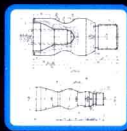




普通高等教育“十二五”机电类规划教材

精品推荐



数控编程与加工

杨丙乾 主 编

王振宁 姬清华 副主编

- 精品课程配套教材
- 采用最新国家标准
- 配套习题、答案、课件等丰富资源
- 教学资源请登录华信教育资源网 (www.hxedu.com.cn) 免费获取



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

数控编程与加工

杨丙乾 主 编

王振宁 姬清华 副主编

孙新国 童景琳 参 编

王占奎 赵玉军



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本教材立足于数控加工实用技术,以理论知识做引导,以实际应用为目的,融基础知识、工艺技术、编程原理与方法、操作技能于一体。主要内容包括数控机床的基础知识,数控机床的操作,数控加工的工艺基础,数控程序,数控坐标系及常用编程指令,数控车床的常用编程指令、刀具补偿及实际加工编程举例,加工中心(数控铣床)的常用编程指令、刀具补偿及实际加工编程举例,FANUC 系统的宏编程基础知识及 A、B 类宏的编程应用,线切割编程加工的基础知识、工艺知识、编程方法及实际应用编程举例,最后综述了 CAD/CAM 基础知识与应用,重点介绍了 Pro/E 的基础知识,并以实例介绍了 Pro/E 的自动编程过程。

本书主要作为应用型本科院校的机械工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等机械类专业的教材,或作为广大工程技术人员自学和培训用书,对从事数控技术应用加工和研究的科技人员也有一定的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控编程与加工/杨丙乾主编. —北京:电子工业出版社, 2011.5
普通高等教育“十二五”机电类规划教材
ISBN 978-7-121-13399-2

I. ①数… II. ①杨… III. ①数控机床—程序设计—高等学校—教材 ②数控机床—加工—高等学校—教材 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 074910 号

策划编辑:朱清江

责任编辑:刘 凡

印 刷:北京季蜂印刷有限公司

装 订:三河市皇庄路通装订厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:19.25 字数:493 千字

印 次:2011 年 5 月第 1 次印刷

定 价:36.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

数控化制造技术的发展正在引领着传统机械制造业的又一次变革,数控加工、CAD/CAM(计算机辅助设计及制造)和 PDM(产品数据管理)已经成为一个现代化制造企业先进制造技术应用的主干,它们代表着一个企业的设计、制造水平,并与产品的质量、成本及生产周期息息相关。

数控加工技术是企业数控技术应用的主干技术。随着数控机床应用的普及与发展,现代企业对掌握数控加工、编程和操作技术的人才需求量将会越来越大,了解和掌握数控技术相关应用知识与技能,是企业对工程技术人员的基本要求,工科机械类院校学生理应未雨绸缪掌握数控应用技术。为适应这种发展的需要,根据高等院校应用型本科培养教学目标和要求,我们编写了这本教材。

本教材立足于数控加工实用技术,以理论知识做引导,以实际应用为目的,融基础知识、工艺技术、编程原理与方法、操作技能于一体,紧扣当前企业对数控人才的实际需求,强调数控应用能力的培养,并使教材内容在系统性、先进性、实用性和完整性上达到统一,更好地反映企业发展的需要。

全书共 9 章。第 1 章主要介绍数控机床产生、发展、组成、原理、分类、特点及发展趋势;第 2 章主要介绍数控机床的操作知识;第 3 章主要介绍加工的工艺基础知识;第 4 章主要介绍有关数控程序的基础知识、数控坐标系及常用基本编程指令;第 5 章主要介绍数控车床的常用编程指令、刀具补偿及实际加工编程举例;第 6 章主要介绍加工中心(数控铣床)的常用编程指令、刀具补偿及实际加工编程举例;第 7 章主要介绍 FANUC 系统的宏编程基础知识及 A、B 类宏的编程应用;第 8 章主要介绍了线切割编程加工的基础知识、工艺知识、编程方法及实际应用编程举例;第 9 章综述了 CAD/CAM 基础概念与应用,重点介绍了 Pro/E 的基础知识,并以实例介绍了 Pro/E 的自动编程过程。

本书主要作为应用型本科院校的机械工程及其自动化、机械设计制造及其自动化、机械电子工程等机械类专业的教材,或作为广大自学者及工程技术人员的自学和培训用书,对从事数控技术应用加工和研究的科技人员也有一定的参考价值。

