



数控机床编程及 操作技术的探索研究

SHUKONG JICHUANG BIANCHENG JI
CAOZUO JISHU DE TANSUO YANJIU

◎ 曹清香 著



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

WWW.NNUP.COM

东北师范大学出版社

数控机床编程及 操作技术的探索研究

◎ 曹清香 著



NORTHEAST NORMAL UNIVERSITY PRESS

WWW.NNUP.COM

东北师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控机床编程及操作技术的探索研究 / 曹清香著.

— 长春: 东北师范大学出版社, 2017.12

ISBN 978-7-5681-2742-4

I. ①数… II. ①曹… III. ①数控机床—程序设计—研究
②数控机床—操作—研究 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 304872 号

- | | |
|------------------------------------|-------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 责任编辑: 卢永康 | <input type="checkbox"/> 封面设计: 优盛文化 |
| <input type="checkbox"/> 责任校对: 李 密 | <input type="checkbox"/> 责任印制: 张允豪 |

东北师范大学出版社出版发行
长春市净月经济开发区金宝街 118 号 (邮政编码: 130117)

销售热线: 0431-84568036

传真: 0431-84568036

网址: <http://www.nenup.com>

电子函件: sdcbs@mail.jl.cn

河北优盛文化传播有限公司装帧排版

北京一鑫印务有限责任公司

2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

幅画尺寸: 185mm×260mm 印张: 23 字数: 545 千

定价: 83.00 元

简介

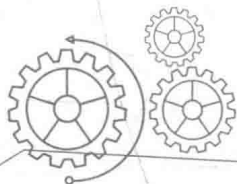
众所周知，数控技术是一项应用性极强的科目，从事本科目学习的目的，是要培养自己成为具有数控机床研发、数控加工、机械产品设计与制造、生产技术管理等综合能力的高等工程技术型人才。但是，近些年多方面的研究表明，在各大高校及高职院校的数控加工实训方面都存在很大的问题，重理论轻实践的现象普遍存在。同时，各大高校，特别是211、985高校相关专业在对数控技术的学习方面，尽管重理论轻实践，但是理论学习深度不够，缺乏对数控机床研发的能力。因此，培养的学生既没有动手能力，又没有研发能力；既不是应用型人才，又不是研究型人才。本书针对上述现象而编写，按照理论结合实践的分析方式，对目前应用比较广泛的机床及其系统的编程和操作进行了详细介绍，并将编程与操作实训紧密地结合在一起，着重强调了“实训”这一环节在系统学习中的重要作用，同时增加了数控系统软件开发、加工过程仿真及机床能耗研究的内容。希望本书既能满足研究型人才学习的需求，又能满足应用型人才学习的需求，对我国数控技术人才的培养、为我国从“世界制造大国”走向“世界制造强国”这一目标做出应有的一份贡献。

因本文撰写过程历时漫长，文中或有些许不足，望读者朋友不吝赐教。

目 录

第一章 绪 论	001
第一节 数控机床的产生、发展及特征	001
第二节 数控机床加工的特点及应用范围概览	007
第三节 数控机床的组成、分类与发展趋势	010
第二章 数控编程基础概述	015
第一节 基本概念与方法概述	015
第二节 数控加工程序与主要功能指令研究	017
第三章 基于 FANUC 0i 系统的数控车床编程、操作及实训综述	044
第一节 数控车床的编程基础	044
第二节 数控车床编程的基本指令与循环指令一览	049
第三节 数控车床的控制面板与基本操作一览	072
第四节 数控车床编程实例	083
第四章 数控铣床编程、操作及实训综述	098
第一节 数控铣床与编程基础概述	098
第二节 以 SIEMENS802D 为基础的数控铣床编程与操作研究	131
第三节 数控铣切削加工实训及分析	136
第五章 数控加工中心操作、编程及实训综述	156
第一节 加工中心基本操作及实训	156
第二节 加工中心对刀操作及实训	165
第三节 基础指令、子程序及矩形槽实训	173
第四节 圆弧插补及圆弧槽实训	180
第五节 刀具半径补偿及轮廓实训	184

