

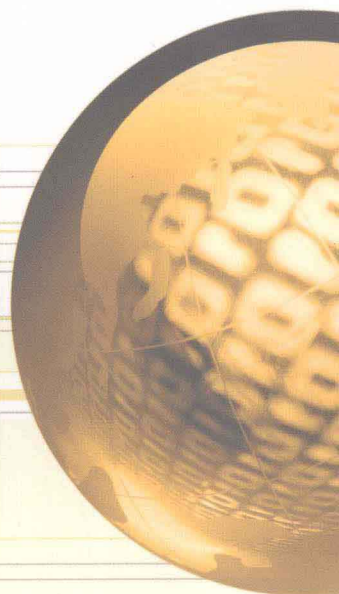
新编21世纪高等职业教育电子信息类规划教材 · 数控技术应用专业



数控技术 应用教程

—— 数控铣床和加工中心

上海宇龙软件工程有限公司数控教材编写组



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材 · 数控技术应用专业

数控技术应用教程

——数控铣床和加工中心

上海宇龙软件工程有限公司数控教材编写组

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是根据最新制定的《国家职业标准》，围绕数控铣工（高级）和加工中心操作工（高级）的工作内容和技能要求，根据数控铣床和加工中心的专业知识结构特点，按照本专业的理论与实践教学相结合的教学模式以及循序渐进的认识规律，与职业资格证书的考核标准相衔接，紧密联系生产实际，通过有针对性的实例，模块化的设计体系，图文并茂，将理论知识与实践操作融为一体，使各知识要点通俗易懂，条理清晰，易于掌握。

本书主要内容有第1章数控铣床和加工中心概述；第2章数控铣削加工工艺；第3章数控铣削程序的编制；第4章数控铣床加工与仿真操作；第5章轮廓零件的工艺与编程；第6章孔和螺纹的编程与加工；第7章数控铣削高级编程应用；第8章数控铣床的维护与故障诊断等。

本书不仅可作为技校、中职、高职以及本科院校数控、机电、机械制造等专业教学的教材，也可作为数控铣床或加工中心操作工的职业技能鉴定考试的培训教材。

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

数控技术应用教程：数控铣床和加工中心/上海宇龙软件工程有限公司数控教材编写组. —北京：电子工业出版社，2008.4

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材·数控技术应用专业

ISBN 978-7-121-06290-2

I. 数… II. 上… III. ①数控机床：铣床—技术培训—教材②数控机床加工中心—技术培训—教材
IV. TG659 TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2008）第 040902 号

责任编辑：焦桐顺

印 刷：北京市顺义兴华印刷厂

装 订：三河市双峰印刷装订有限公司

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：20.5 字数：525 千字

印 次：2008 年 4 月第 1 次印刷

印 数：3 000 册 定价：31.00 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。

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

服务热线：（010）88258888。

新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材（第 2 版）

出版说明

2002 年 10 月,电子工业出版社组织 90 余所高职院校的优秀教师编写了“应用电子技术”、“机电一体化技术”、“电气自动化技术”和“通信技术”4 个专业的高职教材,从 2003 年 7 月第 1 本教材问世截至 2004 年 10 月,已经出版了 70 余种。时至目前已有 2 年多的教材使用时间,这批教材的大部分得到使用者的好评。随着教育的不断深入及社会用人单位对高职毕业生的更高要求,为使教材更好地适应高职毕业生的就业、使教材有益于培养高职毕业生的生产实践技能,2005 年 7 月,我们在杭州组织召开了教材研讨会,针对上述 4 个专业的大部分教材的内容的修订听取了到会老师的意见,明确了修订教材的编写思路和编写原则,确定了修订版教材的编写人员,计划在 2006 年底~2007 年上半年基本出版齐全修订版教材。为便于读者区分,这批修订版教材均标明“(第 2 版)”。教材的丛书名仍沿用“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”。

第 2 版教材的主要特点如下:

1. 内容更加突出“实用性、技能性、应用性”。
2. 实训内容的选择以技能为要素。
3. 适当拓展了教材的广度,其目的是为方便不同学校、不同专业的学生选用。
4. 专业课以目前企业主要设备为主线进行讲解。
5. 习题尽量避免问答式、叙述式,而多为技能型、解决问题型。
6. 配备电子教案,以便于老师教学和学术交流。