本教材参考学时 60 课时,有关章节内容可根据专业要求及学时情况酌情调整。

参加本书编写的院校和教师有:第 1 章、第 2 章、第 9 章由河南科技大学杨丙乾老师编写;第 3 章由新乡学院姬清华老师编写;第 4 章由河南理工大学童景琳老师编写;第 5 章由河南科技学院王占奎老师编写;第 6 章由河南科技学院王振宁老师编写;第 7 章由南阳理工学院孙新国老师编写;第 8 章由南阳理工学院赵玉军老师编写。全书由杨丙乾老师担任主编并完成全书的统稿工作。

本书在编写过程中参阅了同行专家学者和一些院校的教材、资料和文献,在此谨致谢意。由于编者水平有限,书中难免存在不足之处和错误,敬请读者批评指正,以便进一步修改。

编 者

目 录

第 1 章 概论	1
1.1 数控机床的产生与发展过程	1
1.1.1 数控机床的产生	1
1.1.2 数控机床的发展	2
1.2 数控机床的工作原理与组成	5
1.2.1 数控机床的工作原理	5
1.2.2 数控机床的组成	6
1.3 数控机床的种类与特点	7
1.3.1 数控机床的种类	7
1.3.2 数控机床的工艺特点	12
1.3.3 数控机床的使用要求	13
1.4 数控机床的发展趋势	14
第 2 章 数控机床的操作	18
2.1 数控机床的操作常识	18
2.1.1 数控机床操作的一般常识	18
2.1.2 数控机床操作的安全常识	26
2.1.3 数控机床的维护与保养	27
2.2 数控车床的基本操作	29
2.2.1 概述	29
2.2.2 数控车床的操作界面	30
2.2.3 数控车床的基本操作	33
2.3 加工中心（数控铣）的基本操作	35
2.3.1 概述	35
2.3.2 加工中心（数控铣）的操作界面	35
2.3.3 加工中心（数控铣）的基本操作	42
第 3 章 数控加工工艺设计基础	46
3.1 概述	46
3.1.1 数控加工工艺过程	46
3.1.2 数控加工的工艺特点	48
3.1.3 数控工艺设计的内容与步骤	48
3.2 数控工艺分析	49
3.2.1 数控加工内容选择	49

3.2.2	数控加工工艺性分析	50
3.3	数控工艺方案考虑的主要问题	52
3.3.1	工件装夹方案确定	52
3.3.2	数控加工工序与工步的划分	52
3.3.3	数控加工走刀路线的确定	53
3.4	机床和工艺装备选择	56
3.4.1	机床选择	56
3.4.2	刀具选择	58
3.4.3	装夹方式与夹具的选择	71
3.5	工艺参数选择	77
3.5.1	切削用量确定	77
3.5.2	对刀点和换刀点位置的确定	80
3.6	数学处理	80
3.6.1	编程轨迹与运动轨迹	81
3.6.2	数控处理的任务	81
3.6.3	数学处理的方法	82
3.6.4	数控加工误差的构成	84
3.7	数控工艺文件的填写	84
3.7.1	数控编程任务书	85
3.7.2	工件装夹与原点设定卡	85
3.7.3	数控加工工序卡	86
3.7.4	数控加工走刀路线图	86
3.7.5	数控加工刀具选择卡	86
第 4 章	数控编程与加工基础	90
4.1	数控程序编制的概念	90
4.1.1	数控程序与编制	90
4.1.2	数控程序编制的内容	90
4.1.3	数控程序的编制方法	92
4.2	数控程序的结构	93
4.2.1	主程序与子程序	93
4.2.2	数控程序段	96
4.2.3	字与字的功能	98
4.3	数控机床的坐标系	107
4.3.1	机床坐标系	107
4.3.2	编程坐标系	110
4.3.3	加工坐标系	110
4.4	数控编程与加工中的各种点	111
4.4.1	坐标系原点与参考点	111

