



教育部高等职业教育
示范专业规划教材

数控技术专业



数控机床与编程

刘战术 主编

SHUKONG JICHUANG YU BIANCHENG



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



教育部高等职业教育示范专业规划教材
数控技术专业

数控机床与编程

主 编 刘战术
副主编 卢文澈
参 编 苏会林 林新贵
主 审 窦 凯



机械工业出版社

本书通过介绍数控机床的数控系统和机械结构,构成了关于数控机床的基本知识体系。在此基础上,针对数控车床、数控铣床及电火花加工机床的不同特点,给出了详细的加工指令介绍和编程加工实例。书中的编程实例均由编者在相应的数控设备上验证通过,实例中还提出了保证加工精度和表面粗糙度的基本措施。全书按照数控机床的原理与结构及数控机床的程序编制两个版块展开,分别进行了论述。

本书内容简明扼要、浅显易懂、理论结合实践,是一本针对性和实用性较强的高职高专教材。本书可作为数控技术专业、机电一体化专业和机械制造专业的数控机床与编程教材,可作为初、中、高级数控技术从业者的自学和培训用书,也可作为从事数控机床销售与维护服务的工程技术人员参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控机床与编程/刘战术主编. —北京:机械工业出版社,
2008.8

教育部高等职业教育示范专业规划教材. 数控技术专业
ISBN 978-7-111-24555-1

I. 数… II. 刘… III. 数控机床-程序设计-高等学校:
技术学校-教材 IV. TG659

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第096787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:郑丹

责任编辑:章承林 版式设计:霍永明 责任校对:吴美英

封面设计:鞠杨 责任印制:邓博

北京京丰印刷厂印刷

2008年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·17.75印张·435千字

0 001—4 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-24555-1

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 68354423

封面无防伪标均为盗版

前 言

进入 21 世纪,我国已经成为世界上重要的经济地区。为提高产品的质量和生产效率,许多大企业纷纷引进了大量具有世界先进水平的机械制造设备,从而使作为国民经济基础的制造业,呈现出日新月异的局面。数控技术是现代制造技术的典型代表,对我国的工业及科技进步和发展具有巨大的推动作用。经济的快速发展向高等学校提出了培养大量掌握先进科学知识、具有一技之长的专门技术人才的要求。据有关部门统计,未来几年与数控技术应用相关的人才需求将有数十万之巨。为适应数控技术教学和人才培养的需求,探索技能人才的培养途径,我们编写了本书。本书在第一版块中详细介绍了常用数控机床的电控系统和机械结构,为数控机床的使用及维护打下基础;在第二版块中详细介绍了数控车床和数控铣床编程的基本方法,并通过实例进行了深入浅出的介绍。书中介绍的结构和实例均有详细说明,力求通过对实例的介绍使初学者能以较快的速度掌握有关数控机床结构和编程的基本知识。

本书作为教材,以理论联系实际为指导、以加工技术的应用为目标,把熟悉原理结构和掌握数控机床的编程方法作为学习的基本要求。在内容上力求体系完整,内容丰富,通俗易懂,具有实际指导意义。全书共分八章,主要内容有:机床数控系统和伺服系统、数控机床的机械系统、数控机床的选型与维护、数控车床编程、数控铣床编程等。

本书主要供高职高专院校机、电类专业开设数控机床与编程课程教学使用,也可供从事数控加工与安装调试的工程技术人员使用。

本书由刘战术主编。具体编写分工为:刘战术编写第一章、第四章、第五章、第八章第三节,卢文澈编写第七章、第八章第一节、第二节,苏会林编写第二章、第三章,林新贵编写第六章。

本书在编写过程中参阅了国内外的有关资料,得到了许多专家和同行的支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。

本书由窦凯主审,他对体系结构和内容提出了许多宝贵意见,特此致谢。

由于编者的水平和时间有限,书中定有不少错误和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 数控机床概述	1
第一节 数控机床的发展趋势和特点	1
一、数控机床的发展趋势	1
二、数控机床的加工特点	4
三、数控机床的使用特点	5
第二节 数控机床的组成及工作原理	6
一、数控机床的组成	6
二、数控机床的工作原理	8
第三节 数控机床的分类	9
一、按工艺用途分类	9
二、按控制运动轨迹的能力分类	10
三、按驱动装置的特点分类	11
第四节 先进制造技术简介	13
一、自适应控制制造系统	13
二、直接数字控制系统 (DNC)	14
三、柔性制造系统 (FMS)	15
四、计算机集成制造系统 (CIMS)	16
习题	17
第二章 数控机床的数控系统	18
第一节 数控系统概述	18
一、数控系统的发展历程	18
二、数控系统的发展趋势	18
三、数控系统的分类	20
四、数控系统主要技术指标	22
第二节 CNC 系统的构成及工作原理	24
一、数控系统的组成	24
二、数控系统的硬件结构	25
三、数控系统的软件构成	28
四、计算机数字控制装置的工作原理	29
第三节 数控系统的插补原理	30
一、插补的概念、任务及分类	30
二、逐点比较法	31
三、数字积分插补法	37
四、扩展 DDA 法	43
第四节 数控系统的可编程序 控制器 (PLC)	45
一、PLC 与 CNC 的关系	46

二、PLC 的主要功能	47
第五节 数控机床常用的数控系统	49
一、FANUC 数控系统	49
二、SIEMENS 数控系统	51
三、华中数控系统	53
习题	55
第三章 数控机床伺服系统	56
第一节 数控机床伺服系统的组成及分类	56
一、数控机床伺服系统的组成	56
二、数控机床对伺服系统的要求	57
三、数控机床伺服系统的分类	58
第二节 步进伺服系统	62
一、步进电动机的种类、结构 及工作原理	63
二、步进电动机的特性及选用	64
三、步进电动机的驱动电源	68
第三节 直流伺服系统	72
一、直流伺服电动机的分类	72
二、永磁直流伺服电动机	72
三、直流伺服电动机的调速方法	74
四、直流伺服电动机的调速控制系统	75
第四节 交流伺服系统	80
一、交流伺服电动机	80
二、交流伺服电动机的调速方法	82
三、交流变频调速系统	83
第五节 数控机床的检测装置	87
一、检测装置的要求及分类	87
二、旋转变压器	88
三、感应同步器	91
四、光栅	93
五、编码器	96
习题	98
第四章 数控机床的机械系统	100
第一节 机械系统概述	100
一、数控机床机械系统的组成	100
二、数控机床机械系统应满足的要求	100
第二节 数控机床的主传动系统	102
一、主传动系统的特点	102



