

21

世纪高等职业技术教育规划教材

——机械工程类(数控专业)

SHUKONG SHEBEI TIAOSHI YU WEIHU

数控设备

调试与维护

主编 ■ 何龙



西南交通大学出版社

[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

21 世纪高等职业技术教育规划教材——机械工程类（数控专业）

数控设备调试与维护

主 编 何 龙

编 委 杨安春 宁振武

刘俊清 祁传琦

郭炳鳌

西南交通大学出版社

成 都

内 容 简 介

本书完全从应用的角度讲述数控技术。在典型数控系统中讲述了市场中常见的三种系统 SINUMERIK、FANUC、华中世纪星数控系统的典型结构及使用中的参数调整、系统数据的备份与恢复。从如何读懂和使用数控机床电气手册的角度讲述了数控机床电气控制系统。从数控机床基础、开箱、安装、空运行直到数控机床工作精度检验全过程,依据国家及相关行业标准进行讲述,比较了 VDI/DGQ3441、JIS B6336、NMTBA 1977 这三个行业中常见的验收标准的异同。简要介绍了数控机床的结构、维护和常见故障的处理。

本书可供高等职业技术学院、高等专科学校等院校的机电、数控及相关专业的学生作为教材,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

数控设备调试与维护/何龙主编. —成都:西南交通大学出版社, 2006.8

21世纪高等职业技术教育规划教材. 机械工程类. 数控专业

ISBN 7-81104-379-3

I. 数... II. 何... III. ①数控机床—调试—高等学校:技术学校—教材 ②数控机床—维修—高等学校:技术学校—教材 IV. TG 659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 104936 号

21 世纪高等职业技术教育规划教材

——机械工程类(数控专业)

数控设备调试与维护

主 编 何 龙

*

责任编辑 孟苏成

责任校对 李 梅

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

四川森林印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 9.75

字数: 241 千字

2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

ISBN 7-81104-379-3

定价: 18.00 元

图书如有印装问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

21 世纪高等职业技术教育规划教材——机械工程类（数控专业）

主编院校名单（排名不分先后）

成都航空职业技术学院

成都电子机械高等专科学校

中国工程物理研究院工学院

四川交通职业技术学院

四川机电职业技术学院

四川建筑职业技术学院

四川工程职业技术学院

四川工商职业技术学院

四川航天职业技术学院

泸州职业技术学院

前 言

数控技术已经用它所显示的效益和巨大潜力，引起整个制造业的普遍重视。它的广泛使用给制造业的生产方式、产品结构、产业结构带来了深刻的变化，是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。

本书着眼于行业应用较多、较广、较普遍的数控机床和系统，力求接近工业应用实际情况，注重内容的实用性。我们广泛收集近期数控系统的相关资料，以及数控机床调试的相关经验，同时结合我国的国家标准、行业标准、行业中常用的国外标准，重点阐述了典型数控系统、数控机床电气控制系统、数控机床安装与调试、数控设备的维护与保养。

本书内容重点突出，强调理论知识与实践的结合，突出国家及行业标准的应用，文字简练，图文并茂。

参加本书编写的有何龙、杨安春、刘俊清、宁振武、祁传琦、郭炳鳌等。本书由何龙任主编，其中第1章、第5章由何龙编写；第2章由何龙、祁传琦编写；第3章由杨安春、郭炳鳌编写；第4章由杨安春编写；第6章由刘俊清编写；第7章由宁振武编写。全书由何龙负责统稿和定稿，刘建超教授主审。

限于编者的水平和经验所限，书中难免有欠妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2006年5月

目 录

第 1 章 概 论	1
1.1 数控机床的产生	1
1.2 数控技术的发展趋势	1
第 2 章 数控机床简介	4
2.1 数控机床的基本特点及组成	4
2.2 数控车床的特点及组成	8
2.3 数控铣床的特点及组成	10
2.4 加工中心的特点及组成	11
2.5 数控线切割机床	13
第 3 章 典型数控系统	15
3.1 概 述	15
3.2 西门子数控系统	16
3.3 典型数控系统之 FANUC 系统	22
3.4 华中数控系统	27
3.5 数控系统的数据备份与恢复	29
第 4 章 数控机床电气控制系统	35
4.1 概 述	35
4.2 PLC 在数控机床中的应用	35
第 5 章 数控机床的安装与调试	56
5.1 概 述	56
5.2 数控设备安装的准备工作	58

