....	96
	[项目检查与评价] .....	100
	[指令知识加油站] .....	101
	[拓展项目] .....	103
<b>项目八</b>	<b>镜像铣削加工</b> .....	104
	[项目引入] .....	104
	[项目任务及要求] .....	104
	[学习目标] .....	105
	[项目实施过程] .....	105
	[项目检查与评价] .....	110
	[指令知识加油站] .....	111
	[拓展项目] .....	112
<b>项目九</b>	<b>旋转加工</b> .....	113
	[项目引入] .....	113
	[项目任务及要求] .....	113
	[学习目标] .....	114
	[项目实施过程] .....	114
	[项目检查与评价] .....	119
	[指令知识加油站] .....	120
	[拓展项目] .....	122
<b>项目十</b>	<b>综合零件加工</b> .....	123
	[项目引入] .....	123
	[项目任务及要求] .....	123
	[学习目标] .....	124
	[项目实施过程] .....	124
	[项目检查与评价] .....	134
	[拓展项目] .....	136



项目十一 半球铣削加工 .....	137
[项目引入] .....	137
[项目任务及要求] .....	137
[学习目标] .....	138
[项目实施过程] .....	138
[项目检查与评价] .....	144
[指令知识加油站] .....	145
[拓展项目] .....	147
附录 数控铣床铣削加工常用的量具 .....	148
参考文献 .....	149



# 项目一

## 数控铣床基础知识

### 内容一 数控技术与数控铣床的组成及加工特点

#### 学习目标

##### 知识目标

- 了解数控铣床型号标识与种类;
- 理解数控铣床的结构组成, 培养学生对本工种的兴趣;
- 了解数控铣床加工的特点与加工范围。

##### 技能目标

- 能区分不同类型数控铣床的加工特点。

##### 情感目标

- 培养学生对本工种的兴趣。

#### 想一想

1. 回想以前学过的普通铣床加工是如何实现的?
2. 普通铣床的结构组成有哪些?
3. 初步认识的数控铣床是什么样的? 由哪些结构组成?
4. 普通铣床的加工特点有哪些? 能加工什么样的零件? 和数控铣床有什么异同之处?
5. 谈谈对数控铣床的了解。





## 知识学习

### 读一读

#### 一、数控技术与数控铣床概述

数控(Numerical Control)技术是指用数字、文字和符号组成的数字指令来实现一台或多台机械设备动作控制的技术。它所控制的通常是位置、角度、速度等机械量与与机械能量流向有关的开关量。数控的产生依赖于数据载体和二进制数据运算的出现。19世纪末,以纸为数据载体并具有辅助功能的控制系统被发明;1908年,穿孔的金属薄片互换式数据载体问世;1938年,香农在美国麻省理工学院进行了数据快速运算和传输,奠定了现代计算机,包括计算机数字控制系统的基础。数控技术是与机床控制密切结合发展起来的。1952年,第一台数控机床问世,成为世界机械工业史上一件划时代的事件,推动了自动化的发展。

现在,数控技术也叫计算机数控技术(Computer Numerical Control),目前它是采用计算机实现数字程序控制的技术。这种技术用计算机按事先存储的控制程序来实现对设备的控制。由于采用计算机替代原先用硬件逻辑电路组成的数控装置,使输入数据的存储、处理、运算、逻辑判断等各种控制机能的实现,均可通过计算机软件来完成。

数字控制机床(Numerical Control Machine Tools)简称数控机床,这是一种将数字计算技术应用于机床的控制技术。它把机械加工过程中的各种控制信息用代码化的数字表示,通过信息载体输入数控装置。经运算处理由数控装置发出各种控制信号,控制机床的动作,使数控机床按图纸要求的形状和尺寸,自动地将零件加工出来。数控机床较好地解决了复杂、精密、小批量、多品种的零件加工问题,是一种柔性的、高效能的自动化机床,代表了现代机床控制技术的发展方向,是一种典型的机电一体化产品。