二、主传动系统的基本结构	103	三、数控车床坐标系	154
三、主轴的准停	106	四、程序段格式	156
第三节 数控机床的进给传动系统	106	五、程序编制中的工艺处理	159
一、进给传动系统的要求	106	第二节 编程指令及使用方法	162
二、滚珠丝杠	107	一、M 指令介绍	162
三、导轨	110	二、G 指令介绍	163
第四节 数控机床的回转工作台	113	三、简单固定循环功能指令	172
一、数控机床分度工作台结构	113	四、复合切削循环	175
二、数控机床回转工作台结构	114	五、刀具补偿	180
三、工作台交换装置的结构	116	第三节 数控车床的编程实例	183
第五节 数控机床的刀库	118	一、轴类零件的数控车削加工	183
一、数控机床自动换刀的方式	118	二、套筒类零件的数控车削加工	187
二、数控车床刀架结构	119	习题	190
三、加工中心的刀库及刀具交换装置	123	第七章 数控铣床程序编制	192
四、数控机床的刀具系统	128	第一节 数控铣床的编程基础	192
习题	130	一、数控铣床的坐标系	192
第五章 数控机床的选型、验收及		二、数控铣床的主要功能	194
故障维修	131	三、数控铣床加工工艺分析	196
第一节 数控机床的选型	131	第二节 数控铣床的编程指令	202
一、选型的一般原则	131	一、加工程序的基本结构	202
二、选型应考虑的因素	131	二、铣床基本编程指令	207
第二节 数控机床的安装与调试	133	第三节 数控铣床的编程实例	226
一、安装前的准备工作	133	一、平面轮廓零件的加工	226
二、数控机床的安装	133	二、型腔零件的加工	230
三、数控机床的调试	134	习题	239
第三节 数控机床的验收	135	第八章 电火花加工机床程序编制	241
一、数控机床几何精度验收	135	第一节 电火花加工机床概述	241
二、数控机床定位精度验收	139	一、电火花加工机床的分类	241
三、数控机床的加工精度验收	140	二、电火花加工机床的应用范围	241
第四节 数控机床的参数设置与调整	141	第二节 电火花线切割机床编程	242
一、数控机床机械参数的设置	141	一、电火花线切割机床的编程	242
二、数控机床伺服系统参数设置	144	二、电火花线切割机床工作	
第五节 数控机床的故障诊断与维修	145	参数的选择	248
一、数控机床故障的类型	146	三、数控电火花线切割机床加工	
二、数控机床故障诊断的原则	147	编程实例	250
三、数控机床故障诊断的一般方法	148	四、线切割加工的工艺处理	252
四、数控机床故障诊断举例	150	第三节 电火花成形加工	257
习题	151	一、电火花成形机床组成及功能	257
第六章 数控车床程序编制	152	二、电火花成形机床操作	262
第一节 数控车床编程概述	152	习题	272
一、程序编制的基本步骤	152	参考文献	275
二、程序编制方法	154		

第一章 数控机床概述

数控加工机床是一种高效自动化机械加工设备，广泛应用于制造业的各个领域。数控技术和数控装备是制造业现代化的重要基础，直接影响到一个国家的经济发展和综合国力，对国家的经济建设和国防建设具有重要的战略意义。因此，世界上许多工业发达国家均采取措施大力发展本国的数控机床及相关产业。

数控机床工作时，严格按照预定的加工程序，对工件进行自动加工。数控机床的系统软件可以识别按照数控系统编程规则编制的数控加工程序。数控加工程序可由手工编制或由自动编程软件自动生成。

数控技术伴随着计算机技术、控制技术的发展而迅速发展，目前，数控机床的性能越来越好、功能越来越多、性价比越来越高，在现代制造业中迅速普及。

第一节 数控机床的发展趋势和特点

一、数控机床的发展趋势

数控机床是将计算机技术和自动控制技术综合应用于机床上逐渐发展起来的。从 20 世纪 50 年代中期世界上第一台数控机床诞生到今天，数控机床经历了电子管时代、晶体管时代、集成电路时代，发展到目前基于工业控制计算机构建的高性能、高可靠性控制系统时代，数控系统的控制方式也由早期的硬件控制为主变化为目前的以高性能计算机为基础的软件控制为主。

数控机床使传统的制造业发生了革命性的变化，在单件小批、形状复杂零件的高精度自动化加工方面表现出无与伦比的优势。随着技术的进步，机械制造业对数控机床的要求越来越高，数控机床也因适应需求的变化而发展得越来越快，并呈现如下趋势：

1. 高速度、高精度化

高速度指的是高的主轴旋转速度、快的进给轴移动速度和高的换刀速度（即短的换刀时间或刀架转位时间）。高的主轴转速能提高切削效率和改善加工表面的加工质量；高的换刀速度能有效地缩短辅助时间；高的快速移动速度不仅能减少非切削工时比例，而且能相应地提高切削进给速度，从而有利于提高数控机床的切削效能。因此，全面高速化能大大提高机床的工作效能。随着近年来市场竞争的加剧，数控机床全面高速化的发展趋势更为明显。图 1-1 所示为中、小型加工中心发展历程的有关数据。

