



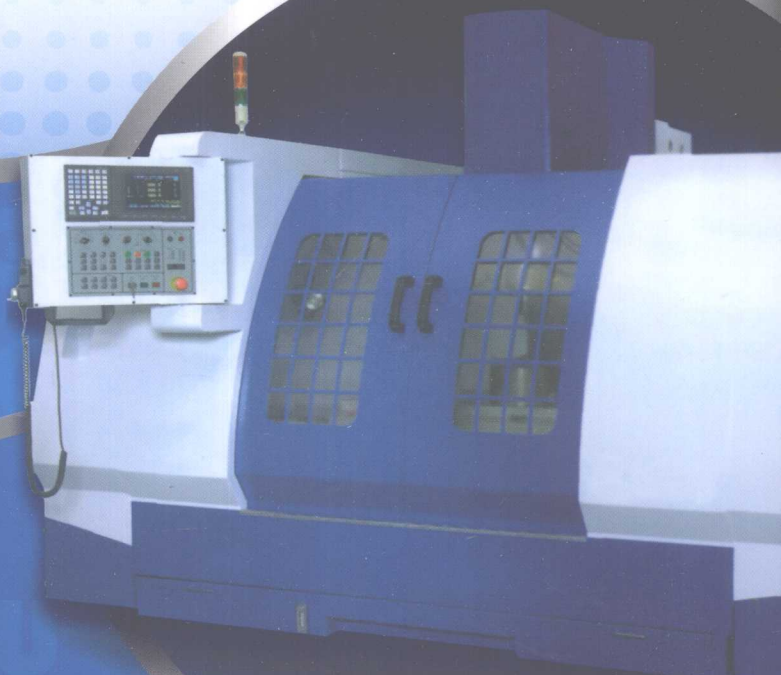
高职高专“十一五”规划教材

数控机床结构与维修

(项目化教程)

王海勇 主 编

成方杰 副主编



化学工业出版社

27
—
高职高专“十一五”规划教材

数控机床结构与维修

(项目化教程)

王海勇 主 编

成方杰 副主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书是根据教育部数控技能型紧缺人才的培养、培训方案的指导思想和最新的数控专业教学计划编写的, 主要内容包括数控机床的基本工作原理, 数控机床典型的机械结构、数控系统、电气系统, 数控机床的安装、精度检验及使用与维护等。

本书作者所在学校的数控技术专业是教育部高等职业教育示范性院校的国家级示范专业, 他们在编写过程中, 完全贯彻新的国家标准, 并且采用“基于工作过程的项目教学法”, 集“教、学、做”于一体, 运用情景教学法, 使学生在在学习过程中身临其境, 培养学生的动手及解决数控机床故障的能力。本书注重解决数控机床故障排除和维护的实际问题, 本着“应用为主, 理论够用”的原则, 着力于激发学生的学习兴趣, 力争做到图文并茂、通俗易懂、易教易学。

本书可作为高等职业院校数控技术、机电一体化技术等专业的教学用书, 也可作为中、高级数控机床职业技能培训和职业技能鉴定的辅导教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

数控机床结构与维修 (项目化教程)/王海勇主编. —北京: 化学工业出版社, 2009. 1
高职高专“十一五”规划教材
ISBN 978-7-122-04058-9

I. 数… II. 王… III. ①数控机床-结构-高等学校: 技术学院-教材②数控机床-维修-高等院校: 技术学院-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 168734 号

责任编辑: 王听讲
责任校对: 吴 静

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 史利平

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 北京白帆印务有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 17 3/4 字数 478 千字 2009 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 29.00 元

版权所有 违者必究

前言

目前,大力发展高等职业教育的重要性已经成为大家的共识。发展职业教育不仅是解决教育公平问题的重要途径,而且已经成为区域经济不可缺少的重要支撑。有专家认为:“抓经济就要抓职业教育,抓职业教育就是抓经济”;“高端人才可以引进,但大量的高技能人才组成的千军万马不可能靠引进”,这是对职业教育最贴切的注释。我国高等职业教育经过近十年的发展,正在成为世界上最大规模的高职教育,而且形成了自己的特色。

近十年来,我国高等职业教育发展的方向越来越清晰,自身的特色也越来越明显,那就是“以服务为宗旨,以就业为导向,走产学结合的发展道路”。在这个方向上坚持走下去,在改革发展中不断创新,在改革发展中形成自己的鲜明特色,我国将对世界高等职业教育的发展做出重大贡献。发展职业教育离不开一流的教学设备,更离不开一流的教学队伍,编者在长期的职业教育过程中,深切体会到一本好的教材对教学的重要性。

数控机床是现代机械制造业的重要技术装备,也是先进制造技术的基础技术装备。数控机床随着微电子技术、计算机技术、自动控制技术的发展而得到飞跃发展。目前,几乎所有传统机床都进行了数字化改造,有了相应的数控品种。数控技术极大地推动了计算机辅助设计、计算机辅助制造、柔性制造系统、计算机集成制造系统、虚拟制造系统和敏捷制造的发展,并为实现绿色加工打下了基础。数控机床逐渐成为机械工业技术改造的首选设备。随着数控技术的广泛应用,数控机床的保有量正在逐年上升,操作员需求量将增大。因此,为企业培养数控机床的操作员、维护员就成了当务之急。