5.3	数控设备的开箱验收	62
5.4	数控设备的安装	65
5.5	数控设备的空运行与功能检验	67
5.6	数控机床的精度检验	77
5.7	数控机床的工作精度检验	91
第6章	数控机床的维护与保养	102
6.1	概 述	102
6.2	数控机床机械部分及辅助装置的维护与保养	105
6.3	数控系统的维护与保养	107
6.4	数控机床强电控制系统的维护与保养	109
6.5	数控机床的安全操作规程	110
第7章	数控机床常见故障的处理	113
7.1	概 述	113
7.2	FANUC Oi 系统常见故障的诊断和处理	125
7.3	SINUMERIK 840 D 系统常见故障的诊断和处理	135
	参考文献	147

第1章 概论

[主要内容]

1. 简略讲述数控机床的产生；
2. 简略讲述数控技术的发展趋势。

[教学目标]

1. 了解数控机床的产生；
2. 了解数控技术的发展趋势。

1.1 数控机床的产生

采用数字控制 (NC, Numerical Control) 技术进行机械加工的思想, 最早是于 20 世纪 40 年代初提出来的。

1952 年, 美国麻省理工学院成功地研制出一台数控铣床, 这是公认的世界第一台数控机床, 当时用的电子元件是电子管。

1958 年, 开始采用晶体管元件和印刷线路板。美国出现带自动换刀装置的数控机床, 称为加工中心 (MC, Machining Center)。从 1960 年开始, 其他一些工业国家, 如联邦德国、日本也陆续开发生产出了数控机床。

1965 年, 数控装置开始采用小规模集成电路, 使数控装置的体积减小、功耗降低及可靠性提高, 但仍然是硬件逻辑数控系统。

1967 年, 英国首先把几台数控机床连接成具有柔性的加工系统, 这就是最初的柔性制造系统 (FMS, Flexible Manufacture System)。

1970 年, 美国芝加哥国际机床展览会首次展出用小型计算机控制的第一台计算机数字控制 (CNC, Computer Numerical Control) 的数控机床。

1974 年, 微处理器用于数控装置, 促进了数控机床的普及应用和数控技术的发展。

在 20 世纪 80 年代后期, 出现了以加工中心为主体, 再配上工件自动检测与装卸装置的柔性制造单元 (FMC, Flexible Manufacture Center)。FMC 和 FMS 技术是实现计算机集成制造系统 (CIMS, Computer Integrated Manufacture System) 的重要基础。

1.2 数控技术的发展趋势

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,其对一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展也起着越来越重要的作用。从目前世界上数控技术及其装备发展的趋势来看,其主要研究热点有以下几个方面:

1.2.1 高速、高精加工技术及装备

效率、质量是先进制造技术的主体。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。为此,日本先端技术研究会将其列为5大现代制造技术之一,国际生产工程学会(CIRP)将其确定为21世纪的中心研究方向之一。

在轿车工业领域,年产30万辆的生产节拍是40s/辆,而且多品种加工是轿车装备必须解决的重点问题之一;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,才能对这些薄筋、薄壁进行加工。近来采用大型整体铝合金坯料“掏空”的方法来制造机翼、机身等大型零件,替代多个零件通过众多的铆钉、螺钉和其他联结方式拼装,使构件的强度、刚度和可靠性得到提高。这些都对加工装备提出了高速、高精和高柔性的要求。

从EMO(国际机床博览会)2001展会情况来看,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。目前,世界上许多汽车厂,包括我国的上海通用汽车公司,已经采用以高速加工中心组成的生产线部分替代组合机床。美国CINCINNATI公司的HyperMach机床进给速度最大达60m/min,快速为100m/min,加速度达2g,主轴转速已达60000r/min。加工一薄壁飞机零件,只用30min,而同样的零件在一般高速铣床加工需3h,在普通铣床加工需8h;德国DMG公司的双主轴车床的主轴速度及加速度分别达12000r/min和1g。

在加工精度方面,近10年来,普通级数控机床的加工精度已由10 μm 提高到5 μm ,精密级加工中心则从3~5 μm ,提高到1~1.5 μm ,并且超精密加工精度已开始进入纳米级(0.01 μm)。

