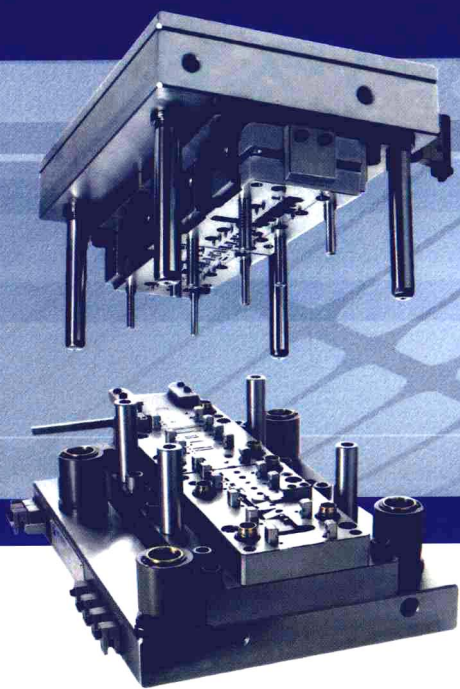




职业教育课程改革规划新教材  
机电类专业教学与考工用书

# 数控编程与操作

SHUKONG BIANCHENG YU CAOZUO



吴光明 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS



赠电子教案

职业教育课程改革规划新教材  
机电类专业教学与考工用书

# 数控编程与操作

主 编 吴光明  
副主编 孔 君  
参 编 缪遇春 覃日英 黄 云  
胥永林 马 广 郭沃辉  
主 审 张竹青



机械工业出版社

本书共分5章。第一章为数控机床概述,第二章为数控加工基础知识,第三章为数控车床的编程与操作,第四章为数控铣床/加工中心的编程与操作,第五章为数控电火花线切割机床编程与操作。主要内容都结合加工实例进行了细致的分析,将数控加工程序和工艺的编制融合到一个编程实例中,让学生在在学习过程中潜移默化地掌握这些数控编程指令。

本书详细地介绍了FANUC 0i、GSK980TD与GSK983M、HNC—21/22等常用系统的基本操作。数控车、铣和电火花线切割三章都安排有实训项目。实训内容和相关知识点紧密结合,循序渐进,帮助学生有效地消化所学知识,强化技能训练,提高实际动手能力。

本书围绕中高级数控加工操作的职业岗位要求合理地安排内容,将数控理论与技能有机地结合在一起,针对性、实用性强,适合高职和中职学校数控、模具、机电类专业教学和国家职业技能鉴定考工培训使用。另外,本书还配有电子教案,可登录机械工业出版社教材网后下载。

## 图书在版编目(CIP)数据

数控编程与操作/吴光明主编. —北京:机械工业出版社,2010.5  
职业教育课程改革规划新教材. 机电类专业教学与考工用书  
ISBN 978-7-111-28732-2

I. ①数… II. ①吴… III. ①数控机床-程序设计-职业技能鉴定-教材  
②数控机床-操作-职业技能鉴定-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第053423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:汪光灿 责任编辑:汪光灿 版式设计:霍永明  
责任校对:陈立辉 封面设计:王伟光 责任印制:乔宇  
北京瑞德印刷有限公司印刷(三河市胜利装订厂装订)  
2010年7月第1版第1次印刷  
184mm×260mm·19印张·468千字  
0001—3000册  
标准书号:ISBN 978-7-111-28732-2  
定价:32.00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

门户网站:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的重要手段，是关系我国制造业发展和综合国力提高的关键技术。只有加快数控技术的发展，进一步提高模具产品的设计制造水平，才能促进我国先进生产力的发展。目前，我国掌握数控技术的机电复合型人才缺口巨大，尽快加速培养掌握数控加工编程技术的应用型人才已成为当务之急。

本书是为了满足国家对数控人才的迫切需要，根据教育部、国防科工委、中国机械工业联合会联合制定的职业教育数控技术应用专业领域技能型人才培养指导方案的要求，并结合作者多年在数控加工工艺、编程和模具制造方面的教学与工作经验而编写的。

本书共分5章。第一章为数控机床概述，介绍了数控机床的发展、特点、分类及典型结构，结合工厂的实际情况，还较为详尽地介绍了数控加工刀具、常用工具及夹具。第二章为数控加工基础知识，讲述了数控编程的基本概念等知识。第三章为数控车床的编程与操作，不仅详细地介绍了数控车床的基本命令，还介绍了FANUC Oi系统、GSK980TD系统、HNC—21/22T系统的基本操作。第四章为数控铣床/加工中心的编程与操作，在详细地介绍了数控铣削指令后，还介绍了FANUC Oi系统、GSK983M系统、HNC—21/22系统的基本操作。第五章为数控电火花线切割机床编程与操作，详细地介绍了线切割机床的原理和特点、编程、加工工艺。主要内容都结合加工实例进行了细致的分析。

本书从培养数控技能专业人才的角度出发，坚持以就业为导向，以职业能力的培养为核心的原则。在内容的安排上，基本理论叙述以够用为度，突出实用性和可操作性，将数控加工程序和工艺的编制融合到一个个编程实例中，让学生在学习过程中潜移默化地掌握这些数控编程指令。

本书的数控车、铣和电火花线切割三章都安排有实训项目。实训内容的安排都和相关知识点紧密结合，循序渐进。每个实训课题不仅能有效地帮助学生消化所学的知识，更能强化他们的技能训练，提高学生的实际动手能力。

