



研究生教材

CAD基础理论 及应用

赵汝嘉 主编

西安交通大学出版社

研究生教材

CAD 基础理论及应用

赵汝嘉 主编

西安交通大学出版社

内 容 摘 要

本书从研究生教学及对 CAD 系统设计人员的要求出发,全面系统地介绍了计算机辅助设计技术的基础理论及应用。其主要内容有 CAD 系统的基本构成,CAD 系统设计的软件工程方法,CAD 系统中常用的工程设计、分析方法,产品的几何建模及统一数据模型,接口技术,CAD 系统中的专家系统技术以及工业产品造型设计等。

本书既是研究生教材,也可作为本科高年级学生选修课教材,或供从事 CAD 技术工作的工程技术人员特别是 CAD 系统设计人员参考。

(陕)新登字 007 号

CAD 基础理论及应用

赵汝嘉 主编

责任编辑 路 江

*

西安交通大学出版社出版发行

(西安市咸宁西路 28 号 邮政编码 710049)

陕教社彩印厂印装

陕西省新华书店经销

*

开本:850×1168 1/32 印张:12.375 插页:1 字数:371 千字

1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷

印数:1——3000

ISBN7-5605-0722-0/TH·36 定价:13.00 元

研究生教材总序

研究生教育是为国家培养高层次人才的,它是我国高等教育的最高层次。研究生必须在本门学科中掌握坚实的基础理论和系统的专门知识,具有从事科学研究或担负专门技术工作的能力。这些要求具体体现在研究生的学位课程和学位论文中。

认真建设好研究生学位课程是搞好研究生教学的重要环节。为此,我们组织出版这套以公共课和一批新型学位课程为主的研究生教材,以满足当前研究生教学的需要。这套教材的作者都是多年从事教学、科研,具有丰富经验的教师。

这套教材首先着眼于研究生未来工作和高技术发展的需要,充分反映国内外最新学术动态,使研究学习之后能迅速接近当前科技发展的前沿,以适应“四化”建设的要求;其次,也注意到应有的基本理论和基本内容,以保持学位课程内容的相对稳定性和系统性,并具有足够的深广度。

这套研究生教材虽然从提出选题、拟定大纲、组织编写到编辑出版,都经过了认真的调查论证和细致的工作,但毕竟是第一次出版这样高层次的系列教材,水平和经验都感不足,缺点和错误在所难免。希望通过反复的教学实践,广泛听取校内外专家学者和使用者的意见,使其不断改进和完善。

西安交通大学研究生院
西安交通大学出版社

研究生教材总序

研究生教育是为国家培养高层次人才的,它是我国高等教育的最高层次。研究生必须在本门学科中掌握坚实的基础理论和系统的专门知识,具有从事科学研究或担负专门技术工作的能力。这些要求具体体现在研究生的学位课程和学位论文中。

认真建设好研究生学位课程是搞好研究生教学的重要环节。为此,我们组织出版这套以公共课和一批新型学位课程为主的研究生教材,以满足当前研究生教学的需要。这套教材的作者都是多年从事教学、科研,具有丰富经验的教师。

这套教材首先着眼于研究生未来工作和高技术发展的需要,充分反映国内外最新学术动态,使研究学习之后能迅速接近当前科技发展的前沿,以适应“四化”建设的要求;其次,也注意到应有的基本理论和基本内容,以保持学位课程内容的相对稳定性和系统性,并具有足够的深广度。

这套研究生教材虽然从提出选题、拟定大纲、组织编写到编辑出版,都经过了认真的调查论证和细致的工作,但毕竟是第一次出版这样高层次的系列教材,水平和经验都感不足,缺点和错误在所难免。希望通过反复的教学实践,广泛听取校内外专家学者和使用者的意见,使其不断改进和完善。

西安交通大学研究生院
西安交通大学出版社

前 言

计算机辅助技术在工业部门中广泛深入地应用,已显示出它强大的生命力及巨大的技术、经济效益和社会效益。自 80 年代中期以来,CAD,CAM 的单元技术日趋成熟,正向 CAD/CAM 集成化、智能化方向发展,已成为计算机集成制造系统(CIMS)最基础的关键技术之一。CAD/CAM 技术发展到今天,它已不仅是一项新的应用技术,而且已成为一个高新技术的产业。国家科委根据我国计算机辅助技术的发展、应用情况以及在“六五”、“七五”规划期间所取得的成果,决定于“八五”期间在工矿企业中全力推广 CAD 技术,即制定及执行“CAD 应用工程”这一重大项目,将 CAD/CAM 从一项应用技术发展成为高新技术产业。其中对从事 CAD 技术工作的各层次人员的培训是其重要的一环,我校研究生院根据这一发展趋势及研究生的教学需要,决定增设一门研究生公共基础课——CAD 基础理论及应用,并组织编写相应的教材。根据课程教学大纲的要求,本书主要介绍 CAD 的基础理论及其关键技术和 CAD 系统的设计方法,并辅以应用实例,做到既有基础理论,又有实际应用,为 CAD 技术在各领域中的应用作好理论准备;书中还介绍了目前应用广泛的 CAD 软件支撑系统,为建立 CAD 系统提供一定的参考资料。