在可靠性方面,国外数控装置的MTBF(Mean Time Between Failures,平均故障间隔时间)值已达6000h以上,伺服系统的MTBF值达到30000h以上,表现出非常高的可靠性。

为了实现高速、高精加工,与之配套的功能部件如电主轴、直线电机得到了快速的发展,应用领域进一步扩大。

1.2.2 5轴联动加工和复合加工机床

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,不仅光洁度高,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。过去,因5轴联动数控系统、主机结构复杂等原因,其价格要比3轴联动数控机床高出数倍,加之编程技术难度较大,制约了5轴联动机床的发展。

现在,由于电主轴的出现,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。

在EMO2001展会上,新日本工机的5面加工机床采用复合主轴头,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。德国 DMG 公司展出 DMU Voution 系列加工中心,可在一次装夹下 5 面加工和 5 轴联动加工,可由 CNC 系统控制或 CAD/CAM 直接或间接控制。

1.2.3 智能化、开放式、网络化

21 世纪的数控装备将是具有一定智能化的系统,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;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、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;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。

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,目前,许多国家开始对开放式数控系统进行研究,如美国的 NGC(The Next Generation Work-Station/Machine Control)、欧共体的 OSACA(Open System Architecture for Control Within Automation Systems)、日本的 OSEC(Open System Environment for Controller)、中国的 ONC(Open Numerical Control System)等,数控系统开放化已经成为数控系统的未来之路。所谓开放式数控系统就是数控系统的开发可以在统一的运行平台上,面向机床厂家和最终用户,通过改变、增加或剪裁结构对象(数控功能),形成系列化,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,形成具有鲜明个性的名牌产品。目前,开放式数控系统的体系结构规范、通信规范、配置规范、运行平台、数控系统功能库以及数控系统功能软件开发工具等是当前研究的核心。

网络化数控装备是近两年国际著名机床博览会的一个新亮点。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。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,如在 EMO2001 展中,日本山崎马扎克(Mazak)公司展出的“Cyber Production Center”(智能生产控制中心,简称 CPC);日本大隈(Okuma)机床公司展出“IT Plaza”(信息技术广场,简称 IT 广场);德国西门子(Siemens)公司展出的 Open Manufacturing Environment(开放制造环境,简称 OME)等,反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

第 2 章 数控机床简介

[主要内容]

1. 阐述数控机床的基本特点及组成；
2. 几种常见数控机床。

[教学目标]

1. 掌握数控机床的基本特点及组成；
2. 了解几种常见的数控机床。

2.1 数控机床的基本特点及组成

随着科学技术的飞速发展和经济竞争的日趋激烈，产品更新速度越来越快，复杂形状的零件越来越多，精度要求越来越高，多品种、小批量生产的比重明显增加，激烈的市场竞争使产品研制生产周期越来越短。传统的加工设备和制造方法已难以适应这种多样化、柔性化与复杂形状零件的高速高质量加工要求。因此，近几十年来，世界各国都十分重视发展能有效解决复杂、精密、小批多变零件的数控加工技术，在加工设备中大量采用以微电子技术和计算机技术为基础的数控技术。目前，数控技术正在发生根本性变革，它集成了微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体，具有高精度、高效率、柔性自动化等特点，对制造业实现柔性自动化、集成化、智能化起着举足轻重的作用。

汽车、工程机械与家用电器等行业的产品零件，为了解决高产优质的问题，多采用专用的工艺装备、专用自动化机床或专用的自动生产线和自动化车间进行生产。但是应用这些专用生产设备，生产准备周期长，产品改型不易，因而使新产品的开发周期增长。在机械产品中，单件与小批量产品占到 70%~80%，这类产品一般都采用通用机床加工，当产品改变时，机床与工艺装备均需作相应的变换和调整。通用机床的自动化程度不高，基本上由人工操作，难以提高生产效率和保证产品质量，特别是一些由曲线、曲面轮廓组成的复杂零件，只能借助靠模和仿形机床，或者借助画线和样板用手工操作的方法来加工，加工精度和生产效率受到很大的限制。数控机床就是为了解决单件、小批量、特别是复杂型面零件加工的自动化并保证质量要求而产生的，它为单件、小批量生产的精密复杂零件提供了自动化加工手段。