第六节	刀具长度补偿、钻孔循环及实训	/	190
第七节	攻螺纹、镗孔循环及实训	/	198
第八节	简化编程指令及实训	/	205
第六章	宏程序及其应用		209
第一节	FANUC0i 系统 B 类宏程序基础知识	/	209
第二节	FANUC 0i 系统 B 类宏程序应用	/	222
第三节	SIEMENS 数控系统参数编程与应用	/	235
第七章	数控系统软件可靠性设计与故障分析技术研究		244
第一节	基于体系结构的数控系统软件可靠性分配	/	244
第二节	基于可靠性的数控系统组件装配建模	/	256
第三节	基于体系结构扩展的数控系统软件故障定位	/	266
第四节	基于故障率的数控系统软件可靠性预测模型	/	279
第八章	数控机床典型加工过程仿真及能耗优化方法研究		290
第一节	数控加工过程能耗建模	/	290
第二节	数控机床典型加工能耗模型	/	296
第三节	数控机床加工过程仿真	/	313
第四节	考虑能耗的机床加工过程优化	/	325
第九章	数控机床的保养与维护		334
第一节	数控机床的维护与保养基础知识	/	334
第二节	数控机床的维护保养规范	/	339
第三节	数控机床的故障分析与诊断	/	342
第四节	数控机床常见报警信息及系统故障排除实例	/	350
参考文献			362



第一章 绪 论

科学技术和市场经济的不断发展,对机械产品提出了高精度、高效率、通用性和灵活性的要求。虽然许多生产企业(如汽车、家用电器等制造厂)已经采用了自动机床和专用自动生产线,可以提高生产效率、提高产品质量、降低生产成本,但是由于市场竞争日趋激烈,企业必须不断开发新产品。在频繁开发新产品的生产过程中,企业使用“刚性”(不可变)的自动化设备,由于其工艺过程的改变极其复杂,因此刚性自动化设备的缺点暴露无遗。另外,在机械制造业中,并不是所有产品零件都具有很大的批量。据统计,单件小批量生产约占加工总量的75%~80%。对于单件、小批、复杂的零件,若用“刚性”自动化设备加工,则生产成本低、生产周期长,加工精度也很难符合要求。

数控机床就是针对这些要求而产生的一种新型自动化机床。数控机床是机电一体化的重要组成部分,是集精密机械技术、计算机技术、自动控制技术、微电子技术和伺服驱动技术于一体的高度机电一体化的典型产品。数控机床体现了当前世界机床进步的主流,是衡量机械制造工作水平的重要指标,在先进制造技术中起着重要的基础核心作用。数控机床是一种价格昂贵的精密设备,具有与普通机床不同的鲜明特点。

第一节 数控机床的产生、发展及特征

一、数控机床的产生和发展

数控机床(Numerical Control Machine Tools)是用数字代码形式的信息(程序指令),控制刀具按给定的工作程序、运动速度和轨迹进行自动加工的机床。数控机床是在机械制造技术和控制技术的基础上发展起来的。

1948年,美国帕森斯公司接受美国空军委托,研制直升机螺旋桨叶片轮廓检验用样板的加工设备。由于样板形状复杂多样,精度要求高,一般加工设备难以适应,于是提出采用数

字脉冲控制机床的设想。1949年,该公司与美国麻省理工学院(MIT)开始共同研究,并于1952年试制成功第一台三坐标数控铣床,当时的数控装置采用电子管元件。1959年,数控装置采用了晶体管元件和印制电路板,出现带自动换刀装置的数控机床,称为加工中心(MC, Machining Center),使数控装置进入了第二代。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,成功研制出了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。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(计算机)为控制系统的硬件部分,在PC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。

我国数控机床的研制始于1958年,由清华大学研制出最早的样机。1966年,诞生了第一台用于直线—圆弧插补的晶体管数控系统。1970年,北京第一机床厂的XK5040型数控升降台式铣床作为商品,小批量生产并推向市场。但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,致使在1970—1976年间开发出的加工中心、数控镗床、数控磨床及数控钻床因系统不过关,多数机床没有在生产中发挥作用。20世纪80年代前期,在引入了日本FANUC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。