我们的初衷是希望第 2 版教材的问世能够弥补第 1 版教材的不足,使其内容更加贴近企业用人的需求,更加有利于学生就业,让学生能够真正掌握一些实际的生产技能。同时,我们亦深知:高等职业教育的改革不能一蹴而就,编写出适合高职教育的教材也是一个渐进的过程。我们期待和全国高职院校的老师们一同努力,不断改进创新,为出版真正适合高职教育的好教材尽力。

在组织高职电子信息类教材的编写全过程近 4 年的时间内,我们结交了全国的许多优秀教师,他们的人品德行、人格魅力、学识水平均达到很高的水准。与他们的交往让我们受益匪浅,并且给我们以启迪:学校确是藏龙卧虎之地。我们愿意继续结交新的朋友,目的只有一个,那就是共同为高等职业教育的发展贡献我们大家的力量,在这个目标下达到学校、老师、出版社多赢。

我们亦衷心欢迎各高职院校有意愿、有能力的老师参加我们的教材编写。具体专业范围如下:

机电一体化技术,电气自动化技术,数控技术,模具技术,应用电子技术,通信技术。

电子工业出版社高等职业教育教材事业部

2006 年 3 月

参加“新编 21 世纪高等职业教育电子信息类规划教材”
编写的院校名单（排名不分先后）

桂林工学院南宁分院	广州大学科技贸易技术学院
江西信息应用职业技术学院	湖北孝感职业技术学院
江西蓝天职业技术学院	江西工业工程职业技术学院
吉林电子信息职业技术学院	四川工程职业技术学院
保定职业技术学院	广东轻工职业技术学院
安徽职业技术学院	西安理工大学
杭州中策职业学校	辽宁大学高职学院
黄石高等专科学校	天津职业大学
天津职业技术师范学院	天津大学机械电子学院
福建工程学院	九江职业技术学院
湖北汽车工业学院	包头职业技术学院
广州铁路职业技术学院	北京轻工职业技术学院
台州职业技术学院	黄冈职业技术学院
重庆工业高等专科学校	郑州工业高等专科学校
济宁职业技术学院	泉州黎明职业大学
四川工商职业技术学院	浙江财经学院信息学院
吉林交通职业技术学院	南京理工大学高等职业技术学院
连云港职业技术学院	南京金陵科技学院
天津滨海职业技术学院	无锡职业技术学院
杭州职业技术学院	西安科技学院
重庆职业技术学院	西安电子科技大学
重庆工业职业技术学院	河北化工医药职业技术学院

石家庄信息工程职业学院
三峡大学职业技术学院
桂林电子工业学院高职学院
桂林工学院
南京化工职业技术学院
湛江海洋大学海滨学院
江西工业职业技术学院
江西渝州科技职业学院
柳州职业技术学院
邢台职业技术学院
漯河职业技术学院
太原电力高等专科学校
苏州经贸职业技术学院
金华职业技术学院
河南职业技术师范学院
新乡师范高等专科学校
绵阳职业技术学院
成都电子机械高等专科学校
河北师范大学职业技术学院
常州轻工职业技术学院
常州机电职业技术学院
无锡商业职业技术学院
河北工业职业技术学院
天津中德职业技术学院

安徽电子信息职业技术学院
浙江工商职业技术学院
河南机电高等专科学校
深圳信息职业技术学院
河北工业职业技术学院
湖南信息职业技术学院
江西交通职业技术学院
沈阳电力高等专科学校
温州职业技术学院
温州大学
广东肇庆学院
湖南铁道职业技术学院
宁波高等专科学校
南京工业职业技术学院
浙江水利水电专科学校
成都航空职业技术学院
吉林工业职业技术学院
上海新侨职业技术学院
天津渤海职业技术学院
驻马店师范专科学校
郑州华信职业技术学院
浙江交通职业技术学院
广州市今明科技有限公司
上海宇龙软件工程有限公司

序 言

随着数控应用技术在制造业中的迅猛发展,我国机械制造业急需大批的数控专业技能型人才。从而,大大促进了数控技能培训和数控技能鉴定考核的快速发展。2005年国务院发布的《国务院关于大力发展职业教育的决定》又一次明确指出,坚持以就业为导向,根据市场和社会需要,进一步深化教育教学改革。这为我国的数控职业教育再次指明了方向。

近年来,随着数控加工仿真软件的大规模推广和应用于教学过程,已经使得传统的数控专业教学模式发生了巨大的变化。理论教学和实训教学的界限已经被打破,理论和实训一体化教学的教育模式已成为一个发展趋势。同时,数控职业技能鉴定已经被多个省市的职业技能鉴定中心列为统一考核鉴定工种。编写一套适合新教育模式的理论教学、实训教学和职业技能鉴定考核有机结合的配套教材已经显现需求。