4.4.2	刀位点与对刀点	112
4.4.3	起刀点、下刀点和换刀点	113
4.4.4	基点与节点	114
4.5	基本编程指令	114
4.5.1	直线运动控制指令 G00、G01	114
4.5.2	圆弧运动控制指令 G02、G03	116
4.5.3	坐标系建立指令 G50 (G92)	118
4.5.4	绝对/增量坐标值转换指令 G90/G91	120
4.5.5	坐标平面选择指令 G17/G18/G19	121
4.5.6	坐标尺寸公/英制选择指令 G20/G21	121
4.5.7	坐标系选择指令 G54~G59	121
4.5.8	刀具半径补偿指令 G41、G42、G40	123
第 5 章	数控车床编程与加工	128
5.1	概述	128
5.1.1	数控车床的加工特点	128
5.1.2	数控车床的工艺范围	129
5.2	数控车床的常用编程指令	130
5.2.1	数控车削加工的 F、S、T 功能	130
5.2.2	切削速度控制指令	131
5.2.3	直径/半径编程指令	133
5.2.4	单一固定循环指令	136
5.2.5	复合固定循环指令	140
5.2.6	螺纹切削指令	144
5.3	数控车床的刀具补偿与编程要点	150
5.3.1	数控车床的刀尖半径补偿	150
5.3.2	数控车床的刀具位置补偿	153
5.3.3	数控车床的编程要点	154
5.4	数控车床加工编程综合举例	154
第 6 章	加工中心（数控铣床）编程与加工	158
6.1	加工中心概述	158
6.1.1	数控加工中心的组成	158
6.1.2	数控加工中心的分类	158
6.1.3	加工中心（数控铣床）的加工特点	161
6.1.4	加工中心（数控铣床）的工艺范围	162
6.2	加工中心常用编程指令	163
6.2.1	加工中心的程序代码	163
6.2.2	加工中心（数控铣床）加工的 F、S、T 功能	167

6.2.3	孔加工循环指令	167
6.2.4	坐标旋转 (G68, G69) 编程指令	178
6.2.5	极坐标编程指令 G15、G16	180
6.2.6	比例缩放 G50/G51	181
6.2.7	镜像编程指令 G50.1/G51.1	183
6.3	加工中心 (数控铣床) 刀具补偿与编程要点	185
6.3.1	加工中心 (数控铣床) 的刀具半径补偿	185
6.3.2	加工中心 (数控铣床) 的刀具长度补偿	190
6.3.3	数控铣床的特点及编程要点	191
6.4	加工中心 (数控铣床) 编程综合举例	193
6.4.1	外形铣削 (凸轮加工)	193
6.4.2	挖槽加工	195
6.4.3	孔系加工	200
6.4.4	简单曲面加工	204
第 7 章	数控加工宏编程	207
7.1	概述	207
7.1.1	概念	207
7.1.2	宏编程的技术特点	209
7.1.3	变量及其应用	210
7.2	FANUC 系统的 A 类宏程序及其应用	212
7.2.1	宏调用指令	213
7.2.2	宏功能指令	219
7.2.3	编程实例	224
7.3	FANUC 系统的 B 类宏程序及其应用	228
7.3.1	宏功能基本指令	228
7.3.2	宏功能控制指令	230
7.3.3	编程实例	234
第 8 章	数控电火花线切割机床编程与加工	249
8.1	概述	249
8.1.1	数控电火花线切割加工原理	249
8.1.2	数控电火花线切割机床及特点	250
8.1.3	坐标系	252
8.2	数控电火花线切割加工工艺	252
8.2.1	工件的装夹与调整	252
8.2.2	电极丝的选择与调整	255
8.2.3	加工参数选择	257
8.3	数控电火花线切割加工的编程方法	258

8.3.1 分隔符格式程序编制	258
8.3.2 地址符格式程序编制	264
8.4 综合加工应用编程举例	267
第 9 章 数控加工自动编程技术	271
9.1 概述	271
9.1.1 自动编程技术的产生	271
9.1.2 自动编程技术的特点	271
9.1.3 自动编程技术的发展趋势	272
9.2 CAD/CAM 技术介绍	272
9.2.1 CAD/CAM 与数控加工的关系	273
9.2.2 CAD/CAM 软件的技术特点	273
9.2.3 国内外流行的 CAD/CAM 软件	274
9.2.4 CAD/CAM 技术的发展趋势	275
9.3 Pro/NC 应用介绍	275
9.3.1 Pro/NC 概述	275
9.3.2 Pro/NC 数控加工编程实例	285
参考文献	300

第1章 概 论

数控机床是典型的机电一体化产品，它是集成了计算机应用技术、微电子技术、精密检测技术、自动控制技术、机械加工技术等于一体的具有高效率、高精度、高柔性和高自动化的机、光、电一体化装备。

所谓数字控制（Numerical Control, NC），是指借助数字、字符或其他符号对某一工作过程（如加工、测量、装配等）进行控制的自动化技术。而数控机床（Numerical Control Machine Tools），就是采用数字控制技术的机械加工机床。具体地说，就是利用计算机，通过数字化信息（数控指令）来自动完成机床各个坐标轴的协调运动，准确地控制机床运动部件的速度和位移量，按加工的动作顺序要求自动控制机床各个部件的动作。