高精度化是指提高数控机床的加工精度。在控制系统方面，采取高性能的计算机提高位置控制时插补计算的速度，改善伺服运算滞后对控制过程的影响；使用新的曲线插补算法减少插补误差的产生；提高数控系统的最小控制单位（目前最小控制单位已经达到 $0.01 \sim 0.1 \mu\text{m}$ ）。在伺服系统方面，使用全数字化的位置和速度控制，利用先进的控制理论提高伺服系统的跟随精度，最大限度地消除数控系统和伺服系统执行件之间的位置滞后误差，并且采用分辨率更高的位置编码器进行位置环监测。采取以上措施并配合机械构件的动、静态刚

度的提高，中、小型数控机床的定位精度可以达到 3 ~ 4 μ m，重复定位精度可以达到 1 ~ 3 μ m。

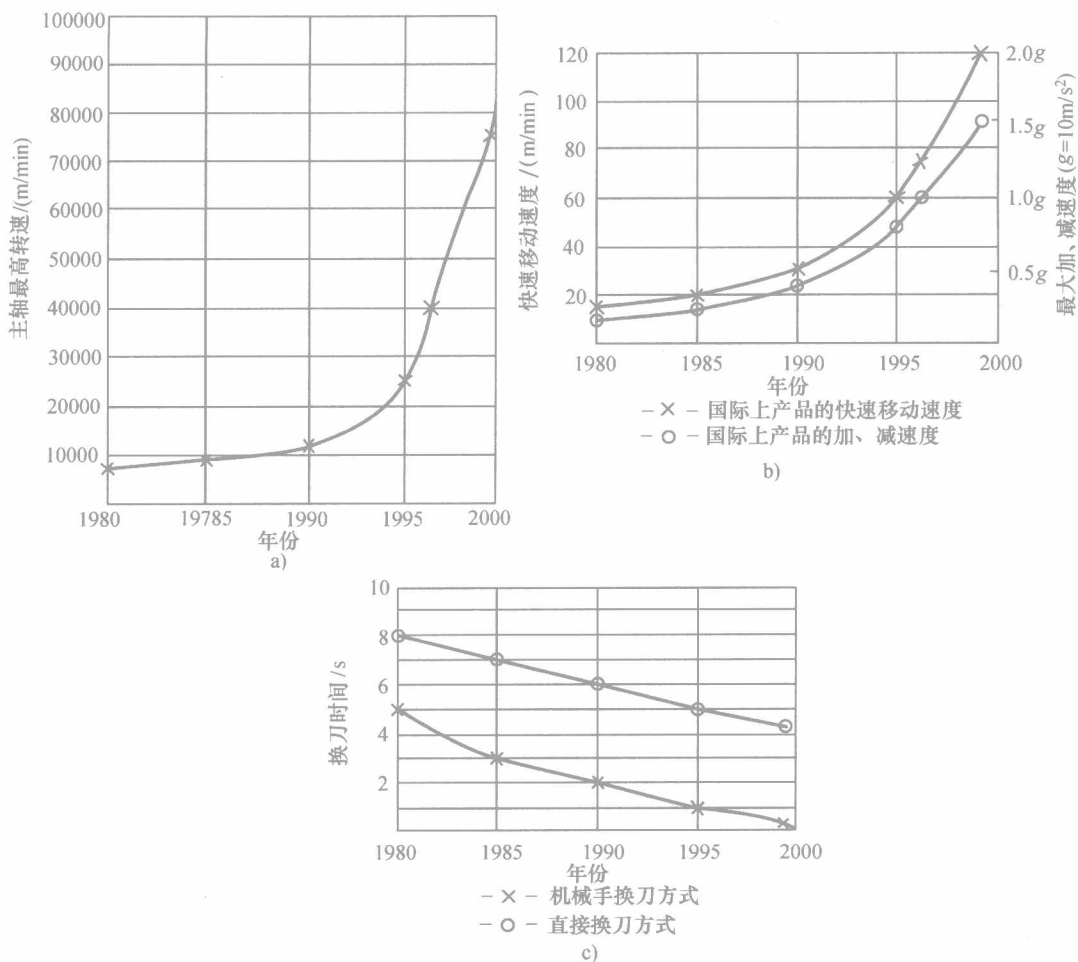


图 1-1 中、小型加工中心发展历程
a) 主轴最高转速 b) 快速移动速度及加速度 c) 换刀时间

2. 高可靠性

数控机床的价格较高，自动化程度高，企业为缩短投资的回收周期，通常采用每天 2 班共 16h 的工作制。数控机床能否发挥其高性能、高精度、高效率的优势，并获得良好的经济效益，关键取决于其可靠性。

衡量数控机床可靠性的重要指标是数控机床的平均无故障工作时间（小时数）。数控机床是由数控系统、强电控制系统、液压传动系统等组合而成的，整机可靠性指标要低于组成数控机床的任何一个单个系统的可靠性指标。统计结果显示，数控机床的平均无故障工作时间通常比数控系统要低一个数量级。因此，提高数控机床的可靠性，关键在于提高组成数控机床的各个系统的可靠性，特别是数控系统的可靠性。

数控系统的可靠性近年来有了长足的发展，在 20 世纪 70 年代大于 3000h，20 世纪 80

年代大于 10000h, 20 世纪 90 年代已经提高到 30000h 以上, 并且有继续提高的趋势。有资料介绍, 某数控系统的可靠性指标已经达到 60000h。

3. 机床功能的复合化

数控机床功能的复合化是指为了提高工件加工效率、减少辅助时间, 在一台数控机床上设置多种工艺方法的复合能力。在复合化数控机床上可以完成车、铣、镗、钻等多种工序加工, 消除了单一功能数控机床工艺范围的局限性, 可代替多台机床实现机械零件的多工序一次装夹加工。这种方式既能减少装卸时间、提高机床生产效率、减少半成品库存量, 又能保证加工零件的位置精度, 降低产品加工的成本。目前, 世界各国的数控机床制造厂商均竞相研制开发具有复合功能的数控机床, 如车铣复合数控机床(见图 1-2)、内外圆磨削数控机床。