“十五”期间,中国数控机床行业实现了超高速发展。其产量2001年为17 521台,2002年为24 803台,2003年为36 813台,2004年为51 861台,2004年产量是2000年的3.7倍,平均年增长39%,2005年国产数控机床59 639台,接近6万台大关,是“九五”末期的4.24倍。“十五”期间,中国机床行业发展迅猛的主要原因是市场需求旺盛,固定资产投资增速快,汽车和机械制造行业发展迅猛,外商投资企业增长速度加快。

2006年,中国数控金切机床产量达到85 756台,同比增长32.8%,高于金切机床产量增幅18.4个百分点,进而使金切机床产值数控化率达到37.8%,同比增加2.3个百分点。此外,数控机床在外贸出口方面亦业绩骄人,全年实现出口额3.34亿美元,同比增长63.14%,高于全部金属加工机床出口额增幅18.58个百分点。2007年,中国数控金切机床产量达123 257台,数控金属成形机床产量达3 011台;国产数控机床拥有量约50万台,进口约20万台。2008年10月,中国数控机床产量达105 780台,比2007年同比增长2.96%。

长期以来,国产数控机床始终处于低档迅速膨胀,中档进展缓慢,高档依靠进口的局面,特别是国家重点工程需要的关键设备主要依靠进口,技术受制于人。究其原因,国内本土数控机床企业大多处于“粗放型”阶段,在产品设计水平、质量、精度、性能等方面与国外先进水平相比落后了5~10年;在高、精、尖技术方面的差距则达到了10~15年。中国在应用技

术及技术集成方面的能力也比较低,相关的技术规范和标准的研究制定相对滞后,国产的数控机床还没有形成品牌效应。同时,中国的数控机床产业目前缺少完善的技术培训、服务网络等支撑体系,市场营销能力和经营管理水平也不高。更重要的原因是缺乏自主创新能力,完全拥有自主知识产权的数控系统少之又少,制约了数控机床产业的发展。

国外公司在中国数控系统销量中的80%以上是普及型数控系统。如果我们能在普及型数控系统产品快速产业化上取得突破,中国数控系统产业就有望从根本上实现战略反击。同时,我们要建立起比较完备的高档数控系统的自主创新体系,提高中国的自主设计、开发和成套生产能力,创建国产自主品牌产品,提高中国高档数控系统总体技术水平。

二、数控技术发展里程碑

存储指令操作机床装置的思想如今已被运用于数控机床,这一思想最早可以追溯到14世纪,用于由拖拉机牵引控制的钟乐演奏。

1808年,Joseph M.Jacquard使用穿孔板卡实现了纺织机的自动控制,发明了可互换的控制机数据载体。

1863年,M.Foumeaux申请了自动钢琴专利,之后自动钢琴的名字便广为人知。该专利是用一条大约30cm宽的纸条通过相应的孔洞控制压缩空气来操控钢琴按键。此后,这种方法得到了广泛的发展,纸卷的音调、强度和通过速度也得以控制。同一时期,纸片数据载体和辅助功能控制方法也相继问世。

1938年,麻省理工学院的Claude E.Shannon在自己的论文中提到一个结论,即通过布尔代数将数据转化成二进制形式,实现快速计算和发送,电子开关是唯一能够实现这个功能的器件。这奠定了现代的计算机包括数控在内的基本原理。

1946年,John W.Mauchly博士和J.Presper Eckert博士向美国陆军交付了第一台电子数字计算机“ENIAC”,创建了电子数据处理的基础。

1949—1952年,John Parsons和麻省理工学院受美国空军委托开发了一套用于机床的控制系统。该控制系统中,主轴的位置可以由计算机的输出结果直接控制,同时能自动生成相关制造文件记录。John Parsons主要提出了以下4种观点:

1. 保存穿孔卡片中轨迹的计算位置;
2. 自动从穿孔卡片读取机床位置;
3. 实时显示当前所读取到的卡片的位置,并完成中间值的计算;
4. 伺服电动机可以控制轴的运动。

使用这些机器设备可以为飞机制造业提供更复杂的零部件。在此以前,这些复杂零部件只有部分可用少量的数学数据进行准确的描述,对手工制造来说非常难以完成。计算机和数控机床的连接协议在行业发展的开始即设定完成。