本书围绕中高级数控加工操作的职业岗位要求合理地安排内容，将数控理论与技能有机地结合在一起，针对性、实用性强，适合高职和中职学校数控、模具、机电类专业学生学习和国家职业技能鉴定考工培训使用。

本书由东莞市职业技能鉴定指导中心组织编写，由吴光明任主编，孔君任副主编，张竹青主审。吴光明编写了第四章中的第一、二、三、六节，孔君编写了第三章中的第一、二、三、六节，缪遇春编写了第二章，覃日英编写了第五章，黄云编写了第三、四章中的第四、五节，胥永林编写了第一章的前四节，马广编写了第一章的后三节，郭沃辉参加了部分内容的编写工作。全书由吴光明统稿。东莞市技能鉴定指导中心提出了很多修改意见。在编写过

程中，东莞市职业技能鉴定指导中心、东莞理工学校、东莞市高级技工学校、联合技工学校、育才职业技术学校、长安职业高级中学、常平黄水职业中学、智通职业技术学校、华粤职业技术学校、南华职业技术学校、南博职业技术学院、东莞理工学院及东莞模具制造等相关企业也给予了大力支持，在此一并表示衷心的感谢。

限于编者的水平，书中难免有错误和不妥之处，恳请广大读者批评指正，编者的电子邮箱为 [wgm2170@126.com](mailto:wgm2170@126.com)。

编 者

# 目 录

前言	
<b>第一章 数控机床概述</b> .....	1
第一节 数控机床的发展过程及发展趋势 .....	1
第二节 数控机床的组成与加工特点 .....	4
第三节 数控机床的分类 .....	7
第四节 数控机床的典型结构 .....	8
第五节 数控加工刀具简介 .....	20
第六节 数控加工常用工具简介 .....	27
第七节 数控加工常用夹具简介 .....	33
习题 .....	38
<b>第二章 数控加工基础知识</b> .....	40
第一节 数控编程概述 .....	40
第二节 数控加工工艺路线的拟定 .....	44
第三节 数控机床坐标系 .....	56
第四节 数控程序的格式与组成 .....	62
第五节 数控加工工艺文件的编制 .....	64
习题 .....	67
<b>第三章 数控车床的编程与操作</b> .....	70
第一节 控制数控车床的指令 .....	70
第二节 典型零件数控车床编程与加工实例 .....	97
第三节 FANUC Oi 数控系统操作及机床的基本操作 .....	110
第四节 GSK980TD 数控系统操作及机床的基本操作 .....	120
第五节 HNC—21/22T 数控系统操作及机床的基本操作 .....	128
第六节 数控车削实训 .....	141
习题 .....	153
<b>第四章 数控铣床/加工中心的编程与操作</b> .....	156
第一节 控制数控铣床/加工中心的指令 ..	156
第二节 典型零件的数控铣床编程与加工实例 .....	203
第三节 FANUC Oi 数控系统操作及机床的基本操作 .....	216
第四节 GSK983M 数控系统操作及机床的基本操作 .....	227
第五节 HNC—21/22M 数控系统操作及机床的基本操作 .....	236
第六节 数控铣削实训 .....	245
习题 .....	254
<b>第五章 数控电火花线切割机床编程与操作</b> .....	260
第一节 数控电火花线切割的加工原理与特点 .....	260
第二节 数控电火花线切割的加工工艺及其影响因素 .....	266
第三节 数控电火花线切割编程 .....	270
第四节 典型零件的电火花线切割编程与加工实例 .....	286
习题 .....	295
<b>参考文献</b> .....	297

制造业是一个国家国民经济的支柱产业，它一方面创造价值，生产物质财富，另一方面为国民经济各个部门提供装备，其现代化程度决定了国家其他行业的发展步伐。数控技术和数控装备是制造业现代化的重要基础，这个基础是否牢固，直接影响到一个国家的经济发展和综合国力，在一个国家的建设事业中具有战略意义。因此，世界上各工业发达国家均采取措施来大力发展自己的数控技术及其产业。随着计算机技术的迅速发展，数控系统及数控机床的性价比和数控机床在机械制造业中的普及率将大幅提高。

### 第一节 数控机床的发展过程及发展趋势

#### 1. 数控机床的产生

第二次世界大战结束后，美、苏两国的军备竞赛日益激烈，制空权更是竞争的焦点，对新型的性能更好的飞机需求十分迫切。而那时飞机零件的加工、整体机身的装备均是依靠样板来进行的，样板的数量极其惊人。样板的加工主要是依靠仿形铣床或者是依靠划线后按线铣削，最后靠手工钳修成形，而仿形铣床的模板也是靠人工钳修打磨成形的，因此生产效率极低，精度也不高。生产一种新机型，其生产周期需二三年时间。因此，1948年美国空军部门向美国吉斯汀-路易斯公司提出了研制直升飞机螺旋桨叶片轮廓检查样板加工设备的任务。该公司经过调查研究，提出了用大量的直线组成的一条折线来逼近样板曲线，使两者之间误差控制在允许范围内，然后，将每一条直线在 $X$ 、 $Y$ 坐标上的投影量编制成一个程序记录在纸带上输给计算机，计算机根据程序指令经过插补计算，同时给 $X$ 、 $Y$ 的伺服驱动装置发出不同频率、不同数量的指令脉冲， $X$ 、 $Y$ 两个坐标的伺服驱动装置按照各自的指令脉冲驱动各自的运动部件，从而使刀具相对于工件走了一段由 $X$ 、 $Y$ 两个坐标合成的并与程序相符合的直线。这样，一个程序一个程序走下去，就加工出一个符合零件要求的曲线的方案，这就是数控铣削方案。1949年经过美国空军部门的批准，该公司与美国麻省理工学院合作，开始了数控铣床的研究，经过三年的研制，于1952年试制成功了世界上第一台数控铣床。不久即开始正式生产，于1957年正式投入使用。这是制造技术发展过程中的一个重大突破，标志着制造领域中数控加工时代的开始。

