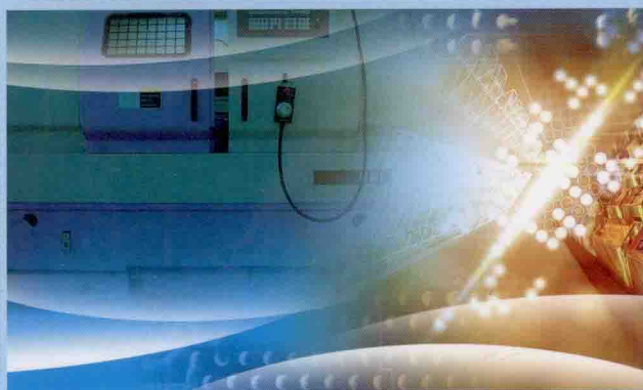
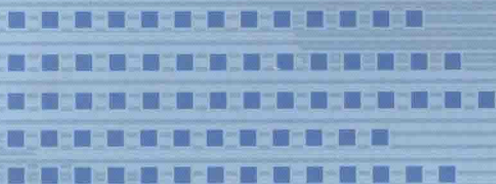




面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果



数控机床构造

(第2版)

SHUKONG JICHUANG GOUZAO

◎ 主 编 蔡厚道 杨家兴

◎ 主 审 张岐生

面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

数控机床构造

(第2版)

主 编 蔡厚道 杨家兴
副主编 张小红 张贻摇 庄 严
主 审 张岐生



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材是根据教育部制定的数控技能型紧缺人才培养培训方案的指导思想和目前企事业单位的需求而编写的。该教材主要包括数控机床概述、数控机床的主传动系统、数控机床的进给传动系统、数控机床的伺服系统、自动换刀装置、数控机床的液压与气压装置、数控机床的辅助装置、常用数控机床、新技术在数控机床中的应用等内容。全书是按照常用数控机床基本概念、基本结构、工作原理和新技术的应用几个部分来讲述的。内容全面、综合、深入浅出,既考虑到目前数控机床应用的实际情况,又考虑到数控机床的发展趋势。

本书可作为高等院校数控技术、机电一体化、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业教学和技能考核培训用书,工厂操作、编程、设计与维修等工程技术人员的自学参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

数控机床构造/蔡厚道,杨家兴主编. —2 版. —北京:北京理工大学出版社,2010. 7

ISBN 978 - 7 - 5640 - 0910 - 6

I. ①数… II. ①蔡…②杨… III. ①数控机床-构造-高等学校:技术学校-教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 142563 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京燕旭开拓印务有限公司

开 本 / 710 毫米×1000 毫米 1/16

印 张 / 20

字 数 / 376 千字

版 次 / 2010 年 7 月第 2 版 2010 年 7 月第 7 次印刷

责任编辑 张慧峰

印 数 / 17 001 ~ 19 000 册

责任校对 王 丹

定 价 / 36.00 元

责任印制 边心超



前 言

数控技术是综合应用计算机、自动控制、自动检测及精密机械等高新技术的产物。它已开始在各个领域普及,并且它所带来的巨大效益已引起了世界各国科技与工业界的普遍重视。数控技术和数控装备已成为体现国家综合国力水平的重要基础性产业,其水平的高低是衡量一个国家制造业现代化的核心标志。目前,随着国内数控机床用量的剧增,急需培养一大批数控应用型高级技术人才。

基于目前数控教学的特点,根据多年的一线操作和教学经验,并借鉴一直在机加工岗位从事操作工作的经验,我们编写了既能适应高职院校教学需要,又能适应其他不同层次学习者的要求的教材,也可以作为生产企业、公司、工厂等有关技术人员的参考书,即《数控机床构造》一书。

本书是根据教育部制定的数控技能型紧缺人才培养培训方案的指导思想,结合作者多年的工程实践和教学经验而编写的。取材新颖、内容由浅入深、循序渐进、图文并茂、实例丰富、着重于应用,理论部分突出简明性、系统性、实用性和先进性。