数控机床的基本组成包括加工程序载体、数控装置、伺服驱动装置、机床主体和其他辅助装置。下面分别对各组成部分的基本工作原理进行概要说明。

##### 1. 加工程序载体

数控机床工作时,不需要工人直接去操作机床,要对数控机床进行控制,必须编制加工程序。零件加工程序中,包括机床上刀具和工件的相对运动轨迹、工艺参数(进给量和主轴转速等)和辅助运动等。将零件加工程序用一定的格式和代码,存储在一种程序载体上,如穿孔纸带、盒式磁带、软磁盘等,通过数控机床的输入装置,将程序信息输入到CNC单元。

##### 2. 数控装置

数控装置是数控机床的核心。现代数控装置均采用CNC(Computer Numerical Control)形式,这种CNC装置一般使用多个微处理器,以程序化的软件形式实现数控功能,因此又称软件数控(Software NC)。CNC系统是一种位置控制系统,它根据输入数据插补出理想的运动轨迹,然后输出到执行部件加工出所需要的零件。因此,数控装置主要由输入、处



理和输出三个基本部分构成。而所有这些工作都由计算机的系统程序合理地进行组织，使整个系统协调地进行工作。

#### 1) 输入装置

输入装置将数控指令输入数控装置。根据程序载体的不同，相应有不同的输入装置，目前主要有键盘输入、CAD/CAM 系统直接通信方式输入和连接上级计算机的 DNC(直接数控)输入。

① MDI 手动数据输入方式。操作者可利用操作面板上的键盘输入加工程序的指令，它适用于比较短的程序。

在控制装置编辑状态(EDIT)下，用软件输入加工程序，并存入控制装置的存储器中。这种输入方法可重复使用程序。一般手工编程均采用这种方法。

在具有会话编程功能的数控装置上，可按照显示器上提示的问题，选择不同的菜单，用人机对话的方法，输入有关的尺寸数字，就可自动生成加工程序。

② 采用 DNC(直接数控)输入方式。把零件程序保存在上级计算机中，CNC 系统一边加工一边接收来自计算机的后续程序段。DNC 方式多用于使用 CAD/CAM 软件设计的复杂工件并直接生成零件程序的情况。

#### 2) 信息处理

输入装置将加工信息传给 CNC 单元，编译成计算机能识别的信息，由信息处理部分按照控制程序的规定，逐步存储并进行处理后，通过输出单元发出位置和速度指令给伺服系统及主运动控制部分。CNC 系统的输入数据包括：零件的轮廓信息(起点、终点、直线、圆弧等)、加工速度及其他辅助加工信息(如换刀、变速、冷却液开关等)。数据处理的目的完成插补运算前的准备工作。数据处理程序还包括刀具半径补偿、速度计算及辅助功能的处理等。

#### 3) 输出装置

输出装置与伺服机构相连。输出装置根据控制器的命令接收运算器的输出脉冲，并把它送到各坐标的伺服控制系统，经过功率放大，驱动伺服系统，从而控制机床按规定要求运动。

### 3. 伺服系统和测量反馈系统

伺服系统是数控机床的重要组成部分，用于实现数控机床的进给伺服控制和主轴伺服控制。伺服系统的作用是把接收到的来自数控装置的指令信息，经功率放大、整形处理后，转换成机床执行部件的直线位移或角位移运动。由于伺服系统是数控机床的最后环节，其性能将直接影响数控机床的精度和速度等技术指标，因此，对数控机床的伺服驱动装置，要求具有良好的快速反应性能，准确而灵敏地跟踪数控装置发出的数字指令信号，并能忠实地执行来自数控装置的指令，提高系统的动态跟随特性和静态跟踪精度。

伺服系统包括驱动装置和执行机构两大部分。驱动装置由主轴驱动单元、进给驱动单元和主轴伺服电动机、进给伺服电动机组成。步进电动机、直流伺服电动机和交流伺服电动机是常用的驱动装置。

测量元件将数控机床各坐标轴的实际位移值检测出来并经反馈系统输入到机床的数控装置中，数控装置对反馈回来的实际位移值与指令值进行比较，并向伺服系统输出达到设定值所需的位移量指令。



#### 4. 机床主体

机床主机是数控机床的主要部件。它包括床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台、主轴箱、进给机构、刀架及自动换刀装置等机械部件。它是在数控机床上自动地完成各种切削加工的机械部分。与传统的机床相比，数控机床主体具有如下结构特点：