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础，现代的 CAX (CAD、CAPP、CAM、CAE…)、FMS、CIMS 技术等，都是建立在数控技术之上，离开了数控技术，先进制造技术就成了无源之水、无本之木。同时，数控技术的利用关系到国家的战略地位，是体现国家综合国力水平的重要基础性产业，其水平高低是衡量一个国家制造业现代化程度的核心标志。实现加工机床及生产过程数控化，已经成为当今制造业的发展方向。

2.1.1 数控加工的特点

(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,由于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 mm ($1\text{ }\mu\text{m}$),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,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,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,同时还保证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,可以进行有效地冷却,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,因而加工生产效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、小批量生产情况下,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。

2.1.2 数控机床的工作原理和组成

用数控机床加工零件时，首先应将加工零件的几何信息和工艺信息编制成加工程序，由输入装置送入数控系统中，经过数控系统的处理、运算，按各坐标轴的分量送到各轴的驱动电路，经过转换、放大进行伺服电动机的驱动，带动各轴运动，并进行反馈控制，使刀具与工件及其他辅助装置严格地按照加工程序规定的顺序、轨迹和参数有条不紊地工作，从而加工出零件的全部轮廓。

数控机床具有很好的柔性，当加工对象变换时，只需重新编制加工程序即可，原来的程序可存储备用，不必像组合机床那样需要针对新加工零件重新设计机床，致使生产准备时间过长。

数控机床一般由输入装置、数控系统、伺服系统和机床本体（组成机床本体的各机械部件）组成。如图 2-1 数控机床组成示意图所示，仅由实线部分构成表示开环系统。为了提高加工精度，再加入测量装置，由虚线构成反馈，和实线一起构成闭环系统。

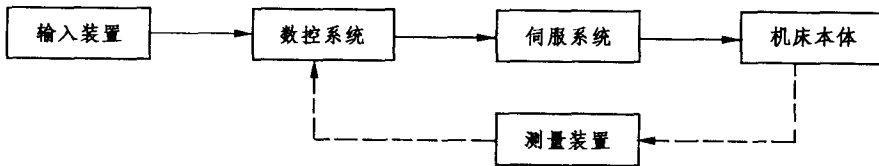


图 2-1 数控机床组成示意图

1. 输入装置

数控机床加工时，所需的各种控制信息要靠某种中间载体携带和传输，这种载体称作“控制介质”。控制介质是存储数控加工所需要的全部动作和刀具相对于工件位置信息的媒介物，它记载着零件的加工程序。

输入装置有多种，现在常见的多为磁盘和 U 盘等，也可通过通信接口直接输入所需的各种信息。采用何种控制介质则取决于数控机床生产厂商为数控设备提供的可选辅助装置的多少。随着计算机和网络的广泛应用，U 盘、RS232C 通讯、网络传输正在成为最主要的信息输入输出方式。

2. 数控系统

数控系统常见的为计算机数控系统（CNC）。数控系统是数控机床的核心，数控系统根据输入的程序和数据，经过数控系统处理后，输出各种信号和指令控制机床的各个部分，进行规定的、有序的动作。这些控制信号中最基本的信号是：经插补运算决定的各坐标轴的进给速度、进给方向和位移量的指令信号；主运动部件的变速、换向和启停信号；选择和交换刀具的刀具指令信号；控制冷却液、润滑油的启停，工件和机床部件松开、夹紧，分度工作台转位等辅助指令信号等。

3. 伺服驱动系统

伺服驱动系统由伺服驱动电路和伺服驱动装置组成，并与机床上的执行部件和机械传动部件组成数控机床的进给系统。它根据数控装置发来的速度和位移指令控制执行部件的进给

速度、方向和位移。每个作进给运动的执行部件，都配有一套伺服驱动系统。伺服驱动系统有开环、半闭环和闭环之分。在半闭环和闭环伺服驱动系统中，使用了位置检测装置，间接或直接测量执行部件的实际进给位移，与指令位移进行比较，按闭环原理，将其误差转换放大后控制执行部件的进给运动。

4. 机床本体

数控机床的机械部件包括：主运动部件，进给运动执行部件，如工作台、拖板及其传动部件，床身、立柱等支承部件；此外，还有冷却、润滑、转位和夹紧等辅助装置。对于加工中心类的数控机床，还有存放刀具的刀库，交换刀具的机械手等部件。数控机床机械部件的组成与普通机床相似，但传动结构要求更为简单，在精度、刚度、抗震性等方面要求更高，而且其传动和变速系统要便于实现自动化控制。