本书介绍了数控机床概述、数控机床的主传动系统、数控机床的进给传动系统、数控机床的伺服系统、自动换刀装置、数控机床的液压与气压装置、数控机床的辅助装置、常用数控机床、新技术在数控机床中的应用等内容。

本书共有9章,由蔡厚道、杨家兴担任主编,张小红、张贻摇、庄严担任副主编,张岐生教授主审,其中第一、二、三、四章由蔡厚道编写;第六、九章由杨家兴编写;第八章由张小红编写;第七章由张贻摇编写;第五章、附录由刘芃编写;庄严编写了其中的部分实例。全书由蔡厚道统稿。

庄严编写了其中的部分实例。全书由蔡厚道统稿。

另外，本书编写时还参阅了许多高等院校、公司的教材和资料。并得到了从事数控车、数控铣、加工中心操作的技师、高级技师的宝贵建议和大力帮助，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，数控技术发展迅速，本书难免有不足之处，望读者和同仁提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一章 数控机床概述	1
1.1 数控机床的产生与发展	1
1.1.1 数控机床的产生与发展过程	1
1.1.2 数控机床的发展趋势	3
1.1.3 各国数控机床的发展状况	6
1.2 机床中有关数控的基本概念	8
1.3 数控机床的组成与工作原理	9
1.3.1 数控机床的组成	9
1.3.2 数控机床的工作原理	12
1.4 数控机床的分类	13
1.4.1 按工艺用途分类	13
1.4.2 按机床运动轨迹分类	16
1.4.3 按伺服系统控制方式分类	18
1.4.4 按数控系统功能水平分类	20
1.5 数控机床的特点	21
1.5.1 数控机床的设计特点	21
1.5.2 数控机床的加工特点	21
1.5.3 数控机床的结构特点	22
1.6 数控机床的主要性能指标与功能	23
1.6.1 数控机床的规格指标	23
1.6.2 数控机床的精度指标	24
1.6.3 数控机床的运动指标	25
1.6.4 可靠性指标	25
1.6.5 数控机床的主要功能	26
1.7 数控机床的应用范围	28
思考与练习题	29
第二章 数控机床的主传动系统	31
2.1 数控机床对主传动系统的要求	31

2.2 数控机床主轴的传动方式与主传动系统类型	32
2.2.1 数控机床主轴的传动方式	32
2.2.2 数控机床主传动系统类型	36
2.3 主轴部件	39
2.3.1 数控机床的主轴	39
2.3.2 数控机床主轴部件的支承	41
2.3.3 主轴滚动轴承的预紧	45
2.3.4 主轴内切屑清除装置	46
2.4 主轴准停与主轴的同步运行功能	47
2.4.1 主轴准停功能与控制	47
2.4.2 主轴准停装置	50
2.4.3 主轴的同步运行功能	52
2.5 主轴润滑与密封	53
2.5.1 主轴润滑	53
2.5.2 主轴密封	55
2.6 电主轴	56
思考与练习题	59
第三章 数控机床的进给传动系统	61
3.1 对数控机床进给传动系统的要求	61
3.2 联轴器	62
3.3 滚珠丝杠螺母副与静压丝杠螺母副	64
3.3.1 滚珠丝杠螺母副	64
3.3.2 静压丝杠螺母副	77
3.4 齿轮传动副与齿轮齿条传动	80
3.4.1 齿轮传动副	80
3.4.2 齿轮齿条传动	83
3.5 双导程蜗杆蜗轮副与静压蜗杆蜗轮条传动	87
3.5.1 双导程蜗杆蜗轮副	87
3.5.2 静压蜗杆蜗轮条传动	89
3.6 直线电动机传动	91
3.7 数控机床导轨	94
3.7.1 对数控机床导轨的要求	94
3.7.2 常用数控机床导轨	96
3.7.3 导轨间隙的调整、润滑与防护	103