①采用具有高刚度、高抗震性及较小热变形的机床新结构。通常用提高结构系统的静刚度、增加阻尼、调整结构件质量和固有频率等方法来提高机床主体的刚度和抗震性，使机床主体能适应数控机床连续自动地进行切削加工的需要。采取改善机床结构布局、减少发热、控制温升及采用热位移补偿等措施，可减少热变形对机床主体的影响。

②广泛采用高性能的主轴伺服驱动和进给伺服驱动装置，使数控机床的传动链缩短，简化了机床机械传动系统的结构。

③采用高传动效率、高精度、无间隙的传动装置和运动部件，如滚珠丝杠螺母副、塑料滑动导轨、直线滚动导轨、静压导轨等。

#### 5. 数控机床的辅助装置

辅助装置是指保证充分发挥数控机床功能所必需的配套装置。常用的辅助装置包括：气动、液压装置，排屑装置，冷却、润滑装置，回转工作台和数控分度头，防护装置，照明装置等。

数控铣床是采用铣削加工方式加工工件的数控机床。数控铣床是一种加工功能很强的数控机床，在数控加工中占据了重要地位。数控铣床具有 X、Y、Z 三轴向可移动的特性，更加灵活，且可完成较多的加工工序。现在数控铣床已全面向多轴化发展，目前迅速发展的加工中心和柔性制造单元也是在数控铣床和数控镗床的基础上产生的。

与加工中心相比，数控铣床除了缺少自动换刀功能及刀库外，其他方面均与加工中心类似，可以对工件进行钻、扩、铰、镗和镗孔加工与攻丝等，但它目前主要还是被用来对工件进行铣削加工，下面所说的主要加工对象及分类也是从铣削加工的角度来考虑的。数控铣床的加工对象有以下几种类型：

##### 1) 平面类零件

加工面平行、垂直于水平面或其加工面与水平面的夹角为定角的零件称为平面类零件。目前，在数控铣床上加工的绝大多数零件属于平面类零件。平面类零件的特点是，各个加工单元面是平面，或可以展开成为平面。平面类零件是数控铣削加工对象中最简单的一类，一般只需用三轴坐标数控铣床的两坐标轴联动就可以把它们加工出来。

##### 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。这类零件多数为飞机零件，如飞机上的整体梁、框、缘条与肋等，此外还有检验夹具与装配型架等。变斜角类零件的变斜角加工面不能展开为平面，但在加工中，加工面与铣刀圆周接触的瞬间为一条直线。最好采用四轴坐标和五轴坐标数控铣床摆角加工，在没有上述机床时，也可用三轴坐标数控铣床进行二点五坐标近似加工。