编者所在学校的数控技术专业作为教育部高等职业教育示范性院校的国家级示范专业,近年来按项目教学法的各项要求优化了课程结构,对教学方式和教材内容也进行了大胆的改革。现在社会上有关数控技术的教材很多,但大多都是从理论上来介绍,很少涉及实际结构与维护。为适应数控技术专业教学的要求,突出实践应用,培养高技能应用型专业人才,本书介绍了数控机床的基本工作原理,数控机床典型的机械结构、数控系统、电气系统,数控机床的安装、精度检验及使用与维护等内容。在本书的附录中还介绍了有关机床的故障报警等相关知识。

本书可作为数控技术入门教材,适合高职院校及其他职业学校机械类专业的教学使用,也可以作为本科学校非数控专业学生教学用书,还可以作为数控机床操作、维护的技术人员参考用书。

由于按项目教学法编写教材是一种新的尝试,书中如有不妥之处,敬请读者指正。

本书配套的精品课程网页:<http://www.zbvc.com/jpkch/>。

编者

2008年10月

目 录

任务一 数控机床的认知	1
一、能力目标.....	1
二、任务说明.....	1
三、相关知识.....	1
想一想	11
做一做	12
任务二 加深对数控机床的理解	13
一、能力目标	13
二、任务说明	13
三、相关知识	13
想一想	56
做一做	56
任务三 数控系统参数备份与恢复	58
一、能力目标	58
二、任务说明	58
三、相关知识	58
想一想	79
做一做	79
任务四 数控机床电气系统的认知	81
一、能力目标	81
二、任务说明	81
三、相关知识	81
想一想	97
做一做	97
任务五 数控车床的认知	99
一、能力目标	99
二、任务说明	99
三、相关知识	99
四、知识拓展.....	113
想一想.....	132
做一做.....	132
任务六 数控铣床的认知	134
一、能力目标.....	134
二、任务说明.....	134
三、相关知识.....	134
四、知识拓展.....	142

想一想·····	156
做一做·····	156
任务七 数控加工中心的认知 ·····	158
一、能力目标·····	158
二、任务说明·····	158
三、相关知识·····	158
四、知识拓展·····	181
想一想·····	194
做一做·····	195
任务八 数控电火花线切割机床的认知 ·····	196
一、能力目标·····	196
二、任务说明·····	196
三、相关知识·····	196
想一想·····	201
做一做·····	201
任务九 数控机床安装调试与验收 ·····	203
一、能力目标·····	203
二、任务说明·····	203
三、相关知识·····	203
想一想·····	206
做一做·····	206
任务十 数控机床维护与安全操作 ·····	207
一、能力目标·····	207
二、任务说明·····	207
三、相关知识·····	207
想一想·····	220
做一做·····	220
任务十一 数控机床的故障处理 ·····	222
一、能力目标·····	222
二、任务说明·····	222
三、相关知识·····	222
想一想·····	250
做一做·····	250
附录 ·····	252
附录一 FANUC-0TC 系统报警清单 ·····	252
附录二 SINUMERIK 840D 系统报警清单 ·····	262
附录三 英汉对经常用数控机床维修词汇表·····	274
参考文献 ·····	278

任务一 数控机床的认知

一、能力目标

(一) 知识要求

- (1) 知道数控机床产生的背景。
- (2) 知道数控技术发展的趋势。
- (3) 知道数控机床的加工原理。
- (4) 知道数控机床的组成及各部分的功用。

(二) 技能要求

- (1) 能现场认识各种数控机床及加工原理。
- (2) 会讲解数控机床的组成及各部分的功用。

二、任务说明

能够知道工厂里常用的数控系统，知道数控机床的种类以及各类机床加工产品的特点。

(一) 教学媒体

多媒体教学设备、网络、数控实训基地机床。

(二) 教学说明

在该任务中，教师应该大量提供涵盖数控车、数控铣、数控磨、车铣复合、加工中心、电加工、三坐标测量、虚拟机床等尽可能多的数控设备视频，在观看这些视频的过程中，逐一解释相关的设备构成和加工工艺特点和适用条件，在此基础上，完成数控机床分类的介绍。

(三) 学习说明

反复观看网站中提供的相关视频资料，并通过网络查找相关类型设备的资料，并查找到主流数控厂商和系统厂商的资料，阅读相关数控设备的技术参数和介绍。

三、相关知识

(一) 数控机床的产生

1. 产生背景

随着社会生产和科学技术的迅猛发展，对机械产品的精度和机床的加工效率提出了越来越高的要求。特别是汽车、造船、航空、航天、军事等领域所需要的机械零件和模具的精度要求高、形状复杂。采用传统的普通机床已难以适应高精度、高效率、多样化、形状复杂的加工要求。为解决上述这些问题，一种新型机床——数控机床应运而生。这种新型机床具有加工精度高、适应能力强、加工质量稳定和生产效率高等优点。它综合应用了计算机技术、自动控制技术、伺服驱动技术、液压气动技术、精密测量技术和新型机械结构等多方面技术的成果。

1947年，美国帕森斯公司在研制加工直升飞机叶片轮廓检验用样板的机床时，首先提出了应用计算机控制机床来加工样板曲线的设想。后来受美国空军的委托，帕森斯公司与麻省理工学院伺服机构研究所协作，1952年成功地研制出世界上第一台数控机床——三坐标数控镗铣床。当时所用的电子器件是电子管。