思考与练习题	106
第四章 数控机床的伺服系统	108
4.1 概述	108
4.2 步进电动机驱动控制系统	108
4.2.1 步进电动机的分类与结构	109
4.2.2 步进电动机的工作原理与主要特性	110
4.2.3 步进电动机的驱动控制	112
4.3 直流伺服电动机控制系统	115
4.3.1 直流伺服电动机的分类与结构	115
4.3.2 直流伺服电动机的工作原理与工作特性	116
4.3.3 直流伺服电动机的调速方法	118
4.4 交流伺服电动机控制系统	118
4.4.1 交流伺服电动机的分类与结构	119
4.4.2 交流伺服电动机的工作原理与性能	120
4.4.3 交流伺服电动机的调速方法	121
4.5 数控机床位置检测装置	122
4.5.1 旋转变压器	122
4.5.2 感应同步器	125
4.5.3 光栅	128
4.5.4 光电脉冲编码器	130
思考题与习题	132
第五章 数控机床的自动换刀装置	133
5.1 对数控机床自动换刀装置的要求	133
5.2 刀库与机械手	133
5.2.1 刀库	133
5.2.2 机械手	139
5.3 自动换刀装置	145
5.3.1 刀具选择方式	145
5.3.2 数控车床刀架	150
5.3.3 加工中心自动换刀装置	158
5.4 自动换刀实例	162
5.4.1 无机械手自动换刀实例	162
5.4.2 机械手自动换刀实例	164
思考与练习题	167

第六章 数控机床的液压与气压装置	168
6.1 液压与气压传动简介	168
6.1.1 液压与气压传动的工作原理	168
6.1.2 液压与气压传动系统的组成	169
6.1.3 液压与气压传动的特点	173
6.2 数控机床上液压系统的构成及其回路	174
6.2.1 压力控制回路	174
6.2.2 速度控制回路	179
6.2.3 方向控制回路	182
6.3 液压与气压传动系统在数控机床上的应用	183
6.3.1 TND360 数控车床液压系统	183
6.3.2 数控加工中心气动换刀系统	186
思考与练习题	187
第七章 数控机床的辅助装置	188
7.1 数控机床用工作台	188
7.1.1 数控回转工作台	188
7.1.2 分度工作台	192
7.1.3 工作台	197
7.2 数控机床用附件	199
7.2.1 卡盘	199
7.2.2 尾座	202
7.2.3 分度头	203
7.2.4 常用铣削刀柄	205
7.2.5 三坐标测量机	212
7.2.6 机外对刀仪	214
7.2.7 寻边器与 Z 轴设定器	215
7.3 数控机床的支承件	217
7.4 润滑系统	222
7.5 自动排屑装置	225
思考与练习题	227
第八章 常用数控机床	228
8.1 数控车床	228
8.1.1 概述	228
8.1.2 数控车床的分类	228

8.1.3 数控车床的组成与布局	230
8.1.4 数控车床的特点与工艺范围	234
8.1.5 数控车床的传动系统与机械结构	236
8.1.6 数控车床的卡盘和尾架	244
8.2 数控铣床	245
8.2.1 概述	245
8.2.2 数控铣床的分类	246
8.2.3 数控铣床的组成与布局	247
8.2.4 数控铣床的特点与工艺范围	250
8.2.5 数控铣床的传动系统与结构	253
8.3 加工中心	256
8.3.1 概述	256
8.3.2 加工中心的分类	256
8.3.3 加工中心的组成与布局	260
8.3.4 加工中心的特点与工艺范围	261
8.3.5 加工中心的传动系统与结构	263
8.4 数控机床的生产管理	268
8.4.1 应用数控技术的生产准备	268
8.4.2 编程方法的选择	269
8.4.3 数控机床的生产管理	270
思考与练习题	277
第九章 新技术在数控机床中的应用	278
9.1 数控机床应用关键技术	278
9.2 直接数字控制(DNC)	280
9.2.1 DNC 技术简介	280
9.2.2 DNC 技术研究	281
9.2.3 DNC 技术的发展趋势	284
9.3 柔性制造系统(FMS)	286
9.3.1 概述	286
9.3.2 FMS 的定义、组成与工作原理	289
9.4 计算机集成制造系统(CIMS)	292
9.4.1 概述	292
9.4.2 CIMS 的基本概念与组成	294
9.4.3 CIMS 的体系结构	300