2.1.3 数控机床的分类

1. 按运动方式分类

(1) 点位控制系统。点位控制系统是指数控系统只控制刀具或机床工作台，从一点准确地移动到另一点，而点与点之间运动的轨迹不需要严格控制的系统。为了减少移动部件的运动与定位时间，一般先以快速移动到终点附近位置，然后以低速准确移动到终点定位位置，以保证良好的定位精度。移动过程中刀具不进行切削。使用这类控制系统的主要有数控坐标镗床、数控钻床、数控冲床等。

(2) 点位直线控制系统。点位直线控制系统是指数控系统不仅控制刀具或工作台从一个点准确地移动到下一个点，而且保证在两点之间的运动轨迹是一条直线的控制系统。刀具移动过程可以进行切削。应用这类控制系统的有数控车床、数控钻床和数控铣床等。

(3) 轮廓控制系统。轮廓控制系统也称连续切削控制系统，是指数控系统能够对两个或两个以上的坐标轴同时进行严格连续控制的系统。它不仅能控制移动部件从一个点准确地移动到另一个点，而且还能控制整个加工过程每一点的速度与位移量，将零件加工成一定的轮廓形状。应用这类控制系统的有数控铣床、数控车床、数控齿轮加工机床和加工中心等。

2. 按控制方式分类

(1) 开环控制系统。开环控制系统是指不带反馈装置的控制系統。它是根据输入装置中的数据指令，经过控制运算发出脉冲信号，输送到伺服驱动装置(如步进电动机)使伺服驱动装置转过相应的角度，然后经过减速齿轮和丝杠螺母机构，转换为移动部件的直线位移。由于开环控制系统不具有反馈装置，不能进行误差校正，因此系统精度较低。虽然开环控制系统具有结构简单、工作稳定、使用维修方便及成本低的优点，但它已不能满足数控机床日益提高的精度要求。

(2) 半闭环控制系统。半闭环控制系统是在开环控制系统的伺服机构中装有角位移检测装置，通过检测滚珠丝杠转角，间接检测移动部件的位移，然后反馈到数控系统中，与输入原指令位移值进行比较，用比较后的差值进行控制。由于半闭环控制系统中移动部件的传动丝杠螺母机构不包括在闭环之内，所以传动丝杠螺母机构的误差仍然会影响移动部件的位移精度。半闭环控制系统调试方便，稳定性好，目前应用比较广泛。

(3) 闭环控制系统。闭环控制系统是在机床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置，将检测到的实际位移反馈到数控系统中，与输入的原指令位移值进行比较，用比较后的差值

进行控制。闭环控制系统定位精度高，一般应用在高精度数控机床上。由于系统增加了检测、比较和反馈装置，所以结构比较复杂，调试维修比较困难。通常这样的控制系统应用在高端的数控设备中。

3. 按工艺用途分类

按工艺用途分类，数控机床可分为数控钻床、车床、铣床、镗床、磨床和齿轮加工机床等，还有压床、冲床、弯管机、电火花切割机、火焰切割机等。

加工中心是带有刀库及自动换刀装置的数控机床，它可以在一台机床上实现多种加工。工件一次装夹，可完成多种加工，既节省辅助工时，又提高加工精度。加工中心特别适用于箱体、壳体类零件的加工。车削加工中心可以完成所有回转体零件的加工。

2.2 数控车床的特点及组成

数控车床根据其机型和数控系统的配置，加工范围与加工能力有一定的差别。按数控系统的功能分，可分为经济型数控车床和全功能型数控车床。经济型数控车床，一般采用步进电机驱动的开环伺服系统。按主轴的配置形式分，有主轴线处于水平位置的卧式数控车床和主轴线处于垂直位置的立式数控车床，还有具有两根主轴的数控车床。按数控系统控制的轴数分类，当机床只有一个回转刀架时，可以实现两坐标轴控制；床身上安装有两个独立的滑板 and 回转刀架，称为四坐标数控车床，或称为双刀架四坐标数控车床。其上每个刀架的切削进给量是分别控制的，因此两刀架可以同时切削同一工件的不同部位，既扩大了加工范围，又提高了加工效率。四坐标数控车床的结构复杂，且需要配置专门的数控系统实现对两个独立刀架的控制。这种机床适合加工曲轴、飞机零件等形状复杂、批量较大的零件。对于车削中心或柔性制造单元，还增加了其他附加坐标轴，来满足机床的功能。目前，我国使用较多的是中小规格的两坐标连续控制数控车床。