1952年,在麻省理工学院运行了第一台由辛辛那提Hydmtd公司提供的带有立式主轴的数控机床。其控制部分由电子管实现,可以实现三轴同步运动(3D线性插值),并且可以利用二

进制编码磁带保存数据。

1954年,本迪克斯(Bendix)公司购买了帕森斯(Parsons)专利,并且制造了第一台采用工业化方式生产的数控机床,该数控机床的数控系统同样采用电子管实现控制。

1957年,美国空军部门在自己的车间制造了第一台数控铣床。

1958年,第一种符号式的编程语言APT在IBM公司的704计算机上被搭建起来。

1960年,采用晶体管技术的数控(NC)系统替代了使用继电器和电子管的数控系统。

1965年,采用自动换刀装置,提高了自动化程度。

1968年,IC(集成电路)技术使得控制器更小且更可靠。

1969年,通过Sundstrand公司的“全方位控制”和IBM公司的计算机,第一台DNC设备在美国问世。

1970年,实现自动托盘转换技术。

1972年,拥有内置标准小型计算机的数控机床开启了强大的计算机控制数控(CNC)机床的新时代,但其很快被微处理器CNC系统取代。

1976年,微处理器对数控技术产生了革命性的影响。

1978年,柔性制造系统问世。

1979年,第一次实现与CAD/CAM的结合。

1980年,集成于CNC系统的编程辅助功能引发了与手工输入加工程序——赞成或反对的“信仰之争”。

1984年,支持辅助图形编译功能的计算机数控机床重新为“车间的规划”制订了标准。

1986/1987年,利用标准化接口实现的综合信息交流方式CIM为自动化工厂开辟了一条道路。

1990年,数控机床和驱动器之间的数字接口改善了数控轴和主轴的控制精度和控制特性。

1992年,开放的数控系统可以适应客户个性化的修改、操作习惯和功能。

1993年,首次在加工中心上使用标准的直线驱动器。

1994年,通过使用NURBS样条曲线进行CNC插补,实现了CAD/CAM/CNC流程链的闭环。

1996年,实现数字驱动控制和亚微米级($< 0.001 \mu\text{m}$)的精确插补,速度可达100 m/min。

1998年,六足机构和多功能一体机床成功运用于工业生产。

2000年,CNC系统和PLC通过内部接口,实现世界范围内的数据交换和故障诊断/补救。

2002年,首次实现高度集成的、普遍配置的IPC-CNC系统配置在一张计算机插卡内,包括数据存储、PLC、数字SERCOS驱动器接口和Profibus接口。

2003年,对机械的、热相关的和测量技术的误差源进行电子补偿。

2004年,为检测程序错误和优化程序,在PC端对数控程序进行外部的、动态的过程模拟变得越来越重要。因此,需要建立机床夹具和工件的动态化图形模拟系统。

2005年,纳米和微米插值的CNC系统改善了工件的表面质量和加工准确度。

2007年,实现远程服务。试运行期间,通过电话或者数据线进行人工支持,对机器设备进行故障诊断、维护和修理。

2008年,为迎合设备和零件制造中日益增长的安全性要求,开发了专用安全系统。例如,在CNC系统和驱动系统上实施安全的运动、安全的外围信号处理和安全的通信。另外,不再需要购买昂贵的软件来开发插件和接线。

2009年,迫于成本压力,提高生产效率日渐成为工业生产的关注焦点,尤其在欧洲市场显得格外迫切。零件在一次装夹中完成加工是提升生产效率的有效方式。可以实现多面加工的五轴机床越来越多地用于铣削加工。对于车削加工,利用多个滑板(多个X轴)或除了动力刀具外将铣头集成在车床的工作空间内以加强机床功能。同一时期,还开发出环境友好型和节能型的“绿色生产”机床。

2010年,CNC系统中多核处理器的引入带来了进一步的性能提升。从前必须预先计算好功能,现在可以集成到控制器中(如使用样条插补)。

2011年,CNC系统可以检测整个机器的能量消耗。通过分析单个操作的时间及其所需的控制,提升机器的能源使用效率。

2012年,针对多任务工况的激增,开发出新的CNC机床,多任务机床及混合机床问世。此类机床成功地把不同的加工工艺如车削、铣削、磨削、激光加工等集成到一台机床上。由于零件的复杂性,CAD/CAM系统成为这类机床成功的重要因素。