思考与练习题	305
附录 常用液压与气动图形符号	306
附录 A 符号要素、管路	306
附录 B 控制机构和控制方法	306
附录 C 泵、马达和缸	307
附件 D 控制元件	307
附录 E 辅助元件	309
参考文献	310

第一章 数控机床概述

科学技术和社会生产的不断发展,对机械产品的性能、质量、生产率和成本提出了越来越高的要求。机械加工工艺过程自动化是实现上述要求的重要技术措施之一。单件、小批生产占机械加工的 80%左右,一种适合于产品更新换代快、品种多、质量和生产率高、成本低的自动化生产设备的应用已迫在眉睫。而数控机床则能适应这种要求,满足了目前生产需求。

20 世纪 40 年代以来,汽车、飞机和导弹制造业发展迅速,原来的加工设备已无法承担加工航空工业需要的复杂型面零件。数控技术是为了解决复杂型面零件加工的自动化而产生的。1948 年,美国帕森斯(Parsons)公司在研制加工直升机叶片轮廓检验用样板的机床时,首先提出了应用电子计算机控制机床来加工样板曲线的设想。后来与美国空军签订合同,帕森斯(Parsons)公司与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作进行研制工作。1952 年试制成功第一台三坐标立式数控铣床。后来,又经过改进并开展自动编程技术的研究,于 1955 年进入实用阶段,这对于加工复杂曲面和促进美国飞机制造业的发展起了重要作用。

1958 年我国开始研制数控机床,1975 年研制出第一台加工中心。目前,在数控技术领域,我国同先进国家之间还存在不小的差距,但这种差距正在缩小。数控技术的应用也从机床控制拓展到其他控制设备,如:数控电火花线切割机床、数控测量机和工业机器人等。

1.1 数控机床的产生与发展

1.1.1 数控机床的产生与发展过程

1946 年诞生了世界上第一台电子计算机,它为人类进入信息社会奠定了基础。六年后,即在 1952 年,计算机技术应用到了机床上,在美国诞生了第一台数控机床。从此,传统机床产生了质的变化。近半个世纪以来,数控机床经历了两个阶段和六代的发展,如图 1-1 所示。

1. 数控(NC)阶段(1952—1970 年)

早期计算机的运算速度低,这对当时的科学计算和数据处理影响还不小,但不能适应机床实时控制的要求。人们不得不采用数字逻辑电路制成一台机床专用计

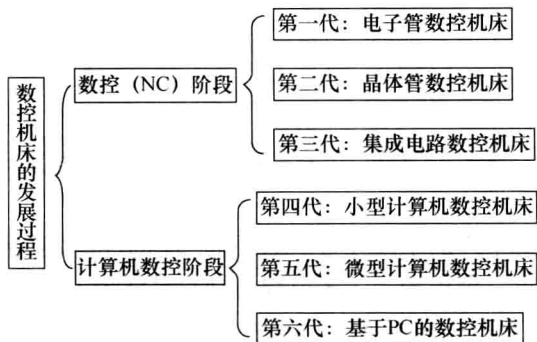


图 1-1 数控机床的发展过程

算机作为数控系统,被称为硬件连接数控(HARD—WIRED NC),简称为数控(NC)。随着元器件的发展,这个阶段历经了三代,即1952年的第一代——电子管数控机床;1959年的第二代——晶体管数控机床;1965年的第三代——集成电路数控机床。

2. 计算机数控(CNC)阶段(1970 至今)

到1970年,通用小型计算机业已出现并成批生产,其运算速度比五、六十年代有了大幅度的提高,这比逻辑电路专用计算机成本低、可靠性高。于是将它移植过来作为数控系统的核心部件,从此进入了计算机数控(CNC)阶段。1971年,美国Intel公司在世界上第一次将计算机的两个最核心的部件——运算器和控制器,采用大规模集成电路技术集成在一块芯片上,称之为微处理器(MICRO—PROCESSOR),又称中央处理单元(简称CPU)。1974年,微处理器被应用于数控系统。这是因为小型计算机功能太强,控制一台机床能力有多余,但不如采用微处理器经济合理,而且当时的小型计算机可靠性也不理想。虽然早期的微处理器速度和功能都还不够高,但可以通过多处理器结构来解决。