1958年,美国一家公司研制出带刀架和自动换刀装置的加工中心。此时已开始采用晶体管元件和印制电路板。同年我国开始研制数控机床。

1965年以后,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、可靠性提高,但仍然是一种硬件逻辑数控系统(Numerical Control, NC)系统。

1966年,日本的发那科公司研制出全集成电路化的数控装置。

1970年,在美国芝加哥国际机床展览会上,首次展示了用小型电子计算机控制的数控机床,这是世界上第一台电子计算机控制的数控机床(Computer Numerical Control, CNC)。

1974年以后,随着控制电路集成技术的发展,微处理器直接用于数控装置,从而使数控技术和数控机床得到了普及和发展。特别是近年来大规模集成电路、超大规模集成电路和计算机技术的发展,使数控装置的性能和可靠性得到极大地提高。

从工业化革命以来人们实现机械加工自动化的手段有自动机床、组合机床、专用自动生产线,这些设备的使用大大地提高了机械加工自动化的程度,提高了劳动生产率,促进了制造业的发展。但它也存在固有的缺点:初始投资大,准备周期长。

2. 数控技术产生和发展的内在动力

市场竞争日趋激烈,产品更新换代加快,大批量产品越来越少,小批量产品生产的比重越来越大,迫切需要一种精度高、柔性好的加工设备来满足上述需求。

3. 数控技术产生和发展的技术基础

电子技术和计算机技术的飞速发展使 NC 机床的进步提供了坚实的技术基础。数控技术正是在这种背景下诞生和发展起来的。它的产生给自动柔性化技术带来了新的概念,推动了加工自动化技术的发展。

4. 发展的历史

采用数字控制(Numerical Control, NC)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(Machining Center, MC)。从1960年开始,其他一些工业国家,如原联邦德国、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(Flexible Manufacture System, FMS)。

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数控机床界上第一台计算机数字控制(Computer Numerical Control, CNC)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(Flexible Manufacture Center, FMC)。FMC和FMS技术是实现计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacture System, CIMS)的重要基础。

数控机床出现至今的50多年里,随科技、特别是微电子、计算机技术的进步而不断发展。其数控系统的发展表现为图1-1所示的几个阶段。

数控机床是典型的机电一体化产品,它所覆盖的领域如图1-2所示。

5. 各国数控机床发展历史

美国、德国、日本三国是当今世界上在数控机床科研、设计、制造和使用上,技术最先

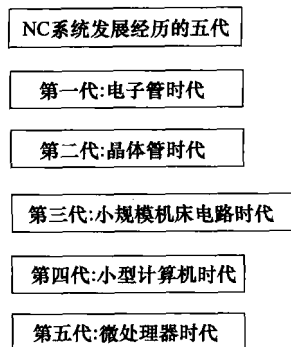


图 1-1 数控系统的发展阶段

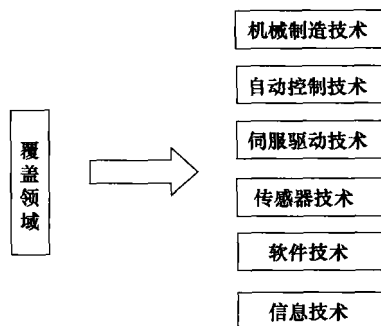


图 1-2 数控机床覆盖的领域

进、经验最多的国家。因其社会条件不同，各有特点。

(1) 美国的数控发展史 美国政府重视机床工业，美国国防部等部门因其军事方面的需求而不断提出机床的发展方向、科研任务，并且提供充足的经费，且网罗世界人才，特别讲究“效率”和“创新”，注重基础科研。因而在机床技术上不断创新。如 1952 年研制出世界第一台数控铣床，1958 年研制出加工中心，20 世纪 70 年代初研制成柔性制造系统 (FMS)，1987 年首创开放式数控系统等。

由于美国首先结合汽车、轴承生产需求，充分发展了大批量生产自动化所需的自动线，而且电子、计算机技术在世界上领先，因此其数控机床的主机设计、制造及数控系统基础扎实，且一贯重视科研和创新，故其高性能数控机床技术在世界也一直领先。

当今美国生产宇航等使用的高性能数控机床，其存在的教训是，偏重于基础科研，忽视应用技术，且在 20 世纪 80 年代政府一度放松了引导，致使数控机床产量增加缓慢，于 1982 年被后进的日本超过，并大量进口。从 20 世纪 90 年代起，纠正过去偏向，数控机床技术上转向实用，产量又逐渐上升。

(2) 德国的数控发展史 德国政府一贯重视机床工业的重要战略地位，在多方面大力扶植。于 1956 年研制出第一台数控机床后，德国特别注重科学试验，理论与实际相结合，基础科研与应用技术科研并重。企业与大学科研部门紧密合作，对数控机床的共性和特性问题进行深入的研究，在质量上精益求精。

德国的数控机床质量及性能良好、先进实用、货真价实，出口遍及世界，尤其是大型、重型、精密数控机床。德国特别重视数控机床主机及配套件的先进实用，其机、电、液、气、光、刀具、测量、数控系统、各种功能部件，在质量、性能上居世界前列。如西门子公司数控系统，均为世界闻名，竞相采用。

(3) 日本的数控发展史 日本政府对机床工业的发展异常重视，通过规划、法规（如“机振法”、“机电法”、“机信法”等）引导发展。在重视人才及机床元部件配套上学习德国，在质量管理及数控机床技术上学习美国，结果在有些方面青出于蓝而胜于蓝。