本教材根据国家职业标准,按照理论“够用为度”的原则,以本专业的工作内容为主线,理论与实践紧密联系;在结构安排和表达方式上,强调由浅入深,循序渐进,并通过实例和图解的表现形式,化繁为简;专业知识紧密联系培养目标,加强技能与核心技能能力提高,以期达到国家职业技能鉴定标准和就业能力要求;按照本专业的教学规律和学生的认识规律,在教学过程中以数控加工仿真系统软件 and 实际数控机床相结合的教学模式,使理论与实践教学融为一体。

本教材的编写是一项探索性工作,我们推出本教材,抛砖引玉,真诚希望与职业教育界同行商榷研讨,以求使得数控加工技术专业的教材更加适应职业教育、职业培训和职业技能鉴定的需要。本书在编写过程中,得到诸多的数控专家的大力支持,在此表示感谢,限于编者水平,书中所述内容难免有不当之处,敬请广大读者指正。

本教材是上海宇龙软件工程有限公司开发的“数控加工仿真系统”软件的配套教材,书中例题均可通过该软件得以实现。

上海宇龙软件工程有限公司《数控教材编写组》

2007年9月

目 录

第 1 章 数控铣床和加工中心概述	(1)
1.1 数控技术的概念及发展	(1)
1.1.1 数控技术的基本概念	(1)
1.1.2 数控技术的产生和发展	(2)
1.2 数控铣床和加工中心的分类及特点	(5)
1.2.1 数控铣床的分类	(5)
1.2.2 数控铣床的特点	(6)
1.2.3 加工中心的分类	(7)
1.2.4 加工中心的特点	(9)
1.2.5 加工中心的技术参数	(10)
1.3 数控机床的组成与工作原理	(11)
1.3.1 机床主体	(11)
1.3.2 数控系统的组成及工作原理	(20)
习题 1	(27)
第 2 章 数控铣削加工工艺	(29)
2.1 数控铣削加工工艺概念	(29)
2.1.1 数控加工工艺过程	(29)
2.1.2 数控铣削工艺特点和内容	(30)
2.2 数控铣削工艺分析的步骤	(31)
2.2.1 零件图的分析	(31)
2.2.2 加工方案的确定	(35)
2.2.3 工艺路线的设计	(38)
2.2.4 工件的装夹	(43)
2.2.5 刀具与切削用量的确定	(45)
2.2.6 确定加工路线	(53)
2.2.7 专用技术文件的编写	(54)
2.3 数控加工工艺的设计方法	(55)
2.3.1 定位原理与基准的选择	(55)
2.3.2 定位误差分析与计算	(63)
2.3.3 工序尺寸和工艺尺寸链	(67)
2.4 工艺分析实例	(73)
2.4.1 异形件的数控铣削工艺分析	(73)
2.4.2 箱体零件工艺分析	(77)
习题 2	(80)

第 3 章 数控铣削程序的编制	(83)
3.1 数控铣削编程基础	(83)
3.1.1 数控程序编制的概念	(83)
3.1.2 程序的组成	(84)
3.1.3 数控铣床基本指令	(87)
3.1.4 坐标系	(93)
3.2 编程基本指令及应用	(97)
3.2.1 编程坐标值指定方式	(97)
3.2.2 常用编程指令及应用	(99)
3.2.3 子程序的调用	(107)
习题 3	(109)
第 4 章 数控铣床加工与仿真操作	(112)
4.1 数控铣床面板介绍	(112)
4.2 数控加工仿真系统的使用	(115)
4.2.1 数控加工仿真技术概述	(115)
4.2.2 仿真系统的开启和登录	(117)
4.2.3 仿真软件基本功能	(119)
4.2.4 数控加工仿真系统操作过程	(123)
4.3 数控铣床加工与仿真操作方法	(127)
4.3.1 数控铣床基本操作方法	(127)
4.3.2 程序编辑与传送	(130)
4.3.3 MDI 方式编程及运行	(133)
4.3.4 对刀操作及参数设置	(134)
4.3.5 程序的检验及自动加工	(139)
第 5 章 轮廓零件的工艺与编程	(142)
5.1 平面类零件的编程与加工	(142)
5.1.1 平面加工特点	(142)
5.1.2 平面铣刀	(146)
5.1.3 装夹	(153)
5.1.4 平面铣削路线	(154)
5.1.5 平面零件编程与加工	(156)
5.1.6 零件检测及质量分析	(160)
5.2 轮廓类零件的编程与加工	(161)
5.2.1 轮廓铣削的工艺特点	(161)
5.2.2 轮廓加工常用刀具	(162)
5.2.3 轮廓加工路线	(166)
5.2.4 轮廓基点计算方法	(171)
5.2.5 补偿指令编程和应用	(174)
5.2.6 轮廓零件的加工实训	(188)