典型数控车床的机械结构系统组成，包括主轴传动机构、进给传动机构、刀架、床身、辅助装置（刀具自动交换机构、润滑与切削液装置、排屑、过载限位）等部分。

数控车床床身导轨与水平面的相对位置如图 2-2 所示，它有 4 种布局形式：图 2-2 (a) 平床身，图 2-2 (b) 斜床身，图 2-2 (c) 平床身斜滑板，图 2-2 (d) 为立床身。

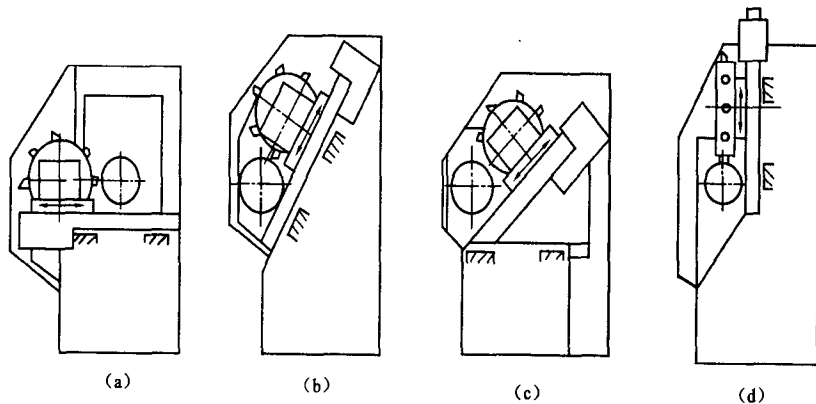


图 2-2 数控车床床身导轨与水平面的相对位置图

水平床身的工艺性好,便于导轨面的加工。水平床身配上水平放置的刀架可提高刀架的运动精度,一般可用于大型数控车床或小型精密数控车床的布局。但是水平床身由于下部空间小,故排屑困难。从结构尺寸上看,刀架水平放置使得滑板横向尺寸较长,从而加大了机床宽度方向的结构尺寸。

水平床身配置倾斜放置的滑板,并配置倾斜式导轨防护罩,这种布局形式一方面有水平床身工艺性好的特点,另一方面机床宽度方向的尺寸较水平配置滑板的要小,且排屑方便。水平床身配上倾斜放置的滑板和斜床身配置斜滑板布局形式被中、小型数控车床所普遍采用。此两种布局形式的特点是:①排屑容易,热铁屑不会堆积在导轨上,也便于安装自动排屑器;②操作方便,易于安装机械手,以实现单机自动化;③机床占地面积小,外形简单、美观,容易实现封闭式防护。

斜床身其导轨倾斜的角度分别为 30° 、 45° 、 60° 、 75° 和 90° (90° 的称为立式床身),若倾斜角度小,排屑不便;若倾斜角度大,导轨的导向性差,受力情况也差。导轨倾斜角度的大小还会直接影响机床外形尺寸高度与宽度的比例。综合考虑上面的因素,中小规格的数控车床其床身的倾斜度以 60° 为宜。

数控车床的结构配置不同,其加工能力也不相同,刀架是数控车床非常重要的部件,数控车床根据其功能,刀架上可以安装的刀具数量一般为4、8、10、12或16,有些数控车床可以安装更多的刀具。当数控车床刀架上安装铣削动力头后,可以大大扩展数控车床的能力,例如,利用铣削动力头可以进行轴向钻孔和铣削轴向槽。