自 1958 年研制出第一台数控机床后，1978 年产量（7342 台）超过美国（5688 台），至今产量、出口量一直居世界首位（2001 年产量 46604 台，出口 27409 台，占 59%）。战略上先仿后创，先生产量大而广的中档数控机床，大量出口，占据世界广大市场。在 20 世纪 80 年代开始进一步加强科研，向高性能数控机床发展。日本 FANUC 公司战略正确，仿创结合，针对性地发展市场所需各种低中高档数控系统，在技术上领先，在产量上居世界第一。该公司现有职工 3674 人，科研人员超过 600 人，月生产能力 7000 套，销售额在世界市场上占 50%，在日本国内约占 70%，对加速日本和世界数控机床的发展起了重大促进作用。

(4) 我国的现状 我国数控技术的发展起步于 20 世纪 50 年代，通过“六五”期间引进

数控技术,“七五”期间组织消化吸收“科技攻关”,我国数控技术和数控产业取得了相当大的成绩。特别是最近几年,我国数控产业发展迅速,1998~2004年,国产数控机床产量和消费量的年平均增长率分别为39.3%和34.9%。尽管如此,进口机床的发展势头依然强劲,从2002年开始,中国连续三年成为世界机床消费第一大国、机床进口第一大国。

2004年中国机床主机消费高达95亿美元,国内数控机床制造企业在中高档与大型数控机床的研究开发方面与国外的差距更加明显,70%以上的此类设备和绝大多数的功能部件均依赖进口。由此可以看出国产数控机床特别是中高档数控机床仍然缺乏市场竞争力,究其原因主要在于国产数控机床的研究开发深度不够、制造水平依然落后、服务意识与能力欠缺、数控系统生产应用推广不力及数控人才缺乏等。我们应看清形势,充分认识国产数控机床的不足,努力发展先进技术,加大技术创新与培训服务力度,以缩短与发达国家之间的差距。

(二) 数控机床加工功能

数控机床是一种高效率、高精度,能保证加工质量,解决工艺难题,而且又具有一定柔性的生产设备。数控机床的广泛使用,将给机械制造业的生产方式、产品结构和产业结构带来深刻的变化,其技术水平高低和拥有量的多少,是衡量一个国家工业现代化水平的重要标志。

数控加工可以给我们带来多样的产品,可以从几类典型的数机床来看其加工的功能。

1. 数控车床的加工功能

数控车床比较适合于车削具有图1-3所示要求和特点的回转体零件。

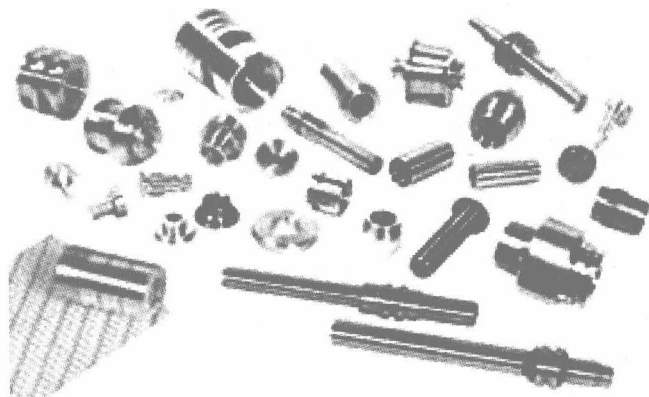


图 1-3 数控车床加工零件

2. 数控铣床的加工功能

① 叶轮,如图1-4所示。

② 箱体,如图1-5所示。

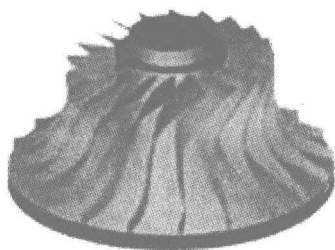


图 1-4 数控铣床加工叶轮

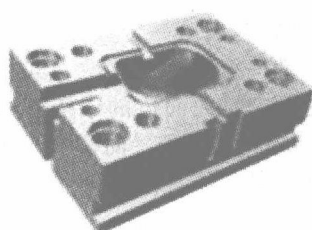


图 1-5 数控铣床加工箱体

- ③ 异形件，如图 1-6 所示。
3. 数控加工中心的加工功能
- ① 端面铣削，如图 1-7 所示。
- ② 攻螺纹，如图 1-8 所示。
- ③ 镗孔，如图 1-9 所示。
- ④ 钻孔，如图 1-10 所示。
- ⑤ 内外螺纹加工，如图 1-11 所示。
- ⑥ 特殊程序加工，如图 1-12 所示。
- ⑦ 铣内孔槽，如图 1-13 所示。