5.2.7 轮廓铣削精度的控制	(191)
习题 5	(193)
第 6 章 孔和螺纹的编程与加工	(197)
6.1 孔的编程与加工	(197)
6.1.1 孔的技术要求	(197)
6.1.2 孔的加工刀具及工艺特点	(198)
6.1.3 孔及深孔加工方法	(208)
6.1.4 孔的测量与检验方法	(210)
6.1.5 孔加工固定循环指令	(212)
6.2 螺纹铣削加工	(222)
6.2.1 螺纹加工刀具及特点	(223)
6.2.2 螺纹加工编程指令	(228)
习题 6 编程与加工习题	(233)
第 7 章 数控铣削高级编程应用	(236)
7.1 坐标变换编程	(236)
7.1.1 坐标变换编程指令	(236)
7.1.2 综合编程加工实例	(247)
7.2 FANUC-0i 系统用户宏程序运用	(249)
7.2.1 B 类宏程序	(250)
7.2.2 B 类宏程序应用实例	(265)
7.3 配合件的编程与加工实例	(276)
7.3.1 工艺分析	(277)
7.3.2 刀具的选择	(277)
7.3.3 切削参数的选择	(278)
7.3.4 FANUC-0i 系统参考程序	(279)
习题 7 编程与技能训练题	(284)
第 8 章 数控铣床的维护与故障诊断	(288)
8.1 数控铣床(加工中心)操作规程和日常维护	(288)
8.1.1 数控铣床维护的重要性	(288)
8.1.2 数控铣床(加工中心)操作规程	(288)
8.1.3 数控铣床的维护	(289)
8.2 数控铣床(加工中心)故障诊断	(292)
8.2.1 数控铣床故障的分类	(292)
8.2.2 数控铣床(加工中心)一般故障的诊断	(293)
8.2.3 数控铣床性能调试及精度检验	(297)
习题 8	(302)
附录 职业技能鉴定试题及答案	(304)
数控铣床/加工中心操作工(中级)理论试题	(304)
数控铣床/加工中心操作工(中级)仿真操作试题	(309)

数控铣床/加工中心操作工（高级）理论试题	(310)
数控铣床/加工中心操作工（高级）仿真操作试题	(316)
数控铣床/加工中心操作工（中级）理论试题答案	(317)
数控铣床/加工中心操作工（高级）理论试题答案	(317)

第 1 章 数控铣床和加工中心概述

1.1 数控技术的概念及发展

1.1.1 数控技术的基本概念

1. 数控与数控系统

数控技术即数字控制（NC，Numerical Control）技术的简称，是 20 世纪中期发展起来的一种自动化控制技术，是指用数字化信息对机械设备的运动及其加工过程进行可编程的自动控制的一种方法。由于数控与机床控制技术的发展紧密相联，因此现在人们通常所讲的“数控”就是指“机床数控”，NC 已成为数控加工的专用术语。

现在，数控技术也叫 CNC，即计算机数控技术，因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执行对数控机床的控制功能。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功能的实现，均可通过计算机软件来完成。

数控系统是数控机床的“指挥系统”，主要指控制数控机床所需的专用软件及相应的硬件装置。数控系统是能逻辑地处理输入到系统中具有特定功能代码的程序，并将其译码，从而使机床运动并加工零件的程序控制系统。现代数控系统通常是一台带专门系统软件的专用微型计算机，由显示器及带按键的操作面板、控制器伺服、伺服电机、各种开关、传感器构成。现在国内市场上流行和企业普遍使用的数控系统有日本的 FANUC（发那科），德国的 SIEMENS（西门子），日本的 MITSUBISHI（三菱），另外还有法国纽姆（NUM）、西班牙凡高（FAGOR）等。国内数控系统厂商有华中数控（HNC）、广州数控（GSK）、凯恩帝（KND）系统、帝特玛（DTM）系统、航天数控（CASNUC）、辽宁蓝天数控（LT-CNC）、南京华兴数控（WASHING）和大连的大森数控（DASEN）等。