功能复合化数控机床以车、铣加工功能复合的产品为最多, 这类机床通常以车削功能的实现作为机床设计之重点, 而铣、镗加工功能则放在次要位置。如某公司的 INTEGREX—380Y 车铣复合数控机床, 设置有可安装 80 把刀的链式刀库, 具有复合工序加工能力; 转塔刀架上设置有铣削动力刀具(15kW、6000r/min 的铣削刀头), 可以进行重负荷铣削; 数控机床具有 C 轴和 Y 轴(行程 21mm)功能; 机床主轴功率为 22.5kW, 转速 3500r/min。该机床适宜加工大型轴类(如火力发电机主轴 $\phi 610\text{mm} \times 1060\text{mm}$)零件。

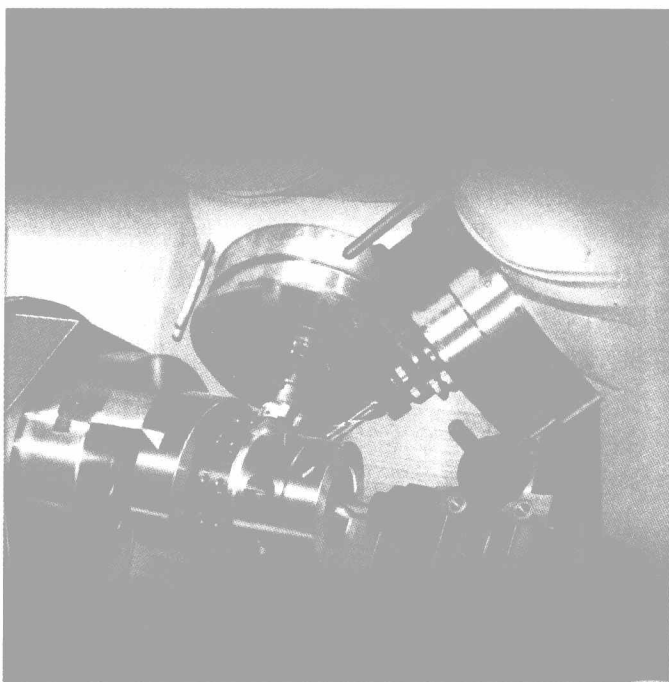


图 1-2 车铣复合数控机床

有的车铣复合加工中心设置有复合溜板箱, 在上溜板箱上安装多个纵向动力刀头和横向动力刀头, 并增加 B 轴功能, 用以满足更多的加工需要。这类复合数控机床加工功能增加后, 由于结构的复杂程度增加, 其制造难度也大大增加。

4. 智能化、网络化、柔性化

智能化是指数控机床控制加工精度和加工效率的智能化, 比如在加工过程中使用自适应控制模式、工艺参数的自动生成等技术, 在应用层面上改善数控机床的使用; 在数控系统方面使用智能化的负载自动识别、电动机参数自适应运算调整、自动选定工作状态等技术, 使数控机床的安装调试更有效; 在数控机床的编程方面, 数控系统设置有图形绘制指令, 可在数控系统上生成二维或三维的加工图形, 并直接自动生成加工的数控程序, 使数控机床操作的便利性大大增加。

网络化是 21 世纪数控机床的必备功能之一, 极大地满足了制造系统、生产线、制造企

业对信息集成的需求,使得企业和企业之间可以进行跨地域的协同设计、协同制造、信息共享、远程监控及远程服务,并且极大地便利了企业的供销和售后服务。具有网络功能的数控机床在发生故障时可以启动在线诊断功能,在制造厂商和机床用户之间实现远程诊断。

通过高速、高效的网络信息传输技术,数控机床的远程诊断功能可使管理人员随时随地了解由数控机床组成的生产系统中任何一台数控设备的工作状态,掌握生产过程的实际进度,并将其作为经营决策的依据。通过网络传送的生产过程信息分类、处理、集成,构成了柔性自动化生产的基础,是先进制造技术领域的基础技术。目前,世界各国都在进行这方面的大量研究,以期提高由数控机床组成的柔性自动化系统的可靠性及实用化程度,并以联网和集成作为主要研究目标和突破口。

二、数控机床的加工特点

由于使用了计算机信息处理、自动控制、网络通信等先进的工业技术,数控机床在现代制造业中具有普通机床所无法比拟的优势,其加工特点如下:

1. 对加工对象的适应性强

使用普通机床加工机械零件,必须按照零件的特征设计专用夹具和工具,并对机床进行调整,当更换零件时所有的工、夹具都将更换。利用数控机床加工就可以消除这些因素对生产的影响,只需更换零件的加工程序,根据要求在数控机床的刀库中添置符合相应工步要求的刀具,即可迅速完成生产的组织工作;数控机床使用的夹具通常都是简单容易制造的通用夹具,可节省大量的工艺装备费用;数控机床本身具有的位置干涉检测功能,在调试时就可以判断刀具非加工部位在加工中是否会与工件碰撞,使加工的调试过程更简单易行。

2. 加工精度高

数控机床使用低摩擦因数的滚动导轨及滚珠丝杠进行加工运动的传递,加工过程中数控系统向伺服装置以数字方式发出位置控制指令,由伺服装置完成执行件的正确位置定位。目前,数控装置的脉冲当量一般都达到了 0.001mm ,而且运动执行机构的误差(如反向间隙误差、丝杠的螺距误差等)均可以通过数控系统的误差补偿功能予以消除,因此,数控机床在理论上能够达到较高的加工精度。在工业应用的数控机床中,由于其机械结构刚性的差异、数控系统控制运算的误差参数设置不同,其结构精度也各不相同。

对于国产的中小型数控机床,定位精度普遍可以达到 0.01mm ,重复定位精度可以达到 0.008mm ,并且在自动化加工的过程中消除了操作者人为因素引起的操作误差,因此,同一批加工零件的尺寸一致性好,产品合格率高,加工质量十分稳定。