#### 2. 数控机床的发展过程

第一代数控铣床的出现引起了世界各国的关注，认为它的出现不仅解决了复杂曲线与型

面的加工问题，而且指出了今后机床自动化的方向，因此纷纷投入数控机床及其相关技术的研究。

当时的数控装置采用电子管元件，体积庞大，价格昂贵，只在航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件。1959年，出现了晶体管元件和印制电路板，使数控装置进入了第二代，体积大为缩小，成本有所下降，但其可靠性还是很低，得不到广大用户的认同。

1965年，出现了第三代的集成电路数控装置，不仅体积小，功率消耗少，且可靠性提高，价格进一步下降，促进了数控机床品种和产量的发展。

20世纪60年代末，先后出现了由一台计算机直接控制多台机床的直接数控系统（简称DNC），又称群控系统。采用小型计算机控制的计算机数控系统（简称CNC），使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1974年，研制成功使用微处理器和半导体存储器的微型计算机数控装置（简称MNC），这是第五代数控系统。第五代与第三代相比，数控装置的功能扩大了一倍，而体积则缩小为原来的1/20，价格降低了3/4，可靠性也得到极大的提高。

20世纪80年代初，随着计算机软、硬件技术的发展，出现了能进行人机对话式自动编制程序的数控装置，数控装置愈趋小型化，可以直接安装在机床上，数控机床的自动化程度进一步提高，具有自动监控刀具破损和自动检测工件等功能。

20世纪90年代后期，出现了PC+CNC智能数控系统，即以PC机为控制系统的硬件部分，在PC机上安装NC软件系统，此种方式系统维护方便，易于实现网络化制造。

数控系统是数控机床的核心。数控系统的不断提高，使得数控机床功能也越来越完善，使用越来越方便，可靠性越来越高。

### 3. 我国数控机床发展的过程

我国数控机床开发的起步并不晚，大约与日本、德国、前苏联同步。1958年，北京第一机床厂与清华大学合作试制成功我国第一台数控铣床。但是，由于相关工业基础差，尤其是数控系统的支撑工业——电子工业薄弱，致使发展速度缓慢。直到1970年，北京第一机床厂的XK5040型数控升降台铣床才作为商品，小批量生产并推向市场。

1975年，沈阳第一机床厂的CSK6163型数控车床才真正进入商品化。

在1974~1976年间，虽然开发了加工中心、数控镗床、数控磨床和数控钻床，但是因为系统不过关，多数机床没有在生产中发挥作用。

20世纪80年代前期，即“六五”期间，在引入了日本FUNAC数控技术后，我国的数控机床才真正进入小批量生产的商品化时代。

通过“七五”期间数控技术攻关和“八五”期间数控系统攻关，大大推动了我国数控机床的发展。目前，我国已经有自主知识产权的数控系统，特别是进入21世纪以来，我国数控机床的产量持续增长，数控化率也显著提高。另一方面，我国数控产品的技术水平和质量也不断提高，目前我国一部分普及型数控机床的生产已经形成一定规模，产品技术性能指标较为成熟，价格合理，在国际市场上具有一定的竞争力。我国数控机床行业所掌握的五轴联动数控技术较成熟，并已有成熟商品走向市场。

我国在数控机床高端产品的生产上取得了一定的突破。目前已经可以供应网络化、集成化、柔性化的数控机床。同时，我国也已进入世界高速数控机床生产国和高精度精密数控机



床生产国的行列，已经研制成功一批主轴转速在 8000 ~ 10000r/min 以上的数控机床。

我国数控机床行业近年来大力推广应用 CAD 等信息技术，很多企业已开始和计划实施应用 ERP、MRP II 和电子商务。例如，济南第二机床集团有限公司的 CAD 普及率达 100%，是国家级“CAD 示范企业”，企业的 MRP II 系统应用也非常成功，现代化管理水平较高，但是和发达国家相比，我国数控机床行业在信息化技术应用上仍然存在很多不足。

1) 信息化技术基础薄弱，对国外技术依存度高。我国数控机床行业总体的技术开发能力和技术基础薄弱，信息化技术应用程度不高。行业现有的信息化技术来源主要依靠引进国外技术，对国外技术的依存度较高，对引进技术的消化仍停留在掌握已有技术和提高国产化率上，没有上升到形成产品自主开发能力和技术创新能力的高度。具有高精、高速、高效、复合功能、多轴联动等特点的高性能数控机床基本上还得依赖进口。

2) 产品成熟度较低，可行性不高。国外数控系统平均无故障时间在 10000h 以上，国内自主开发的数控系统仅 3000 ~ 5000h；整机平均无故障工作时间国外达 800h 以上，国内最好只有 300h。