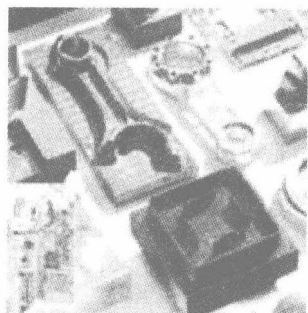


图 1-6 数控铣床加工异形件

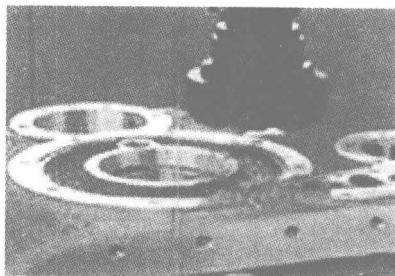


图 1-7 数控加工中心端面铣削

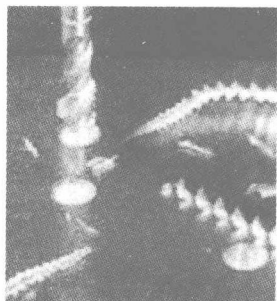


图 1-8 数控加工中心攻螺纹

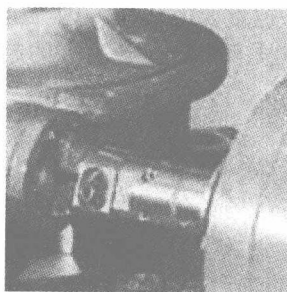


图 1-9 数控加工中心镗孔

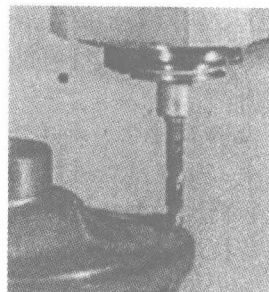
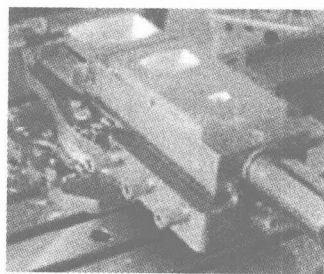
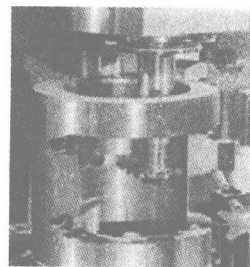


图 1-10 数控加工中心钻孔

图 1-11 数控加工中心
内外螺纹加工图 1-12 数控加工中心
特殊程序加工图 1-13 数控加工中心
铣内孔槽

⑧ 铣曲面, 如图 1-14 所示。

⑨ 铣曲线, 如图 1-15 所示。

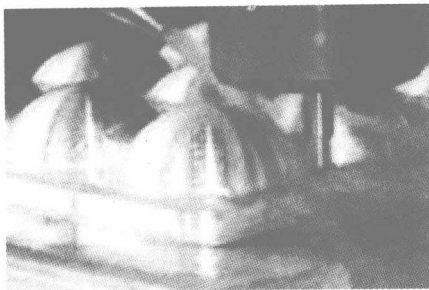


图 1-14 数控加工中心铣曲面

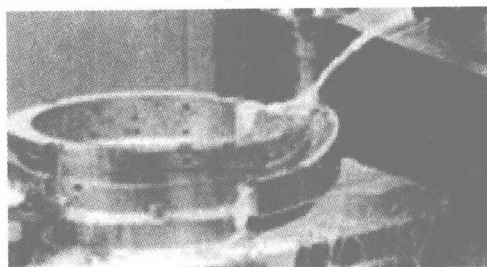


图 1-15 数控加工中心铣曲线

(三) 数控技术发展趋势

从 20 世纪中叶数控技术创立以来, 数控技术给机械制造业带来了革命性的变化。现在数控技术已成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术, 现代的 CAD/CAM、FMS 和 CIMS、敏捷制造和智能制造等, 都是建立在数控技术之上; 数控技术是提高产品质量、提高劳动生产率必不可少的物质手段; 数控技术是国家的战略技术; 基于它的相关产业是体现国家综合国力水平的重要基础性产业。

专家们预言: 21 世纪机械制造业的竞争, 其实质就是数控技术的竞争。

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 (IT、汽车、轻工、医疗等) 的发展起着越来越重要的作用, 因为这些行业所需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的趋势来看, 其主要研究热点有以下几个方面。

1. 运行高速化、加工高精化

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。为此日本尖端技术研究会将将其列为 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 40 秒/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, 才能对这些筋、壁进行加工。

近年来采用大型整体铝合金坯料“掏空”的方法来制造机翼、机身等大型零件来替代多个零件通过众多的铆钉、螺钉和其他连接方式拼装, 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。

运行高速化、加工高精化表现在以下几个方面。

(1) 进给速度高速化 是指快速移动速度的高速化和切削进给速度的高速化。

由于近年来采用了 32 位微处理器、全数字智能伺服驱动方式以及先进的位置检测器 (如高分辨率脉冲编码器), 目前 CNC 装置所具有的最高进给速度为: $1\mu\text{m}$ 脉冲当量时, 100m/min ; $0.1\mu\text{m}$ 脉冲当量时, 24m/min 。

目前普遍采用的最高切削进给速度已达 $5\sim 6\text{m/min}$, 个别的达到 12m/min , 也有与快速移动速度相同的, 但是现在能实施高速进给切削的, 仅限于直线切削。因为目前普遍使用的模拟伺服控制系统在高速动作下不可能实现良好的多坐标联动, 其结果是加工形状精度

差。为避免此种缺陷,已开始使用具有良好的高速联动性能的数字伺服控制系统。

(2) 主轴转速高速化 采用电主轴(内装式主轴电动机),即主轴电动机的转子轴就是主轴部件。当前由于电主轴的出现,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。图1-16所示为电主轴的实物。