近年来,随着数控技术的高速发展,在数控机床上开发了许多提高加工精度的技术,如刀具磨损控制技术、高阶曲线插补加工控制技术等,极大地改善了数控加工的表面质量,提高了复杂零件曲面加工的效率 and 轮廓的加工精度。

3. 生成效率高

零件加工所需的时间包括加工时间和辅助时间两部分,缩短这两部分时间即是提高生产效率。数控机床能够有效地减少这两部分时间,因而加工生产率比普通机床高得多。数控机床在加工的过程中可以通过对主轴转速和伺服进给速度的实时调节,使加工过程处于最佳切削状态,并且由于数控机床具有经过优化设计的高刚性结构,允许在加工过程中使用强力切削规范,有效地节省了加工时间。自动换刀功能使得工序间的转换自动完成,辅助时间大大缩短。新型数控机床的数控系统开发有学习功能,操作者在加工零件时启动该功能,经过几



个零件的加工，数控系统就能够对操作者使用的加工参数进行综合处理，并形成针对该种零件的最佳切削规范储存于数控系统的专家库中，供以后加工时调用。

数控机床在一次装夹后，可以完成同一个加工面或几个加工面的多个几何要素的加工，减少了重复装夹和安装的辅助时间；数控机床在更换加工对象时几乎不需要重新调整机床，可以节省用于停机进行零件安装调整的时间；数控机床自身的自动换刀系统也使更换刀具的时间大大缩短，同时减少了零件半成品的周转时间和费用。在新型的加工中心上，自动换刀时间已经提高到屑一屑时间为0.6s。

4. 自动化程度高、劳动强度低

数控机床的加工过程是按照事先设定好的程序自动加工完成的，操作者除了装卸工件、进行面板操作，以及对零件的关键工步的加工尺寸进行测量外，不需要进行繁重的重复性手工操作，其劳动强度和紧张程度均可大大减轻。另外，数控机床一般具有良好的安全防护、自动排屑、自动冷却润滑功能，使操作者的劳动条件大为改善。

5. 良好的经济效益

数控机床制造成本高、使用费用高，分摊在每个零件上的综合费用比普通机床高。但在新产品试制、单件、小批生产情况下，使用数控机床可以节省大量的工艺装备费用及辅助生产工时；加工复杂曲面的零件时，其加工精度、生产效率和零件的成品率也大大高于普通仿形机床。因此，从综合效益计算，数控机床加工具有更多的优势。

6. 便于生产管理的现代化

数控系统的核心是计算机，随着计算机功能的迅速发展，数控系统的功能也变得越来越强大，除能够完成常规的数控功能外，还能够完成零件加工时间的准确计算及零件半成品的管理工作，根据需要还可将统计结果通过数控系统的网络接口向更高一级管理计算机发送，便于管理层能随时准确地获得生产一线的资料。

三、数控机床的使用特点

1. 数控机床对操作应用、维修人员的要求

由于数控机床的控制系统以计算机为核心，采用了现代通信技术和伺服控制技术，控制系统的复杂程度高，数控机床的精度高，因此，数控机床的使用不是简单的设备使用问题，而是一项综合性技术应用工程，这就要求数控机床的操作人员、维修人员及管理人员必须具有丰富的相关技术知识和较高的技能水平。

数控机床的加工过程根据程序自动进行，在零件形状不太复杂的情况下，可由操作人员手工或者利用计算机编制程序。程序的设计直接影响数控机床的加工，因此，程序的编制既有一定的技术理论又有一定的技巧。所以，数控机床的操作人员除应具有一定的工艺知识和编程知识外，还应对数控机床的结构特点、工作原理作深入了解，并在程序编制方面进行专门的针对性培训，经考核合格后才能上机操作。当零件的形状比较复杂时，手工编程就很困难，而且往往无法实现。因此，必须采用计算机自动编程，一般需配备专门的程序设计人员。

正确维护和有效维修是使用数控机床的一个重要问题。数控机床的维修人员应具有较全面的理论知识和较高的维修技能，不但要熟悉数控机床的结构、电气原理，还应有比较丰富的机、电、气、液专业知识，这样才能综合分析，判断出故障源，正确维修，从而尽可能地缩短停机时间。数控机床的维修人员和操作人员一样，也必须进行专门的培训。

2. 数控机床对夹具和刀具的要求

数控机床在单件生产时一般采用通用夹具。当批量生产时，为了节省加工辅助时间，应采用专用夹具。数控机床的夹具应定位可靠，可自动夹紧或松开工件，同时应具有良好的排屑、冷却功能。

数控机床属于高效加工机床，其刀具应具有以下特点：较高的精度、刚性和较长的刀具寿命；稳定的几何尺寸、变化小；刀具能实现机外预调或对刀，安装刀具的刀柄应具有通用性，能适应快速换刀要求；刀具的切削部位可较好地控制切屑的折断、卷曲和排出，并具有良好的冷却性能。

第二节 数控机床的组成及工作原理

一、数控机床的组成

数控机床是典型的机电一体化设备，通常由机床本体、输入输出装置、CNC 单元、伺服系统、位置检测装置等构成。数控机床虽然种类繁多，但其基本构成大致相同，如图 1-3 所示。

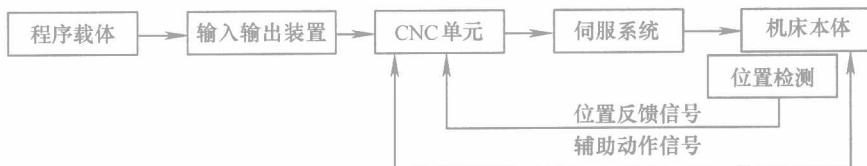


图 1-3 数控机床的组成

1. 程序载体

程序载体用于记录数控机床加工零件所需的程序。程序载体按照特殊的格式和代码记录程序并通过专用的装置传送。目前，在数控机床上常用的程序载体有软盘、磁带、闪存卡等。闪存卡由于存储容量大、数据交流迅速、记录可靠、使用寿命长，在使用开放式数控系统的新型数控机床上开始广泛使用。