##### 3) 曲面类(立体类)零件

加工面为空间曲面的零件称为曲面类零件。这类零件的特点，其一是加工面不能展开



为平面；其二是加工面与铣刀始终为点接触。此类零件一般采用三轴坐标数控铣床。

## 二、数控铣床的型号标记

XK714B 立式数控铣床如图 1-1 所示。

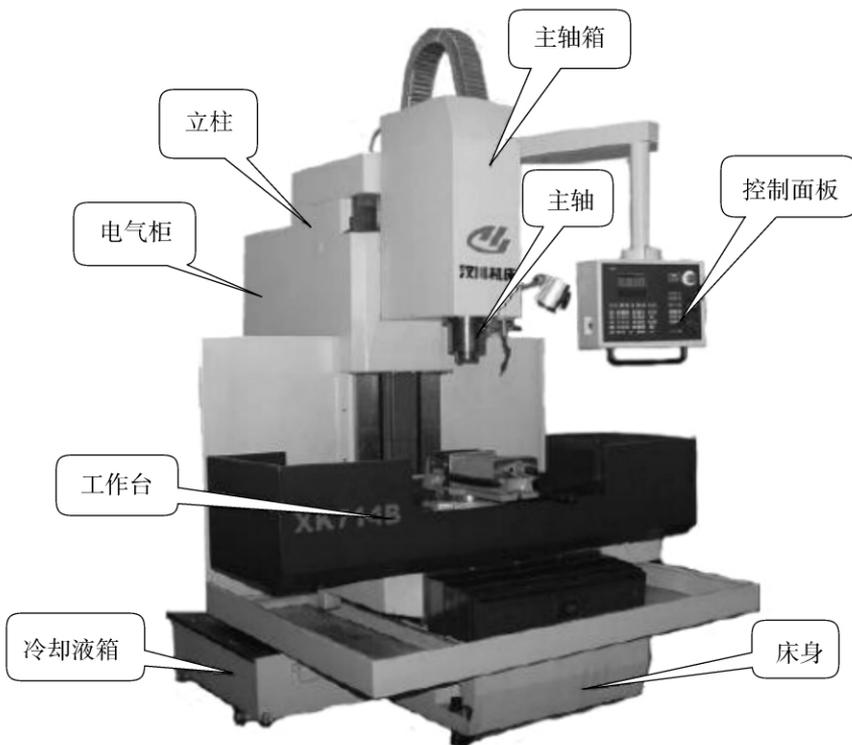
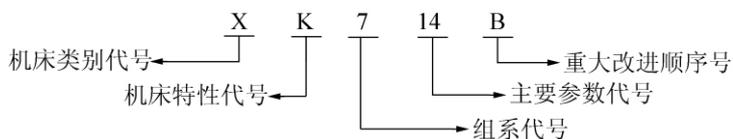


图 1-1 XK714B 立式数控铣床

数控铣床型号标记 XK714B 的字母和数字代表的含义如下：



## 三、数控铣床的分类

铣床可以根据主轴的布置形式、控制系统的功能进行多种形式的分类。不同类型的数控铣床特点也不同。

### 1. 按主轴布置形式分类

按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类，可分为数控立式铣床、数控卧式铣床和数控龙门铣床等。



### 1) 数控立式铣床

这类铣床一般可进行三坐标轴联动加工，目前三轴坐标数控立式铣床占大多数。如图 1-2 所示，数控立式铣床主轴与机床工作台面垂直，工件装夹方便，加工时便于观察，但不便于排屑。一般采用固定式立柱结构，工作台不升降。主轴箱做上下运动，并通过立柱内的重锤平衡主轴箱的质量。为保证机床的刚性，主轴中心线距立柱导轨面的距离不能太大，因此，这种结构主要用于中小尺寸的数控铣床。

此外，还有的机床主轴可以绕  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  坐标轴中其中一个或两个做数控回转运动的，称为四轴坐标和五轴坐标数控立式铣床。通常，机床控制的坐标轴越多，尤其是要求联动的坐标轴越多，机床的功能、加工范围及可选择的加工对象也越多；但是机床结构更加复杂，对数控系统的要求更高，编程难度更大，设备的价格也更高。



图 1-2 数控立式铣床

数控立式铣床也可以附加数控转盘，采用自动交换台，增加靠模装置来扩大它的功能、加工范围及加工对象，进一步提高生产效率。

### 2) 数控卧式铣床

数控卧式铣床与通用卧式铣床相同，其主轴轴线平行于水平面。如图 1-3 所示，数控卧式铣床的主轴与机床工作台面平行，加工时不便于观察，但排屑顺畅。为了扩大加工范围和扩充功能，一般配有数控回转工作台或万能数控转盘来实现四轴坐标、五轴坐标加工，这样不但工件侧面上的连续轮廓可以加工出来，而且可以实现在一次安装过程中，通过转盘改变工位，进行“四面加工”。尤其是万能数控转盘，可以把工件上各种不同的角度或空间角度的加工面摆成水平来加工，这样可以省去很多专用夹具或专用角度的成形铣刀。虽然数控卧式铣床在增加了数控转盘后很容易做到对工件进行“四面加工”，使其加工范围更加广泛。但从制造成本上考虑，单纯的数控卧式铣床现在已比较少，而多是在配备自动换刀装置(ATC)后成为卧式加工中心。