2. 数控机床和数控加工技术

机械加工，就是把金属毛坯材料加工成所需要的零件形状，能完成以上功能的设备都称为机床，常见的有车床、铣床、刨床、磨床、镗床、钻床等。机床又称为工作母机，其现代化程度直接关联着制造业的现代化程度，机床的现代化程度集中体现在数控机床上，数控机床的现代化水平又集中体现在数控系统上，数控技术是数控机床的关键技术。所谓数控机床就是在普通机床上发展过来的。根据信息处理联盟第五技术委员会对数控机床的定义是：数控机床是一个装有程序控制系统的机床，该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。即数控机床就是采用了数控技术的机床，或者说是装备了数控系统的机

床。从数控铣床或加工中心应用上来说,它能按程序的指令要求完成如主轴转、停和变速,更换刀具,供、停切削液,按指定的路线和速度进刀与退刀等动作,从而自动完成对零件进行钻、铣、镗、攻丝等操作功能。

数控加工是操作者根据被加工零件的图样和工艺要求,将加工过程,包括加工过程中所有工艺参数编制成以数码形式表示的程序,通过控制面板输入到机床的数控系统中,并选择相应的刀具和装夹方法,然后使数控机床自动执行程序以控制刀具与工件的相对运动,从而加工出合格零件的方法。

实质上,数控加工技术是指高效、优质地实现产品零件特别是复杂形状零件加工的有关理论、方法与实现技术,它是自动化、柔性化、敏捷化和数字化制造加工的基础和关键技术。而当今世界上一切制成品,都是由机床制造的机器和工具器械所制造的,因此数控机床的发展代表着制造业的现代化程度,数控机床是工厂自动化的基础,数控技术则是数控机床的关键技术。

1.1.2 数控技术的产生和发展

1. 数控技术的产生

1948年,美国帕森斯公司接受美国空军委托,研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样,精度要求高,一般加工设备和人工操作难以适应,于是提出用计算机控制机床的设想。1949年,该公司在美国麻省理工学院伺服机构研究室的协助下,开始数控机床研究,并于1952年试制成功第一台由大型立式仿形铣床改装而成的三坐标数控铣床,不久即开始正式生产并应用。

第一台加工中心是1958年由美国卡尼-特雷克公司首先研制成功的。它在数控卧式镗铣床的基础上增加了自动换刀装置,从而实现了工件一次装夹后即可进行铣削、钻削、镗削、铰削和攻丝等多种工序的集中加工。

1968年,英国首次将多台数控机床及无人化搬运小车、自动仓库在计算机控制下连接成自动加工系统,即柔性制造系统(FMS)。

我国于1958年由清华大学和北京第一机床厂合作研制了我国第一台数控铣床。我国的数控技术经过“六五”、“七五”、“八五”到现在“九五”的近20年的发展,基本上掌握了关键技术,建立了数控开发、生产基地,培养了一批数控人才,初步形成了自己的数控产业。“八五”攻关开发的成果有华中I号、中华I号、航天I号和蓝天I号4种基本系统,建立了具有中国自主知识产权的数控技术平台。

2. 数控技术的发展

数控技术覆盖了机械制造技术、信息的处理、机械加工、传输技术,自动控制技术、伺服驱动技术、传感器技术、软件技术等领域。随着微电子技术和计算机技术的发展,数控系统的发展经过普通数控(NC)的第一阶段的逻辑数字控制阶段,又称为硬件数控系统。第二阶段数控系统的发展也经历了三个时代。20世纪90年代以来,由于计算机技术的飞速发展,推动数控技术更快的更新换代,数控系统不但从封闭体系结构向开放体系结构发展,而且出现了从硬数控向软数控方向发展的趋势。

数控技术的应用不但给传统制造业带来了革命性的变化,使制造业成为工业化的象征,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,它对国计民生的一些重要行业,如 IT、汽车、轻工、医疗等行业的发展起着越来越重要的作用。当今数控机床的应用领域日益扩大,机械装备的数字化已是现代发展的大趋势。从目前世界上数控技术及其装备发展来看,总的趋势是高速化、高精度化、高可靠性和网络化、柔性化、智能化,具体可归纳如下。

(1) 高速化、高精度化、高可靠性。效率、精度是先进制造技术的关键性指标。高速、高精加工技术可极大地提高效率,提高产品的质量和档次,缩短生产周期和提高市场竞争能力。例如,在轿车工业领域,年产 30 万辆的生产节拍是 40 秒/辆,在航空和宇航工业领域,其加工的零部件多为薄壁和薄筋,刚度很差,材料为铝或铝合金,只有在高切削速度和切削力很小的情况下,才能对这些筋、壁进行加工。这些都对加工装备提出了高速、高精和高柔性的要求。