随着科技的发展、社会的进步，机电产品的发展趋势是多品种、小批量、高精度、结构更复杂，尤其是在航空航天、造船、机床、重型机械和国防工业等部门，这些特点更加突出。采用普通机床加工这些产品，效率低、劳动强度大，有时甚至无法加工，而采用专用机床加工这类零件又显得不够合理，因为调整或改装专用刚性自动线的投资大、周期长，有时甚至根本无法实现。为此，迫切需要一种灵活的、通用的、能够满足产品频繁变化的“柔性”自动化加工机床或生产线，而数控机床因其采用高度自动化的数字化控制技术，完全可以满足这一需求。

数控机床与 CAD/CAM 技术相结合，更加凸显出数控加工的优越性。以 CAD/CAM 技术作为支撑、以数控机床为平台的机械制造体系将会成为一个现代化制造企业的衡量标志。

1.1 数控机床的产生与发展过程

1.1.1 数控机床的产生

第二次世界大战期间，美国军方为了解决计算大量军用数据的难题，成立了由宾夕法尼亚大学莫奇利和埃克特领导的研究小组，开始研制世界上第一台电子计算机。经过三年的紧张工作，第一台电子计算机终于在 1946 年 2 月 14 日问世了，这台电子计算机采用电子管元件，重 30t，占地面积 167m²，功率 150kW。

电子计算机的出现极大地推动了自动控制、信息处理等技术的发展，也催生了采用数字控制技术用于机械加工的思想。

1948 年，美国北密歇根州的一个小型飞机工业承包商帕森斯公司（Parsons Corporation）接受美国空军委托，研制飞机螺旋桨叶片轮廓样板的加工设备。由于样板形状复杂多样，精度要求高，一般加工设备难以胜任，他们便利用全数字电子计算机对叶片轮廓的加工路径进行了数据处理，并据此提出了计算机控制机床加工的设置。

1949 年，帕森斯公司与美国麻省理工学院伺服机构研究室联合开始数控机床研究。1952 年，美国麻省理工学院在一台立式铣床上，装上了一套试验性数控装置，成功地实现了同时控制三轴的运动，世界上第一台数控机床就此诞生。1954 年 11 月，在帕森斯公司专利的基础上，

第一台工业用的数控机床由美国的本迪克斯公司（Bendix-Corporation）生产出来。

数控机床的出现是制造技术发展过程中的一个重大突破，标志着制造领域中数控加工时代的开始。数控加工是现代制造技术的基础，这一发明对于制造行业而言，具有划时代的意义和深远的影响。

1.1.2 数控机床的发展

数控机床的发展过程主要是数控装置和机床结构功能的发展过程。

1. 数控装置的发展

数控装置的发展主要体现在电子元器件技术的发展上。从 1952 年第一台数控机床诞生至今，纵观数控机床半个多世纪的发展，其数控装置的发展共经历了两个阶段六代的发展。

第一代数控机床的数控装置采用电子管元件，体积庞大，价格昂贵，只有航空工业等少数有特殊需要的部门用来加工复杂型面零件。

1959 年，电子行业研制出晶体管元器件，因而数控装置中广泛采用晶体管和印制电路板，从而跨入了第二代，使数控装置体积缩小，成本有所下降。1960 年以后，较为简单和经济的点位控制数控钻床和直线控制数控铣床得到较快发展，使数控机床在机械制造业各部门逐步获得推广。

1965 年，出现了第三代的小规模集成电路数控装置，不仅体积小，而且功率消耗少，使数控装置的可靠性得以进一步提高，价格进一步下降，促进了数控机床品种和产量的发展，从而使数控装置的发展进入到第三代。

以上三代 NC 系统，由于其数控功能均由硬件实现，所以又称为硬件数控。它的特点是具有很多硬件电路和连接结点，电路复杂，可靠性不好，这是数控装置发展的第一阶段。

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装置（Direct Numerical Control, DNC），又称群控系统；采用小型计算机控制的计算机数控装置（Computer Numerical Control, CNC），使数控装置进入了以小型计算机化为特征的第四代。

1970 年前后，美国英特尔公司开发了超大规模集成电路的微处理器。1974 年，美、日等国首先研制出以微处理器为核心的数控装置的数控机床。20 多年来，微处理器数控装置的数控机床得到飞速发展和广泛的应用，这就是第五代数控（Microcomputer Numerical Control, MNC）。后来，人们将 MNC 也统称为 CNC。第五代与第三代相比，数控装置的功能扩大了一倍，而体积则缩小为原来的 1/20，价格降低了 3/4，可靠性也得到极大的提高。