2013年,除了技术特征,数控机床标准中增加了能源效率,可供生产部门使用参考。2014年,工业4.0的构想越来越多地运用在生产技术上。2014年汉诺威工业博览会上,通过资源的多向交流实现了每个节点上实时的信息交流,使整个工业过程形成新的系统结构层次,同时,这可能成为再一次工业革命的基础。

2014年,触摸式操作面板用于CNC技术,从而为CNC技术提供了更为直观和易学的经营理念。

三、当代数控机床发展的特征

(一) 高精度化

当代工业产品对精度提出了越来越高的要求,像仪器、钟表、家用电器等都有相当高精度的零件,典型的高精度零件如陀螺框架、伺服阀体、涡轮叶片、非球面透镜、光盘、磁头、反射鼓等,这些零件的尺寸精度要求均在微米、亚微米级。因此,加工这些零件的机床也必须受到需求的牵引而向高精度发展。例如,中等规格的普通机加中心的定位精度,20世纪80年代初为 $\pm 0.012\text{ mm}/300\text{ mm}$,到了90年代初,已提高为 $\pm 0.002 \sim 0.005\text{ mm}/\text{全程}$ (如瑞士DIXI公司的坐标镗铣中心)。航天工业是当今高精度数控加工机床发展的典型的受益工业部门之一。第一代惯性器件、伺服机构等高精度仪表零件的关键部位的尺寸精度均在 1 mm 以下。而当前第二代惯性器件,以驱动马达为例,其关键部位的尺寸精度已提高到 $0.1 \sim 0.2\text{ mm}$,为适应这种要求,机床主轴回转精度已达到 0.1 mm 以下。当前,一些透镜、磁盘等的精度也要求在 1 mm 以下,为适应这种需要,数控机床和机械加工中心也必须提高精度,才能与之相适应。为此,在计算机技术发展的推动下,各加工精度补偿技术得到应用和发展。在高精度机床上也

已开始普遍使用各种性能稳定、温度影响小的新型材料作为结构材料,如花岗岩、人造花岗岩、精密陶瓷等。典型的实例有瑞士 Studer 公司的精密磨床(S 系列),其床身采用人造花岗岩;日本东京精密公司的三坐标测量机结构件大多是花岗岩,而关键部位采用的是精密陶瓷;德国 Heidenhain 公司的高精度光栅尺,是用 Zerodur 制造的,其精度达 $0.2\mu\text{m}/200\mu\text{m}$ 。为了保证机床的直线性精度,导轨普遍采用双 V 形,超高速主轴则采用 Si₃N₄ 陶瓷滚珠的轴承。

(二) 高速度化

提高生产率是机床技术发展的永恒主题,这也表现在提高机床主轴的转速上。在 20 世纪 80 年代中期,中等规格的机加中心的最高转速为 4 000 ~ 6 000 r/min;而传统机床的转速均在 3 000 r/min 以下;到了 90 年代,则达到了 8 000 ~ 12 000 r/min,甚至达到 50 000 r/min,为了适应主轴的高速化,滚珠轴承采用油气润滑、喷雾润滑、环下润滑,使用陶瓷滚珠轴承等,各种新型轴承如静压轴承、动压轴承、磁力悬浮轴承等也开始得到应用。同时,为提高生产率,缩短工具交换和托板交换等非切削时间方面有了很大的进步,如数控车床的刀架转位时间已从 1 ~ 30 s 减少到 0.4 ~ 0.6 s;由于机加中心的换刀机构的改进,换刀时间也从 5 ~ 10 s 减少到 1 ~ 3 s;托板交换时间则由 12 ~ 20 s 减少到 6 ~ 10 s,有的减少到 2.5 s,坐标轴的快速移动目前已提高到 18 ~ 24 m/min,甚至达到 30 ~ 40 m/min。所有这些对缩短非切削时间都起了很大的作用。上述各项措施突出表明了高速化对提高生产率的作用。