3) 创新能力低，市场竞争力不强。我国生产数控机床的企业虽达百余家，但大多数未能形成规模生产，信息化技术利用不足，创新能力低，制造成本高，产品市场竞争能力不强。

#### 4. 数控机床的发展趋势

为了满足市场和科学技术发展的需要，为了达到现代制造技术对数控技术提出的更高的要求，当前，世界数控技术及其装备发展趋势主要体现在以下几个方面：

##### (1) 高速、高效、高精度、高可靠性

要提高加工效率，首先必须提高切削和进给速度，同时，还要缩短加工时间；要确保加工质量，必须提高机床部件运动轨迹的精度，而可靠性则是上述目标的基本保证。为此，必须要有高性能的数控装置作保证。

1) 高速、高效。机床向高速化方向发展，可充分发挥现代刀具材料的性能，不但可大幅度提高加工效率，降低加工成本，而且还可提高零件的表面加工质量和精度，超高速加工技术对制造业实现高效、优质、低成本生产有广泛的适用性，新一代数控机床只有通过高速化大幅度缩短切削工时才可能进一步提高其生产率。20 世纪 90 年代以来，欧、美、日各国争相开发应用新一代高速数控机床，加快机床高速化发展步伐，高速主轴单元（电主轴，转速为 15000 ~ 100000r/min）、高速且高加或减速度的进给运动部件（快移速度为 60 ~ 120m/min，切削进给速度高达 60m/min）、高性能数控系统和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破，达到了新的技术水平。随着超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具材料和磨料磨具、大功率高速电主轴、高加或高减速度直线电动机驱动进给部件以及高性能控制系统（含监控系统）和防护装置等一系列技术领域关键技术的解决，使数控机床的加工更加高效。

2) 高精度。从精密加工发展到超精密加工，是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级到亚微米级，乃至纳米级（<10nm），其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削（车、铣）、超精密磨削、超精密研磨抛光以及超精密特种加工（三束加工及微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等）。随着现代科学技术的发展，对超精密加工技术不断提出了新的要求，新材料及新零件的出现、更高精度要求的提出等都需要超精

密加工工艺,发展新型超精密加工机床,完善现代超精密加工技术,以适应现代科技的发展。

3) 高可靠性。数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然是适度可靠。因为是商品,受性能价格比的约束,对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在 16h 内连续正常工作,无故障率  $P(t) = 99\%$  以上的话,则数控机床的平均无故障运行时间 MTBF 就必须大于 3000h, MTBF 大于 3000h,对于由不同数量的数控机床构成的无人化工厂差别就大多了。我们只对一台数控机床而言,如主机与数控系统的失效率之比为 10:1 的话(数控系统的可靠性比主机高一个数量级),此时数控系统的 MTBF 就要大于 33333.3h,而其中的数控装置、主轴及驱动等的 MTBF 就必须大于 10 万 h。当前国外数控装置的 MTBF 值已达 6000h 以上,驱动装置达 30000h 以上。

## (2) 模块化、智能化、柔性化和集成化

1) 模块化、专门化与个性化。为了适应数控机床多品种、小批量的特点,机床结构模块化、数控功能专门化、机床性能价格比显著提高并加快优化,个性化是近几年来特别明显的发展趋势。

2) 智能化。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,如自适应控制、工艺参数自动生成。
- 为提高驱动性能及使用连接方便方面的智能化,如前馈控制、电动机参数的自适应运算、自动识别负载自动选定模型、自整定等。
- 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。
- 智能诊断、智能监控、方便系统的诊断及维修等。

3) 柔性化、集成化。数控机床向柔性自动化系统发展的趋势是: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,另一方面向注重应用性和经济性方向发展。柔性自动化技术是制造业适应动态市场需求及产品迅速更新的主要手段,是各国制造业发展的主流趋势,是先进制造领域的基础技术。其重点是以提高系统的可靠性、实用化为前提,以易于联网和集成为目标,注重加强单元技术的开拓、完善。CNC 单机向高精度、高速度和高柔性方向发展,数控机床及其构成柔性制造系统能方便地与 CAD、CAM、CAPP、MTS 连接,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。

(3) 开放性 为适应数控进线、联网,普及型个性化、多品种、小批量、柔性化及数控迅速发展的要求,数控机床体系结构必须向开放式发展。

## 第二节 数控机床的组成与加工特点

### 1. 数控机床的组成

数控机床一般由输入/输出装置、数控装置、驱动装置和检测装置、辅助控制装置、机床本体所组成(见图 1-1)。

(1) 输入/输出装置 数控加工程序可通过键盘,用手工方式直接输入数控系统,还可通过编程计算机用 RS232C 或采用网络通信方式传送到数控系统中。

零件加工程序输入过程有两种不同的方式:一种是边读入边加工;另一种是一次将零件

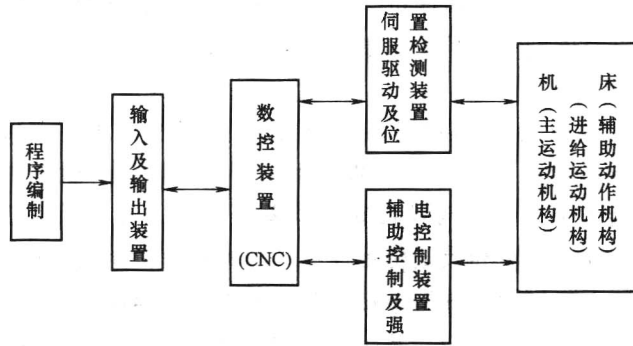


图 1-1 数控机床的组成

加工程序全部读入数控装置内部的存储器，加工时再从存储器中逐段调出进行加工。

(2) 数控装置 数控装置是数控机床的中枢。数控装置从内部存储器中取出或接受输入装置送来的一段或几段数控加工程序，经过它的逻辑电路或系统软件进行编译、运算和逻辑处理后，输出各种控制信息和指令，控制机床各部分的工作，使其进行规定的有序运动和动作。