20 世纪 90 年代以来，随着微电子技术、计算机技术的发展，以个人计算机（Personal Computer, PC）技术为基础的 CNC 逐步发展成为世界的主流，它是自有数控技术以来最有深远意义的一次飞跃。以 PC 为基础的 CNC 通常是指运动控制板或整个 CNC 单元（包括集成的 PLC）插入到 PC 标准插槽中，使用标准的硬件平台和操作系统，这就是第六代数控机床。

后三代是数控装置发展的第二阶段，其数控装置（CNC）主要是由计算机硬件和软件组成，也称为软件数控。其最大特点是利用存储在存储器里的软件控制系统工作，这种系统容易扩大功能，柔性好，可靠性高。

2. 数控机床结构功能的发展

从1952年出现第一台数控机床开始,伴随着数控装置的发展,对数控机床结构和功能的探索发展就没有停止过。

1959年3月,由美国克耐·杜列克公司(KeaneY & Trecker Corp)发明了带有自动换刀装置的数控机床,称为加工中心(Machine Center, MC)。

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 Manufacturing System, FMS)。它是由若干台数控设备、物料运储装置和计算机控制系统组成的,并能根据制造任务和产品品种的变化而迅速进行调整的自动化制造系统。它是为了解决多品种、中小批量生产中效率低、周期长、成本高、质量差等问题而出现的高技术制造系统。大批量生产时,一般采用较大规模的“柔性加工系统”,即柔性生产线,如图1-1所示为北京机电研究院为某企业设计的柔性制造生产线。



图 1-1 柔性制造系统

1980年以后,国际上出现了1台或2~3台加工中心或车削中心为主体,再配合工件自动装卸和监控检验装置,构成柔性制造单元(Flexible Manufacturing Cell, FMC),如图1-2所示。

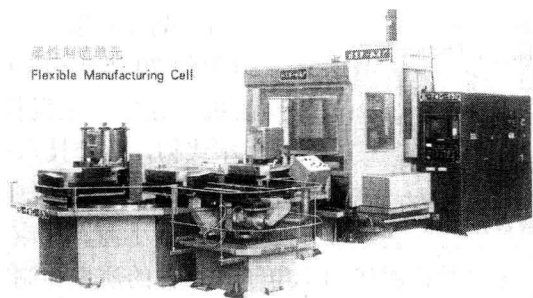


图 1-2 柔性制造单元

把若干FMC和FMS连接起来,配上无人自动物料运送车,加上辅助机器人装卸工件,并由总的中央计算机统一管理和自动检验装置,就构成了计算机集成制造系统(Computer Integrated Manufacturing System, CIMS)。

传统机床的布局属于串联机构,其特点是工作范围大、灵活性好、精度低、刚性差。为提

高刚性，不得不增加床身和导轨的结构尺寸，由此导致运动范围和灵活性降低。为解决这一矛盾，20 世纪 90 年代提出了并联机床（Parallel Machine Tools, PMT）的概念，也称为虚拟轴机床（Virtual Axis Machine Tools），国际上一般称为并行运动学机（Parallel Kinematic Machine, PKM）。并联机床的典型代表是 Stewart 平台结构，如图 1-3 所示，它由六根伸缩杆和平台组成，动态性较好，但运动范围较小。为解决这一问题，又推出了串、并联机构结合的并联机床，其典型代表是瑞典 NOUSE 公司的 Tricepts 机床。

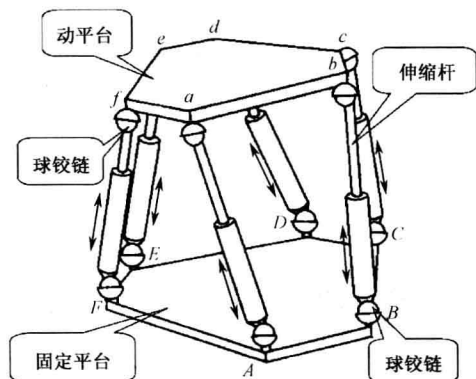


图 1-3 Stewart 平台结构与并联机床

3. 我国数控机床发展概况

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。

20 世纪 50 年代末到 60 年代初，我国 NC 机床处于研制、开发时期，图 1-4 所示为我国 1958 年试制成功的第一台电子管数控机床。当时，我国的一些高等院校、科研单位都投入了人力、物力，从事数控机床的研制工作。