(三) 高柔性化

当代产品的多样化和个性化,对机床提出了更高的柔性加工要求,如车削加工中心可以进行铣削、钻孔;铣削加工中心可以车削、钻孔、攻丝;切削与磨削可在一台机床上完成;最近还有一家日本公司为满足用户需要,将电加工与切削加工集成于一台机床上完成。将各种加工功能在一台机床上进行集成,是为了在一台机床上实现一次装夹就能完成不同工件不同的加工要求,以充分展示机床加工的柔性。而机械加工中心的出现,正是适应了这种发展趋势,并与当代产品的多样化和个性化发展默契配合。单件、小批量产品的传统加工,许多精密零件的生产准备时间很长,如惯性平台的四大件,以往小批量的生产准备周期长达一年半以上,而使用机械加工中心,则可在同一机械加工中心上逐个完成台体、外环、内环和基座这四大件的加工,成套提供装配,大大缩短了生产准备周期和加工时间。

(四) 高度自动化

自动化是指在全部加工过程中,减少人的“介入”,而能自动地完成规定的任务。传统的自动化往往与大批量生产加工联系在一起,使用大量专用机床和组合机床。目前,通过数控机床和机械加工中心,不仅能在大批量生产中实现自动化加工,还可在小批量、多品种产品的加工中实现自动化生产。另外,应注意的是自动化的“面”也在不断扩展,如自动编程、自动换刀、自动上下料(工件)、自动加工、自动检测、自动监控、自动诊断、自动对刀、自动传输、自动调度、自动管理等。自动化程度的提高,进一步推动了标准化和自动线的生产能力。机械加工的自动化大大提高了生产率,但检测计量往往是一个薄弱环节,如复杂箱体的加工,在机械加工中心上的加工周期已缩短到几个小时,而传统检测时间,则需要加工时间的几倍。如

今,生产型三坐标测量机进入生产线,缓解了这种矛盾,使自动化更加全面。另外,数控机床有了自动检测的系统(如英国 Renishaw 公司的测量系统),使在线检测成为现实,检测自动化更加完善。

(五) 造型宜人化

当一台机床展示时,其外观给人们留下第一印象。近年来,机床造型的宜人化已成为一门学科,宜人化的内容,除了外观、颜色之外,考虑操作使用时的方便、省力等人体学知识也是一个重要的方面。好的数控机床不仅要功能齐全、操作可靠安全、性能良好,而且要成为外观宜人和符合操作人体学的一件艺术品。

(六) 高可靠性

这是一项硬指标,好的数控机床的无故障工作时间(MTBF)目前已达到 30 000 h 以上。航天工业总公司在仪表可靠性方面积累了相当丰富的经验,这可以移植到机床数控系统上来,如在技术管理上通常使用的元件筛选、在线装配、整机调试及环境试验、全面质量管理等都有可借鉴之处。

随着电子信息技术的发展,世界机床业已进入了以数字化制造技术为核心的机电一体化时代,数控机床就是代表产品之一。数控机床是制造业的加工母机和国民经济的重要基础。它为国民经济各个部门提供装备和手段,具有无限放大的经济与社会效应。目前,欧、美、日等工业化国家已先后完成了数控机床产业化进程,中国从 20 世纪 80 年代开始起步,仍处于发展阶段。

第二节 数控机床加工的特点及应用范围概览

一、数控机床加工的特点

数控机床就是用数字化信号对机床运动及其加工过程进行控制的一种加工设备。现代数控机床是一种典型的集光、机、电、磁技术于一体的加工设备。数控加工设备主要分切(磨)削加工、压力加工和特种加工(如电火花加工、线切割加工等)三大类。切削加工类数控机床的加工过程能按预定的程序自动进行,消除了人为的操作误差和实现了手工操作难以达到的控制精度,加工精度还可以通过软件来校正和补偿,因此可以获得比工作母机自身精度还要高的加工精度及重复定位精度;工件在一次装夹后,能先后进行粗、精加工,配置自动换刀装置后,还能缩短辅助加工时间,提高生产率;机床的运动轨迹受可编程的数字信号控制,因而可以加工单件和小批量且形状复杂的零件,生产准备周期大为缩短。综上所述,数控机床具有高精度、高效率、高度自动化和柔性好等特点。从近些年数控机床的生产现状和发展趋势看,由于计算机技术在机床行业的广泛应用,与普通机床相比,数控机床不仅在电器控制方面发生了很大的变化,而且在机械结构性能方面形成了自身独特的风格和特点。具体来说,可以概括为以下几个方面。