随着微处理器(CPU)的位数和速度的提高,采用带高分辨率检测元件的数字伺服系统以及高速内装式主轴电动机,在刀具材料和刀具结构不断发展的支持下,切削速度不断提高,高速加工中心进给速度可达 80m/min,甚至更高,空运行速度可达 100m/min 左右,主轴转速已达 60000r/min。

在加工精度方面,从 1950 年至 2000 年的 50 年内加工精度提升了 100 倍左右,即加工精度平均每 8 年提高 1 倍,当前的普通加工精度已达到 20 世纪 50 年代的精密加工水平。近 10 年来,普通级数控机床的加工精度已由 10 μ m 提高到 5 μ m,精密级加工中心则从 3~5 μ m,提高到 1~1.5 μ m,并且超精密加工精度已开始进入纳米级(0.01 μ m)。

在可靠性方面,高可靠性已经成为数控系统制造商追求的目标。对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在 16 小时内连续正常工作,无故障率在 $P(t) = 99\%$ 以上,则数控机床的平均无故障运行时间 MTBF 就必须大于 3000 小时。当前国外数控装置的 MTBF 值已达 6000 小时以上,伺服系统的 MTBF 达 30000 小时以上,表现出非常高的可靠性。

(2) 数控系统向开放式体系结构、软数控方向发展。为解决传统的数控系统封闭性和数控应用软件的产业化生产存在的问题。数控系统从封闭体系结构向开放体系结构,从硬数控向软数控方向发展已经成为数控系统的未来之路。

所谓开放式数控系统就是可以大量采用通用微机(PC)技术,在统一的运行平台上,数控系统制造商和用户可以根据这些开放的资源进行改变、增加或剪裁结构对象(数控功能),并可方便地将用户的特殊应用和技术诀窍集成到控制系统中,快速实现不同品种、不同档次的开放式数控系统,并可以较容易地实现智能化、网络化。

目前,传统采用专用的封闭体系结构的数控系统,如 FANUC 0 系统、MITSUBISHI M50 系统、SINUMERIK 810M/T/G 系统等还是占领了制造业的大部分市场。随着开放体系结构数控系统的发展,应用也越来越广泛,如 FANUC18i、16i 系统、SINUMERIK 840D 系统、Num1060 系统、AB 9/360 等数控系统采用“PC 嵌入 NC”结构的开放式数控系统,它具有一定的开放性,但由于它的 NC 部分仍然是传统的数控系统,用户无法介入数控系统的核心。另一种“NC 嵌入 PC”结构的开放式数控系统,它是由开放体系结构运动控制卡和 PC 机共同构成。这种运动控制卡通常选用高速 DSP 作为 CPU,具有很强的运动控制和 PLC 控制能力。它本身就是一个数控系统,可以单独使用。它开放的函数库供用户在 Windows 平台下自行开发构造所需的控制系统,因而这种开放结构运动控制卡被广泛应用于制造业自动化控制各个领域。如

美国 Delta Tau 公司用 PMAC 多轴运动控制卡构造的 PMAC-NC 数控系统等。最新开放体系结构的“SOFT 型”开放式数控系统，它的 CNC 软件全部装在计算机中，而硬件部分仅是计算机与伺服驱动和外部 I/O 之间的标准化通用接口，就像 PC 可以安装各种品牌的声卡、显示卡和相应的驱动程序一样。通过软件智能替代复杂的硬件，正在成为当代数控系统发展的重要趋势，典型产品有美国 MDSI 公司的 Open CNC、德国 Power Automation 公司的 PA8000 NT 等。

(3) 多轴化和复合加工机床。由于电机和主轴为一体的电主轴的出现，使得实现 5 轴联动加工的复合主轴头结构大为简化，其制造难度和成本大幅度降低，数控系统的价格差距缩小，因此促进了复合主轴头类型 5 轴联动机床和复合加工机床（含 5 面加工机床）的发展。如采用 5 轴联动对三维曲面零件的加工，可用刀具最佳几何形状进行切削，不仅可以获得高的表面质量，而且效率也大幅度提高。一般认为，1 台 5 轴联动机床的效率可以等于 2 台 3 轴联动机床，特别是使用立方氮化硼等超硬材料铣刀进行高速铣削淬硬钢零件时，5 轴联动加工可比 3 轴联动加工发挥更高的效益。