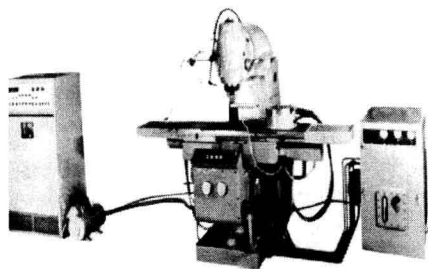


图 1-4 我国第一台电子管数控机床

1959 年，晶体管发明以后，开始研制晶体管数控装置。20 世纪 70 年代初，研制数控铣床、非圆数控齿轮插齿机，在生产上发挥了明显的经济效益。20 世纪 70 年代初，数控技术在车、铣、钻、镗、磨、齿轮加工、电火花、线切割等领域全面展开，数控加工中心也相继在上海、北京研制成功。

20 世纪 70 年代初期，国产数控机床由于电子元器件的质量和制造工艺水平较差，致使数控装置的稳定性、可靠性问题未得到解决。另外，售价也贵。因此，未能广泛推广。

20 世纪 80 年代以后，随着我国实行改革开放，打开国门，我国先后从日本、美国等国家引进了部分数控装置及伺服系统的技术，并消化吸收，开始批量生产。

这些数控装置稳定性好、可靠性高，使数控机床很快地在国内为客户所接受，推动了我国数控机床的稳定发展，使我国的数控机床在质量性能及水平上有了一个质的飞跃。

1985 年，我国数控机床品种也有了新的发展，除各类数控线切割机床外，其他类型的各

种数控金属切削机床, 都有极大发展, 新品种总计 45 种。

1989 年年底, 我国数控机床的品种已经超过了 300 种, 其中数控车床占 40%, 加工中心占 27%。但我国在中高档数控机床领域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、数控装置生产应用推广不力及数控人才缺乏等。

2009 年, 我国在高档数控机床上又有了新的突破。北京第一机床厂研制的 XKA28105300 数控桥式动梁龙门铣床, 机床总宽 22m, 高 15m, 总长 39m, 总重约 900t, 龙门最大通过宽度达 10.5m, 可完成复杂曲面的五坐标联动加工和车铣复合加工, 是目前国内龙门通过宽度最大的超重型数控龙门移动式动梁五轴联动车铣复合机床, 也是目前世界最大规格的龙门机床之一。

1.2 数控机床的工作原理与组成

1.2.1 数控机床的工作原理

数控机床的加工过程如图 1-5 所示。首先根据被加工零件的技术要求和工艺要求, 编写零件的数控加工程序, 然后将数控程序输入到数控装置中, 数控装置对数控程序进行编译、计算等处理后发出运动控制信号, 伺服系统根据接收到的信号驱动机床的主轴运动、进给运动、刀具更换, 以及加工过程中的其他辅助动作, 如工件的夹紧与松开, 冷却、润滑泵的开与关, 从而使刀具、工件和其他辅助装置严格按照加工程序规定的次序、运动轨迹和参数进行工作, 加工出符合图纸要求的零件。

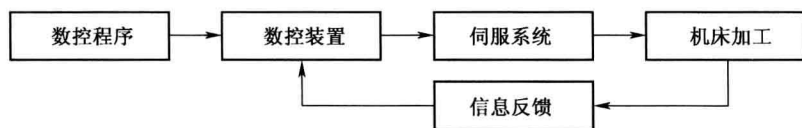


图 1-5 数控机床的加工过程

零件的轮廓线一般由直线、圆弧或其他非圆弧曲线组成, 刀具在加工过程中必须按零件形状和尺寸要求进行运动。但数控程序中只给定了零件加工轮廓线的起点和终点坐标值, 无法满足刀具切削加工的运动控制要求, 因此必须进行刀具运动轨迹的插补计算, 即在线段的起点和终点之间, 按照一定的拟合精度要求再插入一系列中间点, 这种坐标点的“密化计算”称为插补, 如图 1-6 所示。

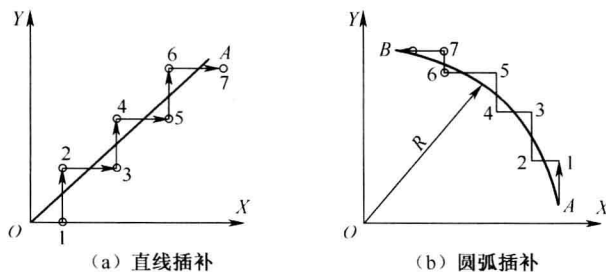


图 1-6 数控插补计算

如图 1-7 所示, 数控装置需要对读入的数控程序进行编译和数据处理, 然后还需进行插补计算, 根据插补计算结果向相应运动轴发出脉冲信号, 控制各运动轴 (即进给运动的各执行元件) 按给定的运动参数对工件进行切削加工。