（一）具有高度柔性

数控铣床的最大特点是高柔性，即可变性。所谓“柔性”即灵活、通用、万能，可以加工不同形状的工件。数控铣床一般都能完成钻孔、镗孔、铰孔、铣平面、铣斜面、铣槽、铣曲面（凸轮）和攻螺纹等加工，而且一般情况下，可以在一次装夹中完成所需的加工工序。这就是数控机床高柔性带来的特殊优点。

（二）加工精度高

数控机床集中采用了提高加工精度和保证质量稳定性的多种技术措施：第一，数控机床由数控程序自动控制进行加工，在工作过程中，一般不需要人工干预，这就消除了操作者人为产生的失误或误差；第二，数控机床本身的刚度高、精度好，并且精度保持性较好，这更有利于零件加工质量的稳定，还可以利用软件进行误差补偿和校正，使数控加工具有较高的精度；第三，数控机床的机械结构是按照精密机床的要求进行设计和制造的，采用了滚珠丝杠、滚动导轨等高精度传动部件，而且刚度大、热稳定性和抗振性能好；第四，伺服传动系统的脉冲当量或最小设定单位可以达到 $0.1 \mu\text{m} \sim 0.5 \mu\text{m}$ ，数控机床是按数字信号形式控制的，数控装置每输出一个脉冲信号，则机床移动部件移动一个脉冲当量（一般为 0.001 mm ）。同时，工作中大多采用具有检测反馈的闭环或半闭环控制，具有误差修正或补偿功能，可以进一步提高精度和稳定性；第五，数控加工中心具有刀库和自动换刀装置，可以在一次装夹后，完成工件的多面和多工序加工，最大限度地减少了装夹误差的影响。因此，数控机床定位精度比较高。

（三）加工质量稳定、可靠

加工同一批零件，在同一机床，在相同加工条件下，使用相同刀具和加工程序，刀具的走刀轨迹完全相同，零件的一致性良好，质量稳定。

（四）生产效率高

数控机床能最大限度地减少零件加工所需的机动时间与辅助时间，显著提高生产效率。第一，数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速，且调速范围大，可以进行在线检测，因此每一道工序都能选择最佳的切削速度和进给速度；第二，良好的结构刚度和抗振性允许机床采用大切削用量和强力切削；第三，一般不需要停机对工件进行检测，从而有效地减少了机床加工中的停机时间；第四，机床移动部件在定位中都采用自动加减速措施，因此可以选用很高的空行程运动速度，大大节约了辅助运动时间。机床的主轴转速和进给量的范围大，允许机床进行大切削量的强力切削，数控机床目前正进入高速加工时代，数控机床移动部件的快速移动和定位及高速切削加工，减少了半成品工序间的周转时间；第五，加工中心可以采用自动换刀和自动交换工作台等措施，工件一次装夹，可以进行多面和多工序加工，大大减少了工件装夹、对刀等辅助时间；第六，加工工序集中，可以减少零件的周转，减少了设备台数及厂房面积，给生产调度管理带来极大方便。因此，数控加工生产率较高，一般零件的生产效率可以提高 $3 \sim 4$ 倍，复杂零件的生产效率可提高十几倍，甚至几十倍。

（五）利于生产管理现代化

采用数控机床加工能方便、精确地计算零件的加工时间，能精确计算生产和加工费用，主

轴速度控制单元安装在数控机床的加工,可预先精确估计加工时间,所使用的刀具、夹具可进行规范化、现代化管理。数控机床使用数字信号与标准代码为控制信息,易实现加工信息的标准化,目前已与计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)有机结合起来,是现代集成制造技术的基础。一机多工序加工,可简化生产过程的管理,减少管理人员,并且可实现无人化生产。