本书根据教学大纲的要求,先编写成讲义,经过多次教学实践,并在广泛听取意见的基础上修订而成。

目前,国内出版的有关 CAD 内容的书籍并不少,但它们大多偏重于某一方面或局限于某一专业领域,而全面系统地介绍 CAD 技术基础理论及系统设计方法的则很少。本书正是从这点出发,将两者结合起来,并以培养 CAD 系统的设计人员作为目的。为此,要求学员在学习本书时,须具备一些 CAD 技术的初步知识,这也是符合研

究生教学要求的。

全书共由八章组成,分为三个部分:第一部分是CAD系统的软、硬件组成概貌及其发展趋势,介绍国内外CAD系统发展的水平。由于CAD技术发展极其迅速,计算机技术也日新月异,所以读者在学习本书时还望密切注意有关信息及最新进展,这一部分主要包括第一章、第二章及第七章的部分内容;第二部分介绍CAD系统的软件工程设计方法,以期读者在开发CAD系统时,能按软件工程专业规范进行,这部分内容主要体现在第三章;第三部分内容是其余各章节,主要介绍在CAD技术中常用的基本理论及方法,其中有些内容,例如有限元分析、优化设计、可靠性设计及机电产品设计方案决策方法等等,因篇幅关系,同时考虑到有相应的研究生课程,故这部分只作概念性介绍,通过有关章节学习,可建立起基本概念,为进一步学习提高打下基础。

全书由赵汝嘉主编,其中第三章由梁连生编写,第七章由白作霖编写,第八章由张定红编写,其余各章均由赵汝嘉执笔。本书由西北工业大学蔡青教授、西安交通大学唐照民教授审阅,对于他们提出的许多宝贵意见,作者表示最诚挚的谢意。由于编写时间仓促,使用时间不长,作者们水平有限,错误疏漏之处在所难免,恳请读者批评指正。

作者 于西安交通大学

1993年3月

目 录

前言

第一章 概述.....	(1)
第二章 CAD 系统的概貌	(25)
§ 2-1 引言	(25)
§ 2-2 CAD 系统的硬件组成	(31)
§ 2-3 CAD 系统的软件组成	(39)
§ 2-4 CAD 系统的设计方法	(86)
§ 2-5 CAD 的类型	(92)
习题	(97)
第三章 CAD 软件工程方法	(99)
§ 3-1 软件工程的基本概念	(99)
§ 3-2 软件开发流程	(105)
§ 3-3 系统功能模型分析方法 IDEF0	(112)
§ 3-4 工程化 CAD 软件的文件规范	(122)
习题	(134)
第四章 接口技术	(135)
§ 4-1 人机接口	(135)
§ 4-2 用编程语言生成图形接口文件	(140)
§ 4-3 系统间的接口	(160)
习题	(177)
第五章 CAD 系统中的工程设计方法	(178)
§ 5-1 机电产品设计过程的方法论	(178)
§ 5-2 产品设计方案决策支撑系统	(183)
§ 5-3 有限元分析	(205)
§ 5-4 最优结构设计	(240)
§ 5-5 集成分析系统	(248)

§ 5-6 可靠性设计	(156)
习题	(268)
第六章 几何建模	(270)
§ 6-1 图形变换	(270)
§ 6-2 图形的运算与裁剪	(276)
§ 6-3 几何建模	(286)
习题	(316)
第七章 专家系统技术	(319)
§ 7-1 基本概念	(319)
§ 7-2 知识的谓词逻辑表示法	(325)
§ 7-3 知识的语义网络表示法及其推理	(330)
§ 7-4 知识的规则表示法及其推理	(337)
§ 7-5 知识的框架表示法及其推理	(346)
§ 7-6 知识获取	(352)
§ 7-7 专家系统实例——圆柱齿轮减速器设计专家 系统(CGREST)	(355)
习题	(367)
第八章 计算机辅助工业产品造型设计	(368)
§ 8-1 概述	(368)
§ 8-2 计算机辅助造型设计步骤	(374)
§ 8-3 计算机辅助造型设计实例	(376)
习题	(383)
缩写索引	(384)
参考文献	(386)