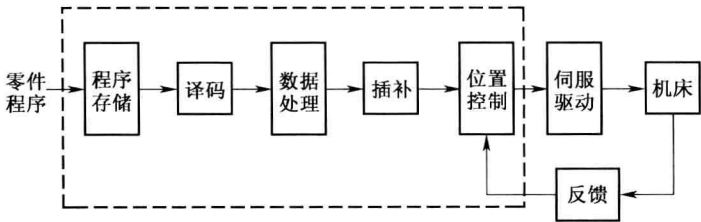


图 1-7 数控装置的工作原理

1.2.2 数控机床的组成

数控机床主要由输入装置、数控装置, 伺服系统、强电控制柜、机床本体和检测反馈系统组成。图 1-8 所示为现代数控机床的组成框图。

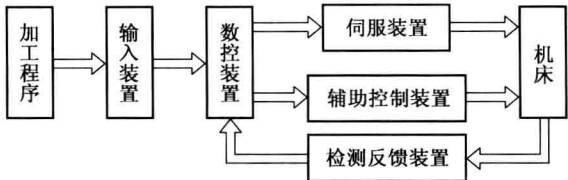


图 1-8 数控机床的组成

(1) 加工程序。加工程序是数控机床自动加工零件的工作指令。它是在对加工零件进行工艺分析的基础上, 确定零件坐标系在机床坐标系中的相对位置, 即工件在机床上的安装位置, 刀具与工件的相对运动位置关系; 工件加工的工艺路线、切削加工的工艺参数以及辅助装置的动作等。得到工件加工的所有运动、尺寸、工艺参数等信息后, 用由字符、数字和符号组成的标准数控代码, 按规定的方法和格式编制零件加工的数控程序单。编制程序的工作可由人工进行。对于形状复杂的零件, 则要在专用的编程机或通用计算机上进行自动编程, 如 APT 或 CAD/CAM 编程。

编好的数控程序存放在便于输入到数控装置的存储载体上, 可以是穿孔纸带、磁带、磁盘、U 盘等, 采用哪一种存储载体, 取决于数控装置的设计类型。

(2) 输入装置。输入装置的作用是将程序载体 (信息载体) 上的数控代码传递并存入数控装置内。根据控制存储介质的不同, 输入装置可以是光电阅读机、磁带机或软盘驱动器等。数控机床加工程序也可通过键盘用手工方式直接输入数控装置; 数控加工程序还可由外部编程计算机通过 RS-232C 或网络通信方式传送到数控装置中。

运行数控程序对零件进行加工的方式有两种: 一种是数控程序存储于外部计算机中, 通过数据线将外部计算机与数控装置相连, 运行加工时边读入边加工 (数控装置内存较小时); 另一种是将数控程序全部读入数控装置内部的存储器, 加工时数控装置直接从内部存储器中逐段调出进行运行加工。

(3) 数控装置。数控装置是机床实现自动加工的核心, 主要由操作系统、主控制系统、可编程控制器、各类 I/O 接口等组成。它的主要功能有: 多坐标控制和多种函数的插补; 数控程

序输入、编辑和修改功能；信息转换功能；刀具补偿功能；加工方法选择；显示功能；自诊断功能；通信和联网功能。其控制方式有两类：数据运算处理控制和时序逻辑控制。其中，主控制器内的插补运算模块是通过译码、编译等信息处理，进行相应的刀具轨迹插补运算，并通过与各坐标伺服系统位置、速度反馈信号比较，从而控制机床各个坐标轴的移动；而时序逻辑控制通常主要由 PLC 来完成，它根据机床加工过程中的各个动作要求进行协调，按各检测信号进行逻辑判别，从而控制机床各个部件按次序工作。

(4) 伺服装置。伺服装置是数控系统的执行部分，主要由驱动控制装置（含功率放大器）和执行机构等组成，并与机床的执行部件和机械传动部件相连接组成进给系统。伺服装置接收来自数控装置发出的速度和位移信号，经功率放大后，控制执行部件的移动速度、方向和位移，以加工出符合图纸要求的零件。

因此，它的伺服精度和动态响应性能是影响数控机床加工精度、表面质量和生产率的重要因素之一。驱动装置包括控制器和执行机构两大部分。目前大多采用直流或交流伺服电动机作为执行机构。

(5) 辅助控制装置。辅助控制装置的主要作用是接收数控装置输出的开关量信号指令，经过编译、逻辑判别和动作，再经功率放大后驱动相应的电气元器件，驱动机床的机械、液压、气动等辅助装置完成指令规定的开关量动作。这些控制包括主轴运动部件的变速、换向和启/停指令，刀具的选择和交换指令，冷却、润滑装置的启动、停止，工件和机床部件的松开、夹紧，分度工作台转位分度等开关辅助动作。