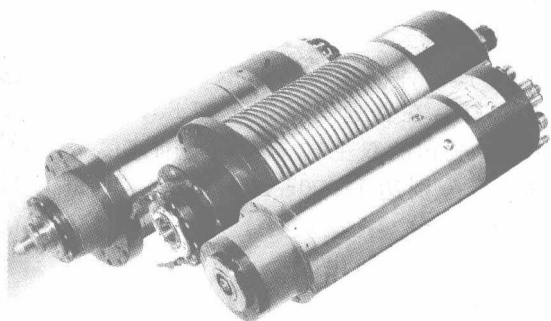


图 1-16 电主轴的实物

(3) 换刀速度高速化 从加工中心诞生初期起,就追求换刀的高速化。但是由于当时尚未充分掌握自动换刀的内在规律,因而故障率较高。所以在后来的相当一段时间里,采取了首先保证动作可靠性、然后才考虑速度的方针,结果在这段时期,自动换刀速度未提高多少。但是,随着对自动换刀内在规律的深入了解和用户自动换刀速度的要求迫切,又开始注意自动换刀速度了。作为高速换刀近年来采用凸轮联动式机械手,换刀速度可达0.9s。图1-17所示为凸轮联动式换刀机械手的原理。

图1-18所示为带有刀库的加工中心外形。

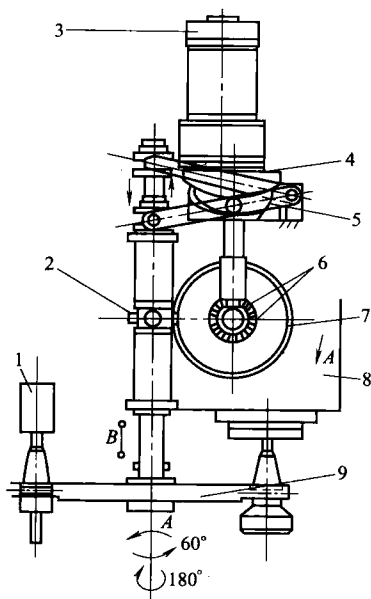


图 1-17 凸轮联动式换刀机械手的原理

1—刀库;2—十字轴;3—电动机;4—圆柱槽凸轮(手臂上下运动);5—杠杆;6—锥齿轮;7—凸轮滚子(手臂平行旋转);8—主轴箱;9—换刀手臂

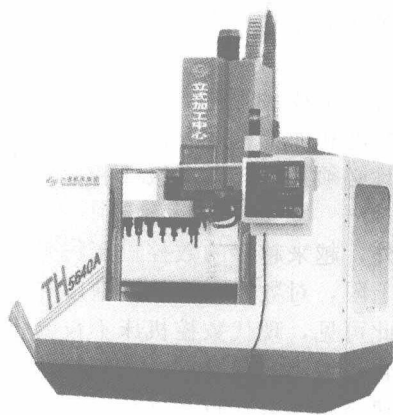


图 1-18 带有刀库的加工中心外形

(4) 工作台(托盘)交换速度高速化 从EMO2001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 $1g$ 。图 1-19 为工作台(托盘)交换实物。

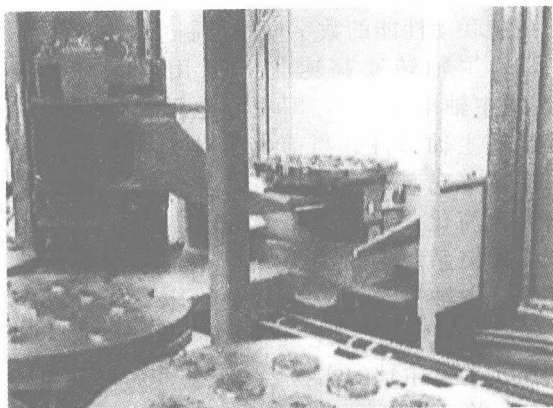


图 1-19 工作台(托盘)交换实物

(5) 加工高精度

① 提高 CNC 系统控制精度。数控装置加工中心的性能在很大程度上取决于数控系统的性能, 所以不断开发数控系统, 使其技术在以下方面有了很大的发展。开发出相对高精度、高速度、高效率要求的数控装置。原来的 16 位计算机数控系统已经发展为 32 位数控系统, 以提高运算速度。脉冲当量除原来的外, 还有 $0.1\mu m$ 和 $0.01\mu m$ 的。

a. 系统化。随着柔性制造单元的推广, 要求把控制机器人、测量、上下料等功能纳入到 CNC 内。

b. 多机能、复合化。开发出适应五面加工、多主轴复合加工等复合机床控制要求的数控装置。

② 采用高速插补技术。针对数控技术和装备向高速高精度发展的需求, 其技术发展核心是以高速处理器为硬件基础, 通过高效算法和直接操纵 CPU 核心硬件的软件设计技术, 充分发挥软硬件最佳结合的综合优势, 从而实现以高分辨率、高采样频率和粗精插补合一为特征的多功能采样插补。以此为基础开发的新型计算机数控系统, 已在多种数控机床上应用。

随着科学技术的进步和先进制造技术的发展, 对数控技术和装备的要求越来越高, 其中对控制精度和加工速度方面的要求尤为突出。这不仅要求数控系统能实现高速多轴联动控制, 而且必须具有亚微米级的控制精度, 这样才能高效完成复杂轮廓的高精度加工和在线检测。