零件的轮廓图形往往由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成，刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸的要求进行运动，即按图形轨迹移动。但输入的零件加工程序只能是各线段轨迹的起点和终点坐标值等数据，不能满足要求。因此，要进行轨迹插补，也就是在线段的起点和终点坐标值之间进行“数据点的密化”，求出一系列中间点的坐标值，并向相应坐标输出脉冲信号，控制各坐标轴（即进给运动各执行部件）的进给速度、进给方向和进给位移量等。

(3) 驱动装置和检测装置 驱动装置接受来自数控装置的指令信息，经功率放大后，严格按照指令信息的要求驱动机床的移动部件，加工出符合图样要求的零件。驱动装置包括控制器（含功率放大器）和执行机构两大部分。目前大都采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

检测装置将数控机床各坐标轴的实际位移量检测出来，经反馈系统输入到机床的数控装置中。数控装置将反馈回来的实际位移量值与设定值进行比较，控制驱动装置按指令设定值运动。

(4) 辅助控制装置 辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量指令信号，经过编译、逻辑判别和运算，再经功率放大后驱动相应的电器，带动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和起停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的起停，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位分度等开关辅助动作。

现在广泛采用可编程序控制器（PLC）做数控机床的辅助控制装置。

(5) 机床本体 数控机床的机床本体与传统机床相似，由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台以及辅助运动装置、液压气动系统、润滑系统、冷却装置等组成。

## 2. 数控机床的加工特点

(1) 加工对象改型的适应性强 利用数控机床加工改型零件，只需要重新编制程序就能实现对零件的加工。它不同于传统的机床，不需要制造、更换许多工具、夹具和量具，更

不需要重新调整机床。因此，数控机床可以快速地加工一种零件转变为加工另一种零件，这就为单件、小批量以及试制新产品提供了极大的便利。它不仅缩短了生产准备周期，而且节省了大量工艺装备费用。

(2) 加工精度高 数控机床是以数字形式给出指令进行加工的。目前数控装置的脉冲当量（即每输出一个脉冲后数控机床移动部件相应的移动量）一般达到了 $0.001\text{mm}$ ，也就是 $1\mu\text{m}$ 。而进给传动链的反向间隙与丝杠螺距误差等均可由数控装置进行补偿，因此，数控机床能达到比较高的加工精度和质量稳定性。这是由数控机床结构设计采用了必要的措施以及具有机电结合的特点决定的。首先是在结构上引入了滚珠丝杠螺母机构、各种消除间隙结构等，使机械传动的误差尽可能小；其次是采用了软件精度补偿技术，使机械误差进一步减小；第三是用程序控制加工，减少了人为因素对加工精度的影响。这些措施不仅保证了较高的加工精度，同时还保持了较高的质量稳定性。

在采用点位控制系统的钻孔加工中，由于不需要使用钻模板与钻套，钻模板的坐标误差造成的影响也不复存在。又由于加工中排除切屑的条件得以改善，可以进行有效的冷却，被加工孔的精度及表面质量都有所提高。对于复杂零件的轮廓加工，在编制程序时已考虑到对进给速度的控制，可以做到在曲率变化时，刀具沿轮廓的切向进给速度基本不变，被加工表面就可获得较高的精度和表面质量。

(3) 生产效率高 零件加工所需要的时间包括在线加工时间与辅助时间两部分。数控机床能够有效地减少这两部分时间，因而加工生产率比一般机床高得多。数控机床主轴转速和进给量的范围比普通机床的范围大，每一道工序都能选用最有利的切削用量，良好的结构刚性允许数控机床进行大切削用量的强力切削，有效地节省了在线加工时间。数控机床移动部件的快速移动和定位均采用了加速与减速措施，由于选用了很高的空行程运动速度，因而消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多。

数控机床在更换被加工零件时几乎不需要重新调整机床，而零件又都安装在简单的定位夹紧装置中，可以节省用于停机进行零件安装调整的时间。

数控机床的加工精度比较稳定，一般只做首件检验或工序间关键尺寸的抽样检验，因而可以减少停机检验的时间。在使用带有刀库和自动换刀装置的数控加工中心时，在一台机床上实现了多道工序的连续加工，减少了半成品的周转时间，生产效率的提高就更为明显。

(4) 自动化程度高 数控机床对零件的加工是按事先编好的程序自动完成的，操作者除了操作面板、装卸零件、关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外，其他的机床动作直至加工完毕，都是自动连续完成，不需要进行繁重的重复性手工操作，劳动强度与紧张程度均可大为减轻，劳动条件也得到相应的改善。

(5) 良好的经济效益 使用数控机床加工零件时，分摊在每个零件上的设备费用是较昂贵的。但在单件、小批生产情况下，可以节省工艺装备费用、辅助生产工时、生产管理费用及降低废品率等，因此能够获得良好的经济效益。