2. 输入输出装置

输入装置是人与机床建立联系的主要途径。它的作用是将程序载体上的程序完整、正确地输入到数控机床的 CNC 单元中（或从 CNC 中保存到载体上）。根据程序载体的不同，需要不同的输入装置，如使用软盘作为程序载体，输入装置是软盘驱动器；如使用磁带，输入装置就是磁带读入机；如使用闪存卡，就必须有专用程序支持的计算机闪存卡接口。

在先进的数控机床上，加工程序还可以通过网络从程序设计室直接传送到数控机床的内存中，此时数控机床作为计算机网络的一台服务器存在，程序设计人员可以向数控机床上传、下载或删除数控机床内存中的程序，但正在使用的零件加工程序将被锁定，不能执行任何操作。

最常见的输出装置是显示器，数控系统可以通过显示器为操作人员提供必要的信息，如机床状态、加工程序、位置坐标、报警信息等。

3. CNC 单元



CNC 单元是数控机床的核心，它由信息的输入、处理和输出三个部分组成，如图 1-4 所示。信息输入部分的功能是接收外来信息，包括：NC 程序、PLC 输入信号、面板操作信号等，是数控机床工作的基础信息；信息处理部分是指 CPU，它将输入信息分类、处理，并向输出部分发出控制信号；信息输出部分与主轴系统、坐标轴伺服系统、PLC 控制的辅助功能部件等连接，将 CPU 的控制指令转换为各个功能部件能接受的控制信号，使其完成预定的控制功能。CNC 单元的输入部分和输出部分传输同时进行。

目前，CNC 单元中使用的 CPU 性能有了大幅提高，已经从早期的 16 位 CPU 提高到 32 位，在新型的数控系统中大部分已经使用 64 位 CPU 来解决大量的数据运算和图形解析问题。在一些特殊要求的数控系统中也可以使用多 CPU 协同工作，以进一步加快信息的处理速度。

4. 伺服系统和位置检测装置

伺服系统用于完成坐标轴的运动控制，是数控机床的重要组成部分。伺服系统和普通机床的进给系统有本质的区别：普通机床的进给系统只能传送恒定的驱动力和速度，不能接收随机信号对其运动过程进行修正；而伺服系统本身是一个完善的自动控制系统，在接受数控系统传递的控制信号后，对信号进行处理，可以根据信号的要求以不同的速度和驱动力驱动坐标轴运动。

伺服系统性能的高低会直接影响数控机床加工的速度、位置控制精度及工件的形状精度。在使用较多的交流伺服系统中，一些制造商已经在伺服系统内部设置了提高控制精度和防止产生机械振荡的电路和控制软件，在机床安装调试时伺服系统可以自动进行过程均衡。

位置检测装置是数控机床为提高加工精度而采取的必要措施。具有位置反馈系统的数控系统称之为闭环控制系统，数控系统直接获取坐标轴的位移量，控制更准确，有利于提高机床的加工精度。为了降低数控机床的制造成本，在中小型的数控机床上常借用坐标轴伺服电动机的角位移反馈信号，作为数控系统控制坐标轴的位置反馈信号，构成半闭环控制系统。半闭环控制系统由于是间接获得位移信号，存在转换误差，所以加工精度稍低。高档数控机床则使用位置检测装置直接检测位移信号，进行全闭环位置控制，加工精度高。

数控系统获取坐标轴的位置信号是为了和程序预定的位移量进行比较，以纠正运动控制过程中可能产生的误差。

5. 辅助控制装置

辅助控制装置通常是指在数控机床上为顺利完成加工过程而设置的功能构件。如自动换刀功能、自动排屑功能、加工过程中的冷却功能、加工工件的自动交换功能、电控箱的温度控制功能、主轴部件的恒温冷却功能等，这些功能的设置有利于数控机床在工作过程中，提高加工效率，降低发生故障的可能性，并更容易保证工件的加工精度。

辅助控制功能是衡量数控机床自动化程度的重要标志。

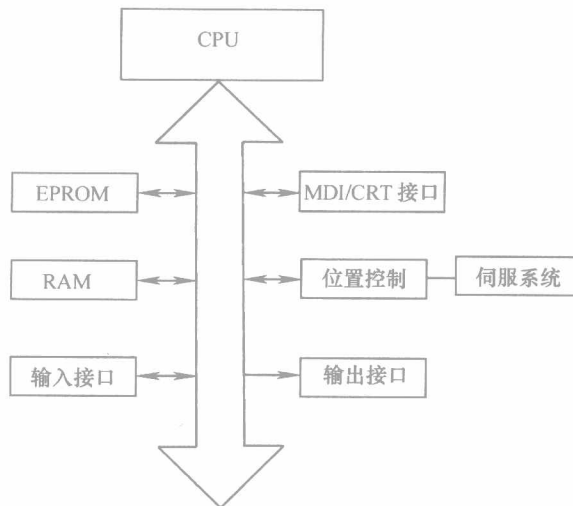


图 1-4 CNC 单元组成

6. 机床本体

机床本体是数控机床的机械构成，是数控机床的主体，所有运动的支承和实现均由机床本体完成。数控机床的加工能力和加工精度取决于机床本体的机械强度和刚性，高性能的数控系统必须有高性能的机床本体才能发挥作用。数控系统、液压系统、气压系统等均以机床本体为控制对象。

近年来，在新型精密数控机床上，为减少热变形对机床加工精度的影响，一部分数控机床制造商使用热伸长系数较小的非金属混合材料（如人造花岗岩）制造数控机床的床身。这项技术使机床基础件的制造难度降低，机床使用中不均匀热变形的影响减小，同时也提高了机床的抗振性。