此外, 越来越多的数控机床将采用直线电机驱动技术, 彻底冲破了常规驱动方法的速度和精度上限, 对数控系统控制精度和速度方面的指标不断提出新的挑战。

由此可见, 现代数控机床不仅要多坐标联动, 而且更重要的是要保证多轴联动的高进给速度和轨迹控制的高精度。采用高速插补技术已成为数控技术的必然发展趋势。

高速高精度数控技术的核心内容包括以下两方面: 高速高精度多轴联动采样插补技术; 高速高精度位置伺服控制技术。

③ 采用高分辨率位置检测装置。提高位置检测精度, 日本交流伺服电机已有装上 106 脉冲/转的内藏位置检测器, 其位置检测精度能达到 $0.01mm/脉冲$, 与此同时还采用了位置伺服系统前馈控制与非线性控制等方法以提高位置检测精度。

④ 采用误差补偿技术。采用反向间隙补偿、丝杆螺距误差补偿和刀具误差补偿等技术, 设备的热变形误差补偿和空间误差的综合补偿技术。

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 $10\mu m$ 提高到 $5\mu m$, 精密级加工中心则从 $3\sim 5\mu m$, 提高到 $1\sim 1.5\mu m$, 并且超精密加工精度已开始进入纳米级 ($0.01\mu m$)。

在可靠性方面,国外数控装置的 MTBF (平均无故障时间) 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。

2. 其他研究热点

(1) 功能复合化 复合化是指在一台设备能实现多种工艺手段加工的方法。

① 镗、铣、钻复合:加工中心(ATC)、五面加工中心(ATC, 主轴立卧转换)。

② 车、铣复合:车削中心(ATC, 动力刀头)。

③ 铣、镗、钻、车复合:复合加工中心(ATC, 可自动装卸车刀架);

④ 铣、镗、钻、磨复合:复合加工中心(ATC, 动力磨头);

⑤ 可更换主轴箱的数控机床:组合加工中心。

图 1-20 所示为复合化加工中心实物。

(2) 控制智能化 具体体现在以下几个方面。

① 加工过程自适应控制技术。通过监测加工过程中的切削力、主轴和进给电机的功率、电流、电压等信息,利用传统的或现代的算法进行识别,以辨识出刀具的受力、磨损以及破损状态,机床加工的稳定性状态;并根据这些状态实时修调加工参数(主轴转速,进给速度)和加工指令,使设备处于最佳运行状态,以提高加工精度、降低工件表面粗糙度以及设备运行的安全性。

Mitsubishi Electric 公司开发的用于数控电火花成形机床的 Miracle Fuzzy, 是基于模糊逻辑的自适应控制器,可自动控制和优化加工参数。

日本牧野在电火花 NC 系统 Makino-Mce20 中,用专家系统代替人工进行加工过程监控。

② 加工参数的智能优化与选择。将工艺专家或技工的经验、零件加工的一般与特殊规律,用现代智能方法构造基于专家系统或基于模型的“加工参数的智能优化与选择器”,利用它获得优化的加工参数,从而达到提高编程效率和加工工艺水平,缩短生产准备时间的目的。目前已开发出带自学习功能的神经网络电火花加工专家系统。

日本大隈公司的 7000 系列数控系统带有人工智能式自动编程功能。

国内清华大学在加工参数的智能优化与选择及 CAPP 方面的研究也取得了一些成果。但有待进行实用化开发。

③ 智能故障诊断与自修复技术。智能故障诊断技术指根据已有的故障信息,应用现代智能方法(AI、ES、AN 等),实现故障快速准确定位的技术。智能故障自修复技术指智能诊断确定故障原因和部位,以自动排除故障或指导故障的排除技术。

智能故障诊断技术在有些日本、美国公司生产的数控系统中已有应用,基本上都是应用专家系统实现的。智能化自修复技术还在研究之中。

④ 智能化交流伺服驱动装置。目前已开始研究能自动识别负载,并自动调整参数的智能化伺服系统,包括智能主轴交流驱动装置和智能化进给伺服装置。这种驱动装置能自动识

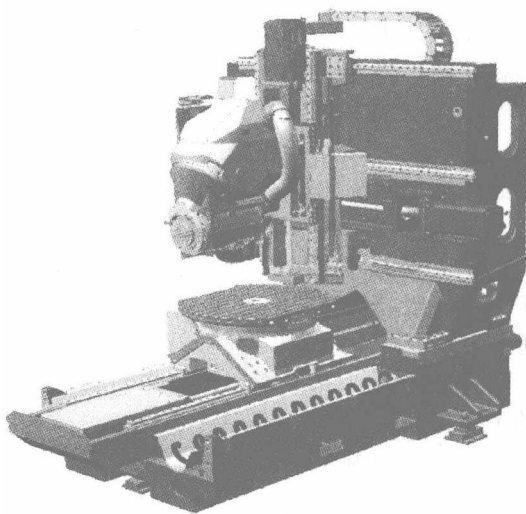


图 1-20 复合化加工中心实物

别电机及负载的转动惯量,并自动对控制系统参数进行优化和调整,使驱动系统获得最佳运行。

(3) 智能 4M 数控系统 在制造过程中,加工、检测一体化是实现快速制造、快速检测和快速响应的有效途径,将测量 (Measurement)、建模 (Modeling)、加工 (Manufacturing)、机器操作 (Manipulator) 四者 (即 4M) 融合在一个系统中,实现信息共享,促进测量、建模、加工、装夹、操作一体化的 4M 智能系统。

(4) 体系开放化 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。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。

① 定义 (IEEE)。具有在不同的工作平台上均能实现系统功能、可以与其他的应用系统进行互操作的系统。

② 开放式数控系统特点。系统构件 (软件和硬件) 具有标准化 (Standardization) 与多样化 (Diversification) 和互换性 (Interchangeability) 的特征,允许通过对构件的增减来构造系统,实现系统“积木式”的集成。构造应该是可移植的和透明的。