(6) 有利于生产管理的现代化 用数控机床加工零件，能准确地计算零件的加工工时，并有效地简化了检验和工夹具、半成品的管理工作。这些特点都有利于使生产管理现代化。

数控机床在应用中也有不利的一面，如提高了起始阶段的投资，对设备维护的要求较高，对操作人员的技术水平要求较高等。

### 第三节 数控机床的分类

#### 1. 按加工工艺方法分类

(1) 金属切削类数控机床 有数控车床、铣床、钻床、磨床、齿轮加工机床和加工中心等。

(2) 特种加工类数控机床 有数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床、数控等离子弧切割机床、数控火焰切割机床以及数控激光加工机床等。

(3) 板材加工类数控机床 有数控压力机、数控剪板机和数控折弯机等。

(4) 非加工设备 如数控多坐标测量机、自动绘图机及工业机器人等。

#### 2. 按控制运动的方式分类

(1) 点位控制数控机床 机床移动部件只能实现由一个位置到另一个位置的精确定位，在移动和定位过程中不进行任何加工。如数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床、数控点焊机。点位控制数控机床的数控装置称为点位数控装置。

(2) 点位直线控制数控机床 机床移动部件不仅要实现由一个位置到另一个位置的精确移动定位，而且要控制工作台以一定的速度沿平行坐标轴方向进行直线切削加工。主要有简易数控车床、数控镗铣床等。

(3) 轮廓控制数控机床 轮廓控制数控机床不仅可完成点位及点位直线控制数控机床的加工功能，而且能够对两个或两个以上坐标轴进行插补，因而具有各种轮廓切削加工功能。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床就是典型的轮廓控制数控机床。轮廓控制系统的结构要比点位直线控制系统更为复杂，在加工过程中需要不断进行插补运算，然后进行相应的速度与位移控制。

#### 3. 按驱动装置的特点分类

(1) 开环控制数控机床 其控制系统不带反馈装置，通常使用功率步进电动机为伺服执行机构。

开环控制系统结构简单，成本较低，不能进行误差校正，步进电动机的失步、步距角误差、齿轮与丝杠等传动误差都将影响被加工零件的精度。开环系统仅适用于加工精度要求不很高的中小型数控机床，特别是简易经济型数控机床（见图 1-2）。

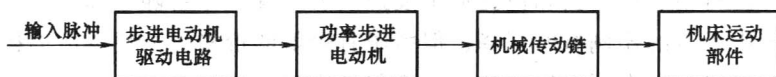


图 1-2 开环控制系统

(2) 半闭环控制数控机床 半闭环控制数控机床的特点是在伺服电动机的轴或数控机床的传动丝杠上装有角度检测装置（如光电编码器等），通过检测丝杠的转角间接地检测移动部件的实际位移，然后反馈到数控装置中去，并对误差进行修正。半闭环数控系统的调试比较方便，并且具有很好的稳定性。目前大多将角度检测装置和伺服电动机设计成一体，使结构更加紧凑（见图 1-3）。

(3) 闭环控制数控机床 闭环控制数控机床的特点是在机床移动部件上直接安装直线

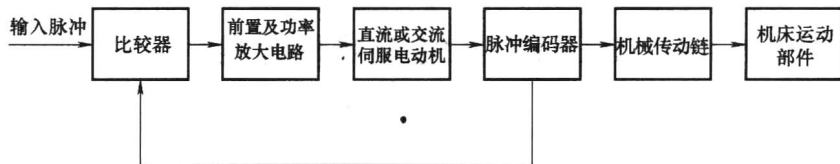


图 1-3 半闭环控制系统

位移检测装置，将测量的实际位移值反馈到数控装置中，与输入的指令位移值进行比较，用差值对机床进行控制，使机床部件运动（见图 1-4）。

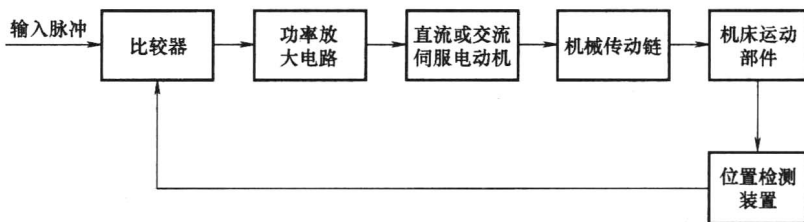


图 1-4 闭环控制系统

(4) 混合控制数控机床 将以上三类数控机床的特点结合起来，就形成了混合控制数控机床。混合控制数控机床特别适用于大型或重型数控机床。混合控制系统又分为两种形式：

- 1) 开环补偿型 其特点是基本控制选用步进电动机的开环伺服机构，另外附加一个校正电路。通过装在工作台上的直线位移测量元件的反馈信号校正机械系统的误差。
- 2) 半闭环补偿型 其特点是用半闭环控制方式取得高速度控制，再用装在工作台上的直线位移测量元件实现全闭环修正，以获得高速度与高精度的统一。

## 第四节 数控机床的典型结构

### 1. 数控铣床

数控铣床是采用铣削加工方式加工工件的数控机床。其加工功能很强，能够铣削各种平面轮廓和立体轮廓零件，如凸轮、模具、叶片、螺旋桨等。配上相应的刀具后，数控铣床还可以用来对零件进行钻、扩、铰和镗孔加工及螺纹加工等。尽管随着加工中心的兴起，数控铣床在数控机床中所占的比例有所下降，但由于有较低的价格、方便灵活的操作性能、较短的工作准备时间等优势，在制造行业数控铣床仍被广泛地应用。