由于 PLC 具有响应快、性能可靠、易于使用、可进行程序编辑和修改，并可直接启动机床开关等特点，现已广泛用作数控机床的辅助控制装置。

(6) 检测反馈装置。检测反馈装置用于检测数控机床各坐标轴的实际位移量，经反馈系统输入到机床的数控装置之中，数控装置将反馈回来的实际位移量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。

(7) 机床本体。机床本体是指数控机床机械结构实体和液压气动系统（包括润滑、冷却系统），机床机械结构实体主要由主轴传动装置、进给传动装置、床身、工作台及辅助运动装置等组成。但数控机床在整体布局、外观造型、传动系统、刀具系统的结构以及操作机构等方面均已发生了很大的变化。这种变化是为了满足数控机床的性能要求和充分发挥数控机床的工艺特点。其主要变化有：

- ① 采用高性能主传动及主轴部件。
- ② 进给传动采用高效传动件。一般采用滚珠丝杠螺母副、直线滚动导轨副等。
- ③ 具有较完善的刀具自动交换和管理系统。
- ④ 具有工件自动交换、工件夹紧与放松机构。
- ⑤ 床身机架具有很高的动、静刚度。
- ⑥ 采用全封闭罩壳。

1.3 数控机床的种类与特点

1.3.1 数控机床的种类

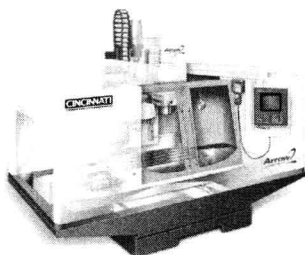
数控机床的种类很多，为了便于了解和研究，可以从不同的角度对其进行分类。

1. 按工艺用途划分

(1) 金属切削类数控机床：与传统通用机床品种相对应，数控机床也有数控车床、数控铣床、数控镗床、数控钻床、数控磨床、数控齿轮加工机床等。装有刀库具有自动换刀功能的数控机床称为数控加工中心，简称加工中心。加工中心目前主要有两类：一类是在镗、铣床基础上发展起来的数控铣削加工中心；另一类是在车床基础上发展起来的，称为车削加工中心。图 1-9 (a) 所示为数控车床，图 1-9 (b) 所示为三坐标铣削加工中心。



(a) 数控车床



(b) 三坐标铣削加工中心

图 1-9 数控机床

(2) 金属成型类数控机床：这类机床属于钣金加工机床，机床的加工成形运动比较简单。如数控折弯机、数控弯管机、数控转头压力机等，如图 1-10 和图 1-11 所示。

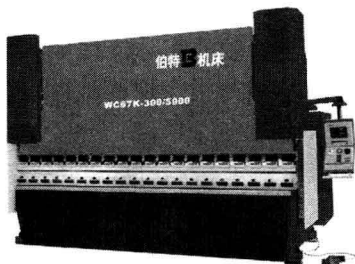


图 1-10 数控折弯机

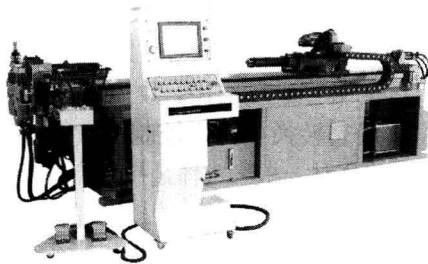


图 1-11 数控弯管机

(3) 数控特种加工机床：主要指利用电能、化学能等能量进行加工的数控机床，这类机床适合加工难加工材料、复杂几何形体等工件，如数控线切割机床（如图 1-12 所示）、数控电火花加工机床（如图 1-13 所示）等。

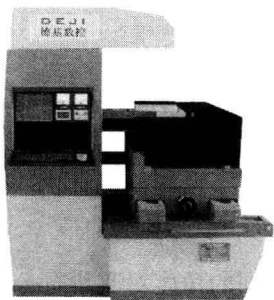


图 1-12 数控线切割机床

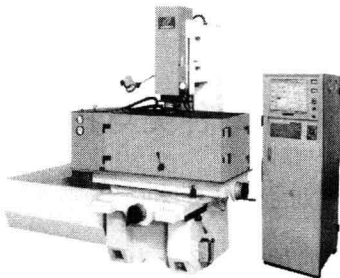


图 1-13 数控电火花加工机床