(六) 劳动强度低、劳动条件好

数控机床的操作者一般只需装卸零件、更换刀具、利用操作面板控制机床的自动加工,不需要进行繁杂的重复性手工操作,因此劳动强度可大为减轻。此外,数控机床一般都具有良好的安全防护、自动排屑、自动冷却和自动润滑装置,操作者的劳动条件可得到很大改善,可以一个人轻松地管理多台机床,数控机床的操作由体力型转为智力型。

(七) 适应性强、灵活性好

数控机床由于采用数控加工程序控制,当加工零件改变时,只要改变数控加工程序,便可实现对新零件的自动化加工。它能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求,解决了多品种、单件小批量生产的自动化问题,也能满足飞机、汽车、造船、动力设备、国防军工等制造部门形状复杂零件和型面零件的加工需要。

(八) 使用维护技术要求高

数控机床是综合多学科、新技术的产物,机床价格高,设备一次性投资大,机床的操作和维护要求较高。因此,为保证数控加工的综合经济效益,要求机床的使用者和维修人员应具有较高的专业素质。与数控机床接触最多,能掌握机床运转脉搏的是操作人员。他们整天操作数控机床,积累了丰富的经验,对数控机床各部分的状态了如指掌。他们在正确使用和精心维护方面做得好与坏,往往对数控机床的状态有着重要的作用。因此,这就要求数控机床操作人员有良好的职业素质。

(九) 自动化程度高

数控机床可以减轻操作者的体力劳动强度。数控加工过程是按输入的程序自动完成的,操作者只需起始对刀、装卸工件、更换刀具,在加工过程中,主要是观察和监督机床运行。但是,由于数控机床的技术含量高,操作者的脑力劳动相应提高。

二、数控机床的应用范围

数控机床是一种高度自动化的机床,有一般机床所不具备的许多优点,所以数控机床的应用范围在不断扩大。但数控机床的技术含量高,成本高,使用维护都有一定难度。若从最经济的方面考虑,数控机床适用于如下零件的加工:

1. 多品种、小批量零件(合理生产批量为10~100件);
2. 结构较复杂、精度要求较高或必须用数字方法确定的复杂曲线、曲面等零件;
3. 需要频繁改型的零件;
4. 钻、镗、铰、攻螺纹及铣削工序联合进行的零件,如箱体、壳体等;
5. 价格昂贵、不允许报废的零件;

6. 要求百分之百检验的零件；
7. 需要最小生产周期的急需零件。

第三节 数控机床的组成、分类与发展趋势

一、数控机床的组成

数控机床一般由下列几个部分组成。

1. 主体，包括机床床身、立柱、主轴、进给机构等机械部件。它是用于完成各种切削加工的机械部件。

2. 数控装置，是数控机床的核心，包括硬件（印制电路板、CRT显示器、键盘）以及相应的软件，用于输入数字化的零件程序，并完成输入信息的存储、数据的变换、插补运算以及实现各种控制功能。

3. 伺服及反馈系统，是数控机床执行机构的驱动部件，包括主轴驱动单元、进给单元、主轴电机及进给电机等。它在数控装置的控制下通过电气或电液伺服系统实现主轴和进给驱动。当几个进给联动时，可以完成定位、直线、平面曲线和空间曲线的加工。

4. 辅助装置，指数控机床的一些必要的配套部件，用以保证数控机床的运行，如冷却、排屑、润滑、照明、监测等。它包括液压和气动装置、排屑装置、交换工作台、数控转台和数控分度头，还包括刀具及监控检测装置等。

编程及输入设备，可用来在机外进行零件的程序编制、存储等。它本身是机电一体化的重要组成部分，也是现代机床技术水平的重要标志。

二、数控机床的工作原理

数控机床进行加工，先必须将工件的几何数据和工艺数据等加工信息按规定的代码和格式编制成数控加工程序，并用适当的方法将加工程序输入数控系统。数控系统对输入的加工程序进行数据处理，输出各种信息和指令，控制机床各部分按规定有序地动作。最基本的信息和指令包括：各坐标轴的进给速度、进给方向和进给位移量，各状态控制的 I/O 信号等。数控机床的运行处于不断地计算、输出、反馈等控制过程中，从而保证刀具和工件之间相对位置的准确性，其工作原理如图 1-1 所示。