图 1-3 数控卧式铣床

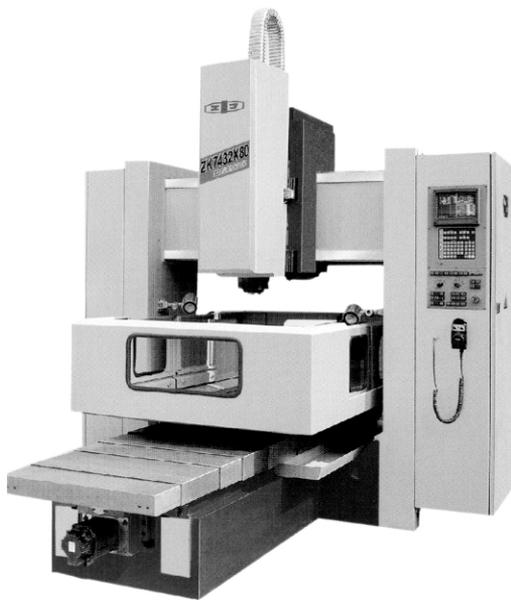


图 1-4 数控龙门铣床

### 3) 数控龙门铣床

对于大尺寸的数控铣床，一般采用对称的双立柱结构，以保证机床的整体刚性和强度，这就是数控龙门铣床，如图 1-4 所示。数控龙门铣床有工作台移动和龙门架移动两种形式。主要用于大、中等尺寸，大、中等质量的各种基础大件、板件、盘类件、壳体件和模具等多种品种零件的加工，工件一次装夹后可自动高效、高精度地连续完成铣、钻、镗和铰等多种工序的加工，适用于航空、重机、机车、造船、机床、印刷、轻纺和模具等制造行业。

## 2. 按数控系统的功能分类

按数控系统的功能分类，数控铣床可分为经济型数控铣床、全功能数控铣床和高速数控铣床等。

### 1) 经济型数控铣床

经济型数控铣床一般采用经济型数控系统，如 SE-MENS802S 等采用开环控制，可以实现三坐标轴联动。这种数控铣床成本较低，功能简单，加工精度不高，适用于一般复杂零件的加工，一般有工作台升降式和床身式两种类型。如图 1-5a 所示。

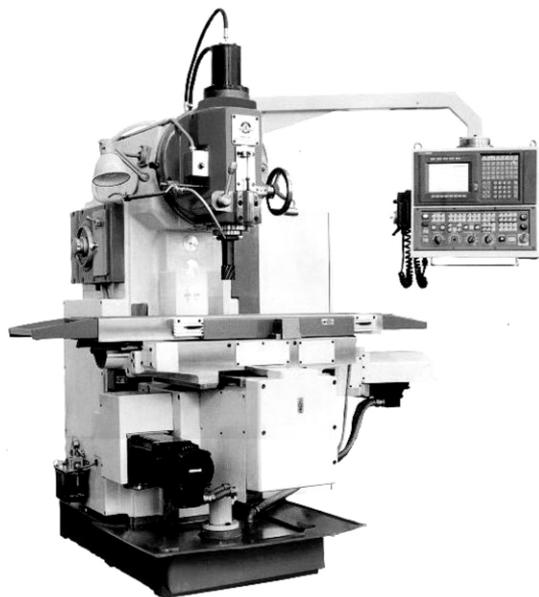
### 2) 全功能数控铣床

全功能数控铣床采用半闭环控制或闭环控制，其数控系统功能丰富，一般可以实现四坐标轴以上的联动，加工适应性强，应用最广泛，如图 1-5b 所示。

### 3) 高速数控铣床

高速铣削是数控加工的一个发展方向，技术已经比较成熟，已逐渐得到广泛的应用。这种数控铣床采用全新的机床结构、功能部件和功能强大的数控系统，并配以加工性能优越的刀具系统，加工时主轴转速一般在  $8\,000 \sim 40\,000 \text{ r/min}$ ，切削进给速度可达  $10 \sim 30 \text{ m/min}$ ，可以对大面积的曲面进行高效率、高质量的加工，如图 1-6 所示。但目前这种机床价格昂贵，使用成本比较高。





(a) 经济型数控铣床



(b) 全功能数控铣床

图 1-5 数控铣床



图 1-6 高速数控铣床