③ 开放体系结构 CNC 的优点。

a. 向未来技术开放:遵循公认的标准协议,新一代的通用软硬件资源就可能被现有系统所采纳、吸收和兼容,这就意味着系统的开发费用将大大降低而系统性能与可靠性将不断改善并处于长生命周期。

b. 标准化的人机界面:标准化的编程语言,方便用户使用,降低了和操作效率直接有关的劳动消耗。

c. 向用户特殊要求开放:更新产品、扩充能力、提供可供选择的硬软件产品的各种组合以满足特殊应用要求,给用户提供一个方法,从低级控制器开始,逐步提高,直到达到所要求的性能为止。另外用户自身的技术诀窍能方便地融入,创造出自己的名牌产品。此外,还可减少产品品种,便于批量生产、提高可靠性和降低成本,增强市场供应能力和竞争能力。

④ 开放式数控装置的概念结构如图 1-21 所示。

⑤ 国内外开放式数控系统的研究进展。目前许多国家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 Automatic Systems)、日本的 OSEC (Open System Environment for Controller),中国的 ONC (Open Numerical Control System) 等,如华中 I 型——基于 IPC 的 CNC 开放体系结构和航天 I 型 CNC 系统——基于 PC 的多机 CNC 开放体系结构。数控系统开放化已经成为数控系统的未来之路。

(5) 驱动并联化

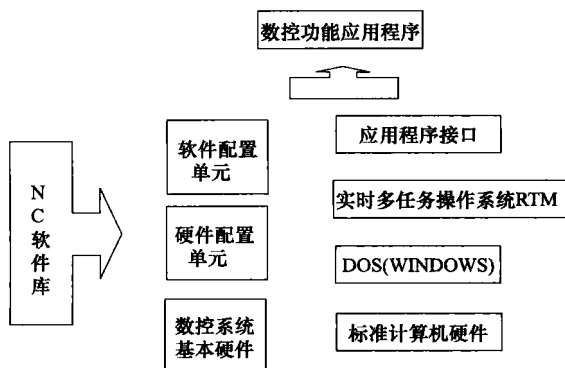


图 1-21 开放式数控装置的概念结构

① 并联加工中心（又称 6 条腿数控机床、虚轴机床）是数控机床在结构上取得的重大突破。图 1-22 所示为并联机床的实物。

由此观察并联机床所具有的特点如下：

- a. 并联结构机床是现代机器人与传统加工技术相结合的产物；
- b. 它没有传统机床所必需的床身、立柱、导轨等制约机床性能提高的结构；
- c. 具有现代机器人的模块化程度高、重量轻和速度快等优点。

② 图 1-23 所示为并联机床的另外一种结构外形。

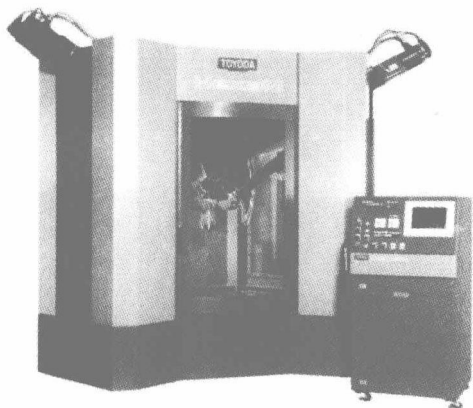


图 1-22 并联机床实物

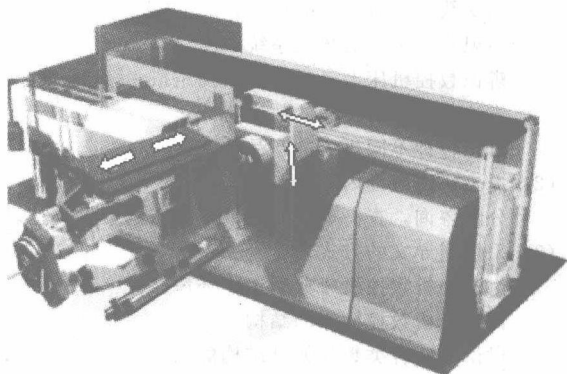


图 1-23 并联机床的另外一种结构外形

（6）交互网络化 支持网络通信协议，既满足单机需要，又能满足 FMC、FMS、CIMS 对基层设备集成要求的数控系统，该系统是形成“全球制造”的基础单元。其主要表现有以下几个方面。

① 网络资源共享。数控机床的远程（网络）监视、控制；数控机床的远程（网络）培训与能力（网络数控）；数控装备的数字化服务；数控机床故障的远程（网络）诊断、远程维护、电子商务等。

② 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）公司展出的智能生产控制中心（Cyber Productio Center, CPC）；日本大隈（Okuma）机床公司展出信息技术广场（IT Plaza, IT 广场）；德国西门子（Siemens）公司展出的开放制造环境（Open Manufacturing Environment, OME）等，反映了数控机床加工向网络化方向发展的趋势。

想一想

- （1）加工的高精化体现在哪些方面？
- （2）功能复合化的概念？举例？
- （3）控制智能化体现在哪些方面？
- （4）体系开放的概念是什么？有什么特点？
- （5）并联机床的特点是什么？
- （6）数控系统发展趋势主要有哪些？