因为微处理器是通用计算机的核心部件,故仍称为计算机数控。到了1990年,PC机(个人计算机,国内习称微机)的性能已发展到很高的阶段,可满足作为数控系统核心部件的要求,而且PC机生产批量很大,价格便宜,可靠性高。数控系统从此进入了基于PC的阶段。

总之,计算机数控阶段也经历了三代,即1970年的第四代——小型计算机数控机床;1974年的第五代——微型计算机数控机床;1990年的第六代——基于PC机(国外称为PC-BASED)的数控机床。

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。

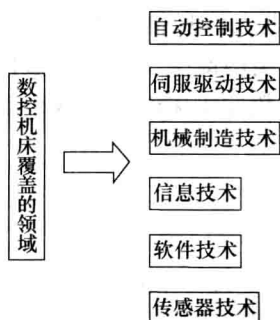


图 1-2 数控机床覆盖的领域

1.1.2 数控机床的发展趋势

随着计算机技术的发展,数控机床不断采用计算机、控制理论等领域的最新技术成就,它的性能日臻完善,应用领域日益扩大。同时,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正朝着下述几个方向发展:

1. 高速、高效、高精度和高可靠性

高速、高效和高精度是机械加工的目标。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

随着汽车、国防、航空、航天等工业的高速发展以及铝合金等新材料的应用,对数控机床加工的高速化要求越来越高。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。

① 主轴转速:机床采用电主轴(内装式主轴电动机),主轴最高转速达 200 000r/min。

② 进给速度:它是指快速移动速度的高速化和切削进给速度的高速化。

目前 CNC 装置所具有的最高进给速度为:1 μ m 脉冲当量时,100m/min;0.01 μ m 脉冲当量时,240m/min,且可获得复杂型面的精确加工。

③ 运算速度:微处理器的迅速发展为数控系统向高速、高精度方向发展提供了保障,开发出 CPU 已发展到 32 位以及 64 位的数控系统,频率提高到几百兆赫、上千兆赫。由于运算速度的极大提高,使得当分辨率为 0.1 μ m、0.01 μ m 时仍能获得高达 24~240m/min 的进给速度。

④ 换刀速度:目前国外先进加工中心的刀具交换时间普遍已在 1s 左右,高的已达 0.5s。德国 Chiron 公司将刀库设计成篮子样式,以主轴为轴心,刀具在圆周布置,其刀到刀的换刀时间仅 0.9s。

新一代数控机床(含加工中心)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。超高速加工特别是超高速铣削与新一代高速数控机床特别是高速加工中心的开发应用紧密相关。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/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解决,应不失时机地开发应用新一代高速数控机床。

(2) 高效

依靠快速、准确的数字量传递技术对高性能的机床执行部件进行高精密度、高

响应速度的实时处理,现在数控机床自动换刀时间最短可达 0.5s 以内,采用新的刀库和换刀机械手,使选刀动作更快速、可靠;采用各种形式的交换工作台,使装卸工件的时间缩短;采用快换夹具,刀具装置以及实现对工件原点快速确定等,缩短时间定额,实现高效化。

(3) 高精度

从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),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($<10\text{nm}$),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。

精密化是为了适应高新技术发展的需要,也是为了提高数控机床的性能、质量和可靠性,减少其装配时的工作量从而提高装配效率的需要。随着高新技术的发展和对数控机床性能与质量要求的提高,机床用户对机床加工精度的要求也越来越高。为了满足用户的需要,近 10 多年来,普通级数控机床的加工精度已由 $\pm 10\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\mu\text{m}$,精密级加工中心的加工精度则从 $\pm 3\sim 5\mu\text{m}$,提高到 $\pm 1\sim 1.5\mu\text{m}$ 。

(4) 高可靠性

高可靠性是指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 16 小时内连续正常工作,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 3 000 小时。

MTBF 大于 3 000 小时,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(数控的可靠比主机高一个数量级)。此时数控系统的 MTBF 就要大于 33 333.3 小时,而其中的数控装置、主轴及驱动等的 MTBF 就必须大于 10 万小时。