在数控机床上使用伺服系统控制进给运动，使得机械传动结构更为简单，但对机械运动部件的制造精度要求更高。

二、数控机床的工作原理

数控机床的主要任务就是控制刀具和工件之间的相对运动，完成预定的加工任务。数控机床的工作原理如图 1-5 所示。数控机床在加工工件时通常需要经过以下步骤：

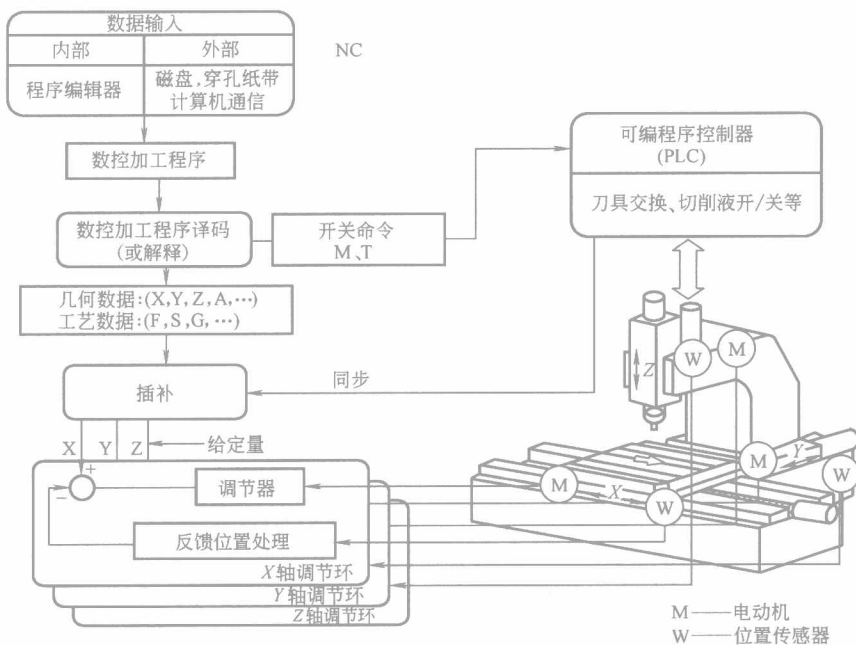


图 1-5 数控机床的工作原理

- 1) 制订工艺规程，编制 NC 加工程序。根据零件的特征确定几何要素、加工所需的刀具和切削用量，复杂曲面需要使用 CAM 软件自动生成。
- 2) 将 NC 程序通过输入装置传输到数控机床的 CNC 系统。
- 3) 数控加工时，CNC 系统分析加工程序段，并按要求将相应的驱动指令、控制数值传送到各个坐标轴的伺服系统及机床强电控制系统。
- 4) 伺服系统根据 CNC 发出的信号，驱动机床的移动部件，完成速度和位移要求，通过主运动和进给运动的配合加工出机械零件。
- 5) 机床的主运动和进给运动由设置在相应位置的位置编码器检测，并将其反馈给数控



系统，数控系统经过计算比较，决定运动的加速、减速、起动、停止等过程。

6) 机床辅助动作（如刀库自动换刀、切削液的自动喷射等）由数控系统的 PLC 直接控制。

7) 数控机床若在工作中出现异常状态，数控系统根据事先拟定的处理方案，发出报警信号并控制相应动作停止。

第三节 数控机床的分类

一、按工艺用途分类

1. 金属切削类数控机床

此类数控机床在工艺能力上与传统的金属切削机床类似，相对应的有数控车床、数控铣床、数控钻床、数控镗床、数控磨床、数控齿轮加工机床，以及针对具体行业设计的专用的数控机床。

通常在构建某一类型的数控机床时，会根据该类型机床的工艺特点重新设计其机械结构，以满足数控机床在自动工作时的结构和功能需求。同时，在机床零部件制造精度方面也会适当提高要求，即同类型数控机床可能达到的加工精度比普通机床要高。

为提高数控机床的生产效率，通常在数控机床上设置有可以储存几十到几百把刀具的刀库，供数控机床在加工过程中自动调用。数控机床安装刀库后习惯上称之为加工中心，即一次安装可以完成多道工序加工的机床，常见的有钻削加工中心、车削加工中心、镗铣加工中心，以及具有车削和铣削双重功能的车铣复合加工中心。使用加工中心可以有效避免工件多次装夹造成的安装定位误差，减少了完成工艺所需的机床台数和占地面积，大大提高了生产效率和加工质量，但加工中心的制造成本要比普通数控机床高出很多。

2. 板材成形类数控机床

板材成形类数控机床主要用于实现板材的剪裁成形和弯曲成形。目前常见的有数控冲床、数控折弯机等。

数控冲床是板材加工的有效工具，在专用数控系统的控制之下，使用特定曲率半径的冲模，可以在板材上完成圆形、方形以及函数曲线或不规则曲线的精密加工。通常，数控冲床的最大加工厚度为 8mm，可满足大部分板材的冲裁加工需要，其加工精度可达到 0.1mm 或更高，能够满足钣金加工的要求。

数控冲床通常配备十几套或几十套冲裁模具，在使用中根据加工内容的要求可以自动更换。数控冲床的控制系统通常具有自动排料功能，可在常用规格的板材上（如 1000mm × 2000mm、1200mm × 2400mm 等规格）以最高产出数量排料。

3. 特种加工数控机床

特种加工亦称“非传统加工”或“现代加工方法”，泛指将电能、热能、光能、电化性能、声能或其组合施加在工件的被加工部位上，从而实现材料被去除、变形、改变性能或被镀覆等的非传统加工方法。主要用于难加工材料（如钛合金、耐热不锈钢等）、难加工零件（复杂的三维型腔、低强度零件等）等的加工。常见的有数控激光加工机床、数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床等。