图 2-3 为 DMG CTV 数控立式车床,图 2-4 为 DMG CTX510 数控万能车床。

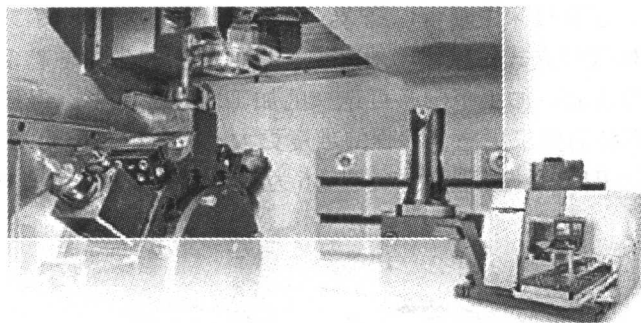


图 2-3 DMG CTV 数控立式车床

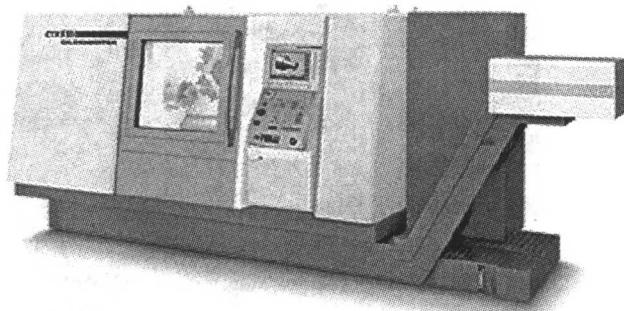


图 2-4 DMG CTX 510 数控万能车床

2.3 数控铣床的特点及组成

数控铣床是一种加工功能很强的数控机床，目前迅速发展起来的加工中心、柔性加工单元等都是在数控铣床、数控镗床的基础上产生的，两者都离不开铣削方式。由于数控铣削工艺最复杂，需要解决的技术问题也最多，因此，人们在研究和开发数控系统及自动编程语言的软件系统时，也一直把铣削加工作为重点。

数控立式铣床是数控铣床中数量最多的一种，应用范围也最为广泛。小型数控铣床一般都采用工作台移动、升降及主轴转动方式，与普通立式升降台铣床结构相似；中型数控立式铣床一般采用纵向和横向工作台移动方式，且主轴沿垂直溜板上下移动；大型数控立式铣床，因要考虑到扩大行程，缩小占地面积及刚性等技术问题，往往采用龙门架移动式，其主轴可以在龙门架的横向与垂直溜板上运动，而龙门架则沿床身作纵向运动。

数控铣床的机械结构，除铣床基础部件外，由下列各部分组成：① 主传动系统；② 进给系统；③ 实现工件回转、定位的装置和附件；④ 实现某些部件动作和辅助功能的系统和装置，如液压、气动、润滑、冷却等系统和排屑、防护等装置。

铣床基础件称为铣床大件，通常是指床身、底座、立柱、横梁、滑座、工作台等，它是整台铣床的基础和框架。铣床的其他零部件，或者固定在基础件上，或者工作时在它的导轨上运动。其他机械结构的组成则按铣床的功能需要选用。

从机床数控系统控制的坐标数量来看，目前 3 坐标数控立式铣床仍是大多数。一般可进行 3 坐标联动加工，但也有部分机床只能进行 3 坐标中的任意两个坐标联动加工(常称为 2 轴半数控加工)。此外，还有机床主轴可以绕 X、Y、Z 坐标轴中其中一个或两个轴作数控摆角运动的 4 坐标和 5 坐标数控立式铣床。一般来说，机床控制的坐标轴越多，特别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。但随之而来的是机床的结构更复杂，对数控系统的要求更高，编程的难度更大，设备的价格也更高。

图 2-5 为 DMG DMU50 数控万能铣床，图 2-6 为 DMG DMU 125P 5 轴加工的数控万能铣床。

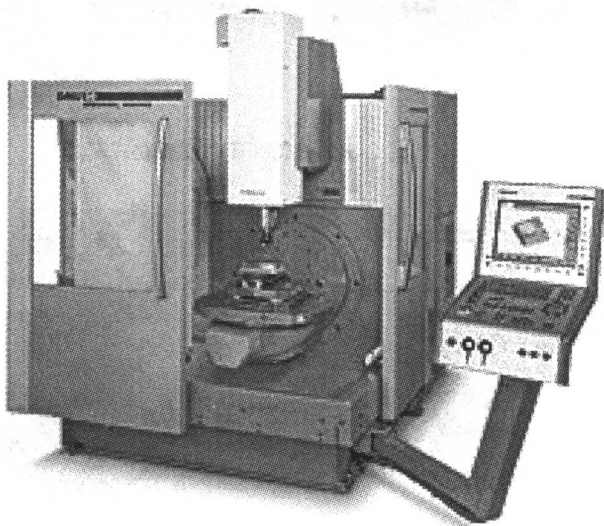


图 2-5 DMG DMU 50 数控万能铣床