当前国外数控系统平均无故障时间 MTBF 在 7 万~10 万小时以上,国产数控系统平均无故障时间仅为 10 000 小时左右,国外整机平均无故障工作时间达 800 小时以上,而国内最高只有 300 小时。

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。个性化是近几年来数控机床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,具体体现在如下:

为追求加工效率和加工质量方面的智能化,如加工过程自适应控制技术,加工参数的智能优化与选择;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;智能故障诊断与自修复技术、智能监控方面的内容,方便系统的诊断及维修等。

(3) 柔性化和集成化

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。

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 联结,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

由于数控系统生产厂家技术的保密,传统的数控系统是一种专用封闭式系统,各个厂家的产品之间以及与通用计算机之间不兼容,维修、升级困难,难以满足市场对数控技术的需求,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,最重要的发展趋势是体系结构的开放性,设计生产开放式的数控系统,开放式数控系统具有标准化的人机界面和编程语言,软、硬件兼容,维修方便,如图 1-3 所示为开放式数控装置的概念结构。

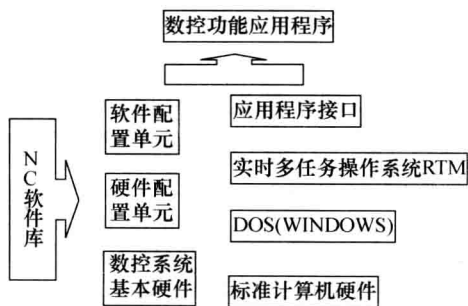


图 1-3 开放式数控装置的概念结构

目前,国内外许多国家对开放式数控系统进行了研究,例如美国在 20 世纪 90 年代初提出了开发下一代控制器的计划 NGC(Next Generation Controller),以后又提出了 OMAC(Open Modular Architecture Control)计划,欧洲在 20 世纪 90 年代初开始 OSACA(Open System Architecture for Controls within Automation

system)计划,以及目前正发展的基于PC的开放式数控系统结构(PC嵌入CNC型、CNC嵌入PC型、全软件CNC型)等。

4. 新一代数控加工工艺与装备

为适应制造自动化的发展,向FMC、FMS和CIMS提供基础设备,要求数字控制制造系统不仅能完成通常的加工功能,而且还要具备自动测量、自动上下料、自动换刀、自动更换主轴头(有时带坐标变换)、自动误差补偿、自动诊断、进线和联网等功能,广泛地应用于机器人和物流系统,出现了数控技术的并联化和网络化。

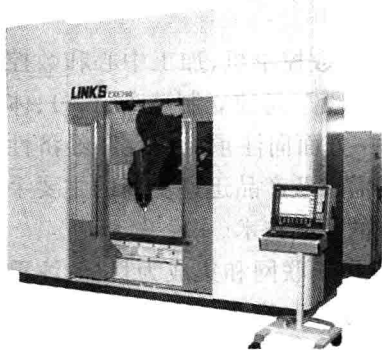


图 1-4 并联机床

围绕数控技术、制造过程技术在快速成型、并联机构机床、机器人化机床、多功能机床等整机方面和高速电主轴、直线电动机、软件补偿精度等单元技术方面先后有所突破。并联杆系结构的新型数控机床实用化,如图1-4所示为并联机床。

以计算机辅助管理和工程数据库、因特网等为主体的制造信息支持技术和智能化决策系统。对机械加工中海量信息进行存储和实时处理。应用数字化网络技术,使机械加工整个系统趋于资源合理支配并高效地应用。国内外一

些著名数控机床和数控系统制造公司都在近几年推出了相关的新概念和样机,例如日本山崎马扎克(Mazak)公司在EMO2001展出的智能生产控制中心,日本大隈(Okuma)机床公司展出的信息技术广场(IT广场),德国西门子(Siemens)公司展出的开放制造环境(OME)等,反映了数控机床加工向网络化方向的发展趋势。

总之,新一代数控系统技术水平大大提高,促进了数控机床性能向高精度、高速度、高柔性化方向发展,机械加工向虚拟制造方向发展,使现代加工技术水平不断提高。

1.1.3 各国数控机床的发展状况

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