(1) 数控铣床的基本组成 数控铣床一般是由数控系统、主轴传动系统、进给伺服系统、液压润滑系统、机床机械部件几大部分组成。但从外形上讲又包括底座、强电柜、变压器箱、垂直升降进给伺服电动机、主轴变速手柄、床身、数控柜、保护开关、挡铁、操纵箱、横向滑板、纵向进给伺服电动机、升降台、纵向工作台（见图 1-5）。

(2) XK5040A 型数控铣床的主要技术参数

工作台工作面积（长×宽）	1600mm×400mm
工作台最大行程	纵向：750mm；横向：375mm；垂直：400mm

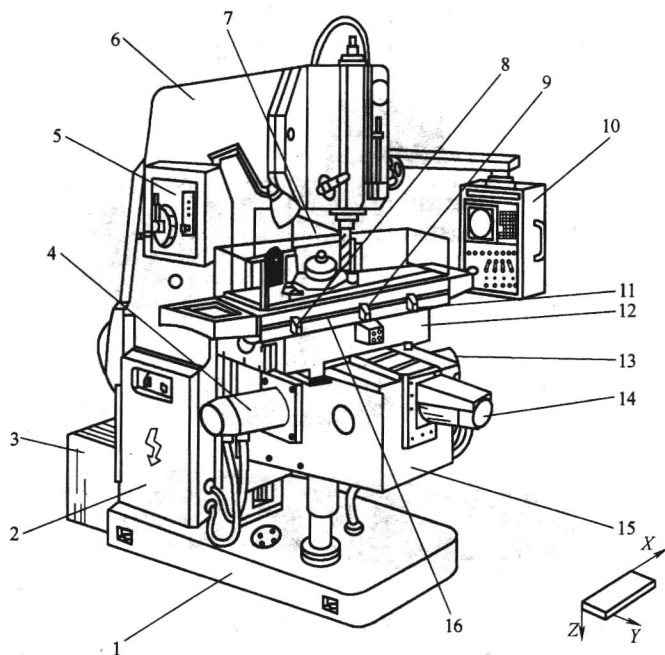


图 1-5 XK5040A 型数控铣床

- 1—底座 2—强电柜 3—变压器箱 4—垂直升降进给伺服电动机 5—主轴变速手柄  
6—床身 7—数控柜 8、11—保护开关 9—挡铁 10—操纵箱 12—横向滑板  
13—纵向进给伺服电动机 14—横向进给伺服电动机 15—升降台 16—纵向工作台

工作台 T 形槽	宽: 18mm; 间距: 100mm; 数量: 3 个
主轴孔直径	27mm
主轴套筒移动距离	70mm
主轴中心线到床身垂直导轨的距离	430mm
工作台侧面到床身垂直导轨的距离	30 ~ 405mm
主轴端面至工作台面的距离	50 ~ 450mm
主轴转速范围	30 ~ 1500r/min
主轴转速级数	18
工作台进给量	纵向: 10 ~ 1500mm/min 横向: 10 ~ 1500mm/min 垂直: 10 ~ 600mm/min
主轴电动机功率	7.5kW
伺服电动机额定转矩	纵向: 18N·m; 横向: 18N·m; 垂直: 35N·m
机床外形尺寸 (长×宽×高)	2495mm×2100mm×2170mm

### (3) 数控铣床的分类

1) 按机床主轴的布置形式及机床的布局特点分类。按机床主轴的布置形式及机床的布局特点, 数控铣床通常可分为立式、卧式和立卧两用式三种。

① 立式数控铣床。立式数控铣床的主轴轴线垂直于水平面, 是数控铣床中最常见的一

种布局形式，应用范围最广泛，其中以三轴联动铣床居多。立式数控铣床主要用于水平面内的型面加工，增加数控分度头后，可在圆柱表面上加工曲线沟槽（见图 1-6）。

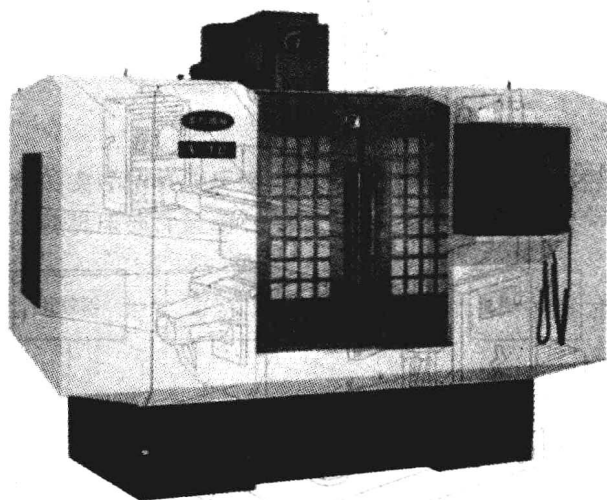


图 1-6 V-10 立式数控铣床

② 卧式数控铣床。卧式数控铣床的主轴轴线平行于水平面，主要用于垂直平面内的各种型面加工，配置万能数控转盘后，还可以对工件侧面上的连续回转轮廓进行加工，并能在一次安装后加工箱体零件的四个表面。通常采用增加数控转盘来实现四轴或五轴加工（见图 1-7）。