复合机床的含义是在一台机床上实现或尽可能完成从毛坯至成品的全部加工。有工艺复合型，如车铣中心、铣车中心、激光铣削加工机床、冲压与激光切割复合、金属烧结与镜面切削复合等。工序复合型应用刀具（铣头）自动交换装置、主轴立卧转换头、双摆铣头、多主轴头和多回转刀架等配置，增加工件在一次安装下的加工工序数，如多面多轴联动加工的复合机床和主副双主轴车削中心等，可实现 4 个垂直平面的加工和任意角度的加工，使得 5 面加工和 5 轴加工可在同一台机床上实现，还可实现倾斜面和倒锥孔的加工。

另外，普通的数控系统软件针对不同类型的机床使用不同的软件版本，比如 Siemens 的 810M 系统和 802D 系统就有车床版本和铣床版本之分。复合化的要求促使数控系统功能向高性能的复合机床数控系统发展。

(4) 智能化、网络化。随着人工智能在计算机领域的渗透和发展，智能化成为 21 世纪制造技术发展的一个大方向。智能化的内容包括在数控系统中的各个方面：为追求加工效率和加工质量方面的智能化，如加工过程的自适应控制、工艺参数自动生成等；为提高驱动性能及使用连接方便的智能化，如前馈控制、电机参数的自适应运算、自动识别负载、自动选定模型等；简化编程、简化操作方面的智能化，如智能化的自动编程、智能化的人机界面等；还有智能诊断、智能监控方面的内容，方便系统的诊断及维修等。

数控系统的网络化，主要指数控系统与其他控制系统或上位计算机进行网络连接和网络控制。数控装备的网络化将极大地满足生产线、制造系统、制造企业对信息集成的需求，也是实现新的制造模式如敏捷制造、虚拟企业、全球制造的基础单元。最近业界又提出了数字制造的概念，数字制造又称“e-制造”，是机械制造企业现代化的标志之一，也是国际先进机床制造商当今标准配置的供货方式。随着信息化技术的大量采用，越来越多的国内用户在进口数控机床时要求具有远程通讯服务等功能。

数控系统的网络化进一步促进了柔性自动化制造技术的发展，现代柔性制造系统从点（数控单机、加工中心和数控复合加工机床）、线（FMC、FMS、FTL、FML）向面（工段车间独立制造岛、FA）、体（CIMS、分布式网络集成制造系统）的方向发展。国内外一些著名数控机床和数控系统制造公司都在近两年推出了相关的新概念和样机，如日本山崎马扎克（Mazak）公司的“CyberProduction Center”（智能生产控制中心，简称 CPC）；日本大隈（Okuma）

机床公司的“IT plaza”（信息技术广场，简称 IT 广场）；德国西门子（Siemens）公司的 Open Manufacturing Environment（开放制造环境，简称 OME）等，反映了数控机床加工向信息集成方向发展，网络系统向开放、集成和智能化方向发展。

数控技术是决定制造水平的核心，中国政府已充分意识到发展数控技术的重要性，正积极采取各种有效措施大力发展中国的数控产业，把发展数控技术作为振兴机械工业的重中之重。大力发展、推广应用数控技术，用数控技术改造传统产业，不仅可以把传统的机械加工装备的性能和质量提高到一个崭新高度，缩短加工周期，提高零件的加工质量，解决复杂零件的加工等，而且还可以对机械加工制造业的产品结构、生产方式、管理机制和产业结构，乃至对各行各业和人类的劳动方式都将产生巨大的影响。

1.2 数控铣床和加工中心的分类及特点

数控机床的品种和规格繁多，分类方法不一。根据不完全统计，目前已有近 500 种数控机床。根据数控机床的功能和组成，一般可分为以下几类，见表 1-1 所示。

表 1-1 机床类型

分 类 方 法	机 床 类 型		
按坐标轴数分类	一般数控机床	数控加工中心机床	多坐标数控机床
按系统控制特点分类	点位控制数控机床	直线控制数控机床	轮廓控制数控机床
按有无测量装置分类	开环数控系统	半闭环数控系统	闭环数控系统
按功能水平分类	经济型	普及型	高级型