数控电火花线切割机床、数控电火花成形机床是模具制造行业的有效加工设备。

数控电火花线切割机床分快走丝和慢走丝两种。

快走丝机床使用往复快速运动的钼丝作为加工刀具，工作中钼丝的运动速度可以达到10m/s以上。由于其运动速度较高，对支承钼丝运动的滚轮的运动精度和使用寿命要求较高；同时，钼丝在高速运动时，由于受多种物理因素的影响，如支承滚轮的振动、加工中电火花局部爆炸引起的不平衡张力等，使处于切割区域的钼丝会产生径向振动，因此很难保证其准确的运动轨迹，特别是在型腔的角部很容易造成加工缺陷，故快走丝线切割机床的加工精度往往较低，常用于精度要求不高的零件加工。快走丝数控线切割机床功能比较单一，价格便宜。快走丝线切割机床常用的钼丝直径有0.15mm、0.18mm等规格，因受钼丝传导电流容量的影响（3~6A），快走丝线切割机床的加工效率稍低。

慢走丝线切割机床使用经过精密拉制的铜丝（或镀锌钢丝）作为切割加工刀具，加工中铜丝的运动速度最低只有20mm/s，大大低于快走丝线切割机床。作为加工刀具的铜丝为一次性使用。当传动铜丝的滚轮使用高精度轴承支承时，铜丝的运动精度大幅提高，可避免铜丝抖动对加工精度的影响；一次性使用的铜丝刀具，完全避免了因电火花烧蚀引起铜丝直径减小对加工精度的影响；通过“二次加工”或“多次加工”的方法，配合火花放电的能量控制系统，可以大大提高工件的直线度和表面加工质量。慢走丝线切割机床使用铜丝的直径可以达到0.3mm以上，可以通过高达10A的高频电流，其单位时间的金属去除率远高于快走丝线切割机床。

慢走丝线切割机床上有很多高效加工辅助功能，如加工中自动断丝、自动穿丝、加工能量控制、角部几何精度控制等。

二、按控制运动轨迹的能力分类

数控系统的本质是准确实现刀具相对于工件的运动轨迹，因此，按照数控系统能够实现的轨迹特征不同，就有不同控制能力的数控机床。

1. 点位控制数控机床

这类数控机床的特点是数控系统控制机床的运动部件从一个点到另一个点准确定位，在移动过程中不进行任何加工。数控系统只控制运动终点的坐标值，不控制点与点之间的运动轨迹，因此几个坐标轴之间不存在插补运算过程。根据数控系统的控制模式不同，移动时可以是几个坐标轴同时向目标点移动，也可以是各个坐标轴依次向目标点移动。

点位控制数控机床的数控系统控制功能简单、制造成本低廉，对运动驱动系统要求不高。

这类数控机床常见的有数控钻床、数控冲床等。

2. 直线控制数控机床

直线控制数控机床可以控制刀具相对于工件以适当的进给速度，沿着平行于坐标轴的方向进行直线运动或切削加工，进给速度根据切削条件在一定的范围内可以变化，即数控系统只具备单个坐标的运动控制能力，而不具备两个或多个坐标的协调控制能力。

直线控制数控机床可以是两坐标简易数控车床、简易数控铣床等。简易数控车床可以加工阶梯类零件，不能加工圆弧和倒角；简易数控铣床可以加工出和坐标轴相平行的矩形凸台和型腔。

直线控制数控机床具有点位控制数控机床的全部数控控制功能，通常这类机床的控制系统均做成具有点位/直线控制功能，但因系统不能实现两轴或多轴插补运算，使用范围有诸

多限制,不适合通用机床采用,但此类系统有较高的性价比。例如某公司生产的高精度专用数控磨床,为降低生产制造成本,经功能优化组合后机床仅使用一个坐标轴实现进给控制。目前,高性能的 PLC 设备配备伺服控制卡可实现坐标轴的位置伺服控制,而 PLC 控制又是磨床上使用较多的方式。这样,该数控磨床采取 PLC + 伺服控制卡的方案,大大降低了控制系统的成本。

3. 轮廓控制数控机床

轮廓控制也称连续控制,是指机床的数控系统具有能够对两个或两个以上坐标的位移和速度进行连续控制的能力,最终由坐标合成的轨迹能够满足零件轮廓的要求。这种系统不仅能够控制加工过程的起点和终点,而且能够控制整个轮廓加工中每一点的位移和速度。

常用的数控车床、数控铣床、数控磨床等均采用轮廓控制系统。

轮廓控制数控系统功能繁多、过程实现复杂,对控制系统硬件的要求较高。目前,数控系统多由工业计算机构成,具备高速处理数据的能力,可满足机床控制的要求。

三、按驱动装置的特点分类

1. 开环控制数控机床

开环控制数控机床的控制系统未安装位置检测单元,伺服驱动部件通常为步进电动机。工作时,伺服驱动系统根据数控系统发出的脉冲控制指令,带动进给丝杠转过相应的角度,实现移动部件的位移,移动部件的位移速度和位移量分别由数控系统发出的脉冲速率和脉冲数量决定。

在开环控制系统中,控制装置发出控制指令后,伺服驱动装置执行,实际移动的位置量和移动速度并未反馈给数控系统,即数控系统未对实际的位移量和移动速度进行实时检测,也不能进行误差的校正和补偿。因此,步进电动机的失步和螺距误差等将直接影响零件的加工精度。

开环控制数控机床具有系统结构简单、工作稳定、调试方便、维修简单、成本低等优点,在精度和速度要求不高、驱动力矩不大的场合有广泛应用,开环控制的经济型数控机床原理如图 1-6 所示。



图 1-6 开环控制数控机床原理图

2. 闭环控制数控机床

闭环控制数控机床的移动部件上安装有位移检测元件(旋转部件上安装有角位移检测元件),直接对工作台的实际位移进行检测,并将检测数据实时反馈给 CNC 装置。数控机床工作时向伺服系统发出位置控制指令,伺服系统驱动移动部件运动,CNC 装置同时接收移动部件当前位置信号,并将当前位置和指令位置比较,根据比较结果确定伺服系统的工作状态是加速运动、减速运动或停止。