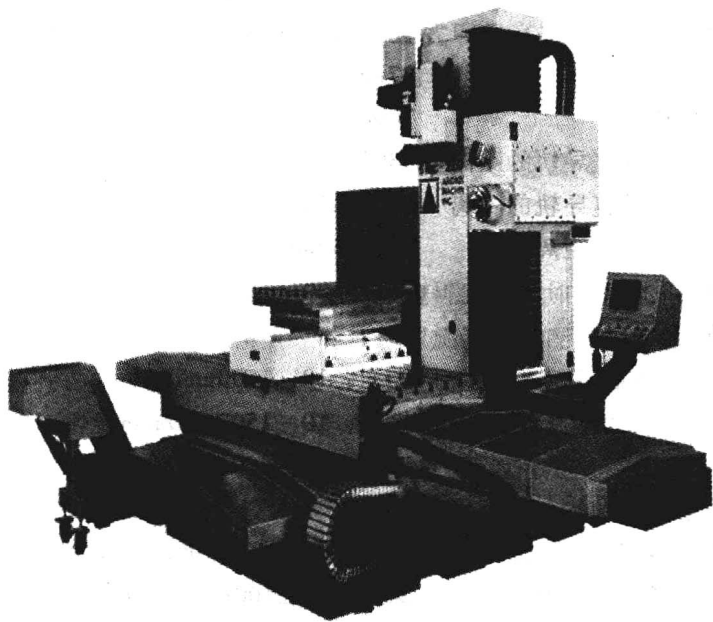


图 1-7 卧式数控铣床

③ 立卧两用式数控铣床。立卧两用式数控铣床的主轴轴线方向可以变换，既可以进行立式加工，又可以进行卧式加工，使用范围更大，功能更强。若采用数控万能主轴（主轴



头可以任意转换方向), 就可以加工出与水平面成各种角度的工件表面; 若采用数控回转工作台, 还能对工件实现除定位面外的五面加工。

## 2) 按数控系统的功能分类

① 简易型数控铣床。简易型数控铣床是在普通铣床的基础上, 对机床的机械传动结构进行简单的改造, 并增加简易数控系统后形成的。这种数控铣床成本较低, 自动化程度和功能都较差, 一般只有 X、Y 两坐标联动功能, 加工精度也不高, 可以加工平面曲线类和平面型腔类零件。

② 普通数控铣床。普通数控铣床可以三坐标联动, 用于各类复杂的平面、曲面和壳体类零件的加工, 如各种模具、样板、凸轮和连杆等。

③ 数控仿形铣床。数控仿形铣床主要用于各种复杂型腔模具或工件的铣削加工, 特别对不规则的三维曲面和复杂边界构成的工件更显示出其优越性。

④ 数控工具铣床。数控工具铣床在普通工具铣床的基础上, 对机床的机械传动系统进行了改造, 并增加了数控系统, 从而使工具铣床的功能大大增强。这种铣床适用于各种工装、刀具对各类复杂的平面、曲面零件的加工。

(4) 数控系统 数控系统是数字控制系统的简称, 英文名称为 Numerical Control System, 早期由硬件电路构成的称为硬件数控 (NC), 1970 年以后, 硬件电路元件逐步由专用的计算机代替称为计算机数控系统 (Computerized numerical control, 简称 CNC), 是由计算机控制加工功能, 实现数字控制的系统。CNC 系统根据计算机存储中的控制程序, 执行部分或全部数字控制功能, 并配有接口电路和伺服驱动装置的专用计算机系统。

CNC 系统由数控程序、输入装置、输出装置、计算机数控装置 (CNC 装置)、可编程控制器 (PLC)、主轴驱动装置和进给 (伺服) 驱动装置 (包括检测装置) 等组成 (见图 1-8)。

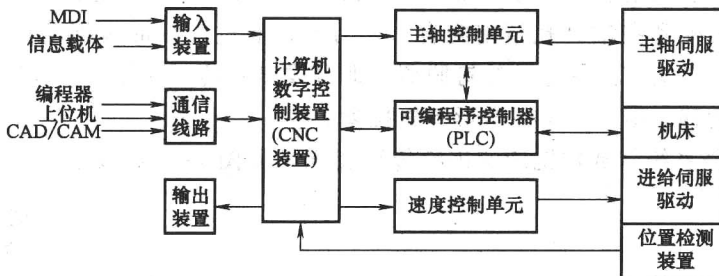


图 1-8 数控系统的组成

CNC 系统的核心是 CNC 装置。由于使用了计算机, 系统具有了软件功能, 又用 PLC 代替了传统的机床电器逻辑控制装置, 使系统更小巧, 其灵活性、通用性、可靠性更好, 易于实现复杂的数控功能, 使用、维护也方便, 并具有与上位机连接及进行远程通信的功能。

(5) 主轴传动系统 主轴部件是数控铣床上的重要部件之一, 它带动刀具旋转完成切削, 其精度、抗振性和热变形对加工质量有直接的影响。

主轴在结构上要保证良好的润滑, 尤其是在高转速场合, 通常采用循环式润滑系统。其结构及其润滑如图 1-9 所示。对于电主轴 (见图 1-10) 而言, 往往设有温控系统, 且主轴外表面有槽结构, 以确保散热冷却。