1.2.1 数控铣床的分类

数控铣床是发展最早的一种数控机床，也是应用非常广泛的加工机床。按铣床主轴布置形式一般分为立式数控铣床，卧式数控铣床和立、卧两用数控铣床。

1. 立式数控铣床

立式数控铣床是铣床中最常见的一种布局形式，主轴轴线与水平面垂直，主轴上装刀具，主轴带动刀具作旋转的主运动，工件装于工作台上，工作台移动带动工件作进给运动。立式数控铣床结构简单，工件安装方便，加工时便于观察，但不便于排屑。常见的有经济型的升降台型立式数控铣床（如图 1-1（a）所示）和全功能的床身型立式数控铣床（如图 1-1（b）所示）。

2. 卧式数控铣床

它的主轴轴线与工作台面平行，主要用来加工箱体类零件。如果配置数控回转工作台可以实现 4 轴或 5 轴加工，从而扩大了功能和加工范围。卧式数控铣床相比立式数控铣床，结构复杂，在加工时不便观察，但排屑顺畅。

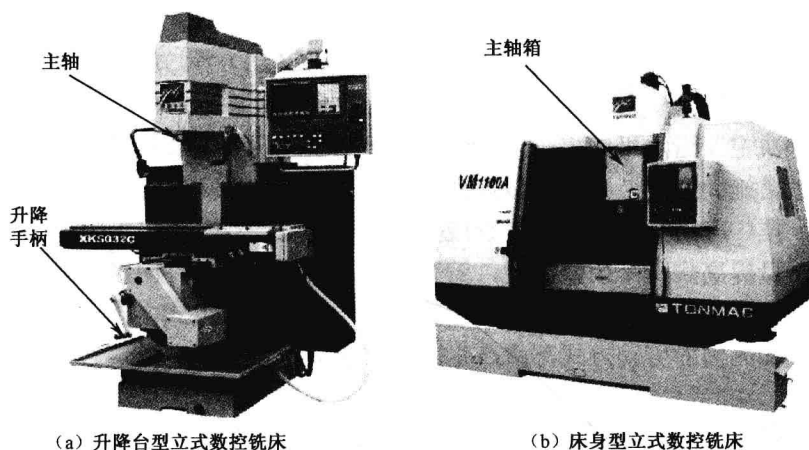


图 1-1 数控铣床

3. 立、卧两用数控铣床

立、卧两用数控铣床，它的主轴轴线可以变换，使一台铣床具备立式数控铣床和卧式数控铣床的功能，如图 1-2 所示。这类机床适应性更强，应用范围更广，尤其适合于多品种、小批量又需立、卧两种方式加工的情况，但其主轴部分结构较为复杂。

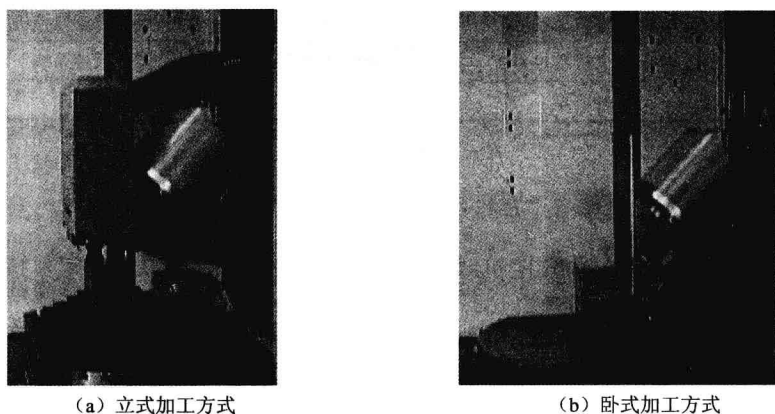


图 1-2 立、卧两用数控铣床

立、卧两用数控铣床靠手动和自动两种方式更换主轴方向。有些立、卧两用式数控铣床采用主轴头可以任意方向转换的万能数控主轴头，使其可以加工出与水平面成不同角度的工件表面。

1.2.2 数控铣床的特点

数控铣床一般为轮廓控制（也称连续控制）机床，控制的联动轴数一般为二轴半或三轴。数控铣床除了具有普通铣床所具有的功能外，由于控制方式实现数字化自动控制，可完成平面、曲面轮廓零件加工，还可以加工复杂型面的零件，如凸轮、样板、模具、螺旋槽等，同时也可以对零件进行钻、扩、铰、镗和镗孔加工。图 1-3 所示为数控铣床所加工的零件。加工精度的尺寸公差等级一般为 IT9~IT7，表面粗糙度值一般能达到 $R_a 3.2 \sim 1.6 \mu m$ 。