第一章 概述

计算机辅助设计 CAD(Computer Aided Design)和计算机辅助制造 CAD(Computer Aided Manufacturing)在工业部门中的广泛应用,已成为人们所熟悉的并能推动生产前进的新技术。在国外,CAD 和 CAM 早期是分别沿着各自的特点而发展的,CAM 的出现略先于 CAD。CAD 以 1959 年美国麻省理工学院(MIT)召开的 CAD 规划会议为开端,经过 30 多年的发展,至今它们的单元技术已日趋成熟。然而 CAD/CAM 技术决不是两者的简单叠加,CAD/CAM 是一个整体名字,一项整体技术,它是以集成化为其主要特征的多学科的综合应用,所涉及的内容遍及计算机科学、计算机图形学、系统工程、人工智能、机器人学,现代设计方法及机械制造等多个学科领域。CAD/CAM 技术是把某一个过程经数字化后输入计算机,进行计算和处理,并由计算机控制,以所要求的物化形式输出。在这个过程中,人可以通过交互系统进行必要的干预,使设计过程、制造过程、管理过程不仅达到信息化和自动化,而且达到系统的全局最优化。图 1-1 是 CAD/CAM 系统的功能结构。

图 1-2 是一个理想的 CAD/CAM 系统,它表达了一个集成的概念。

CAD/CAM 技术是近十几年来在生产领域中发展起来的崭新技术。它的出现,使传统的机械制造生产过程发生了极其深刻的变化,由人工经验设计转变为自动化或半自动化方式的理论设计和优化设计,并对生产过程作全局最优化的组织与控制,以适应市场瞬息多变的需求。在机械制造行业中,当前市场的特点是多品种、小批量生产起主导作用,国际生产工程研究学会对美国、日本和西欧工业部

门调查表明：当前大量生产仅占 5% 左右，大批生产占 10%左右，而小批量生产约占 50%，单件生产占 35%。为此，从 50 年代开始，人们就致力于探求适应多品种、小批量、高效生产的途径，CAD/CAM 技术就在这种背景下应运而生了。

早在 50 年代，MIT 首次开发了自动控制铣床，这导致自动编程语言 APT(Automatic Programming Tool)的诞生，接着在 1963 年，MIT 在美国计算机联合会年会上发表了有关 CAD 项目的 5 篇论文。同年 CAD 的先驱者之一 Sutner Land 开发了 Sketchpad 软件包，它设想使用交互图形功能进行设计，有关图形变换的功能也就在这时提出来了。

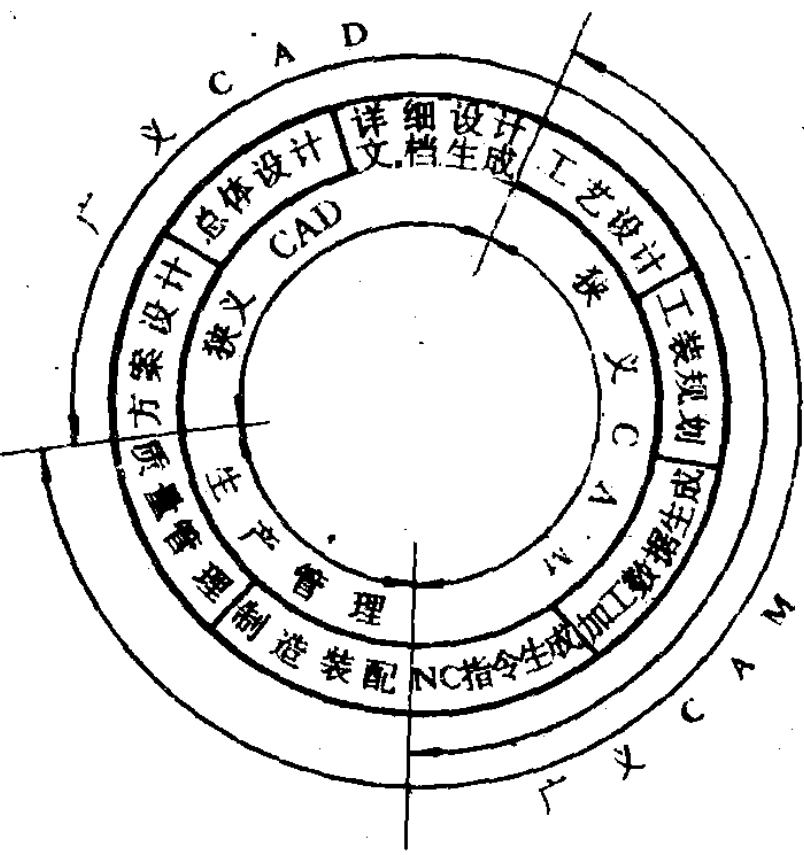


图 1-1 CAD/CAM 系统的功能结构

1964 年，美国通用摩托公司宣布开发了 DAC-1 系统，其硬件是 IBM 公司提供的，DAC-1 比较侧重于产生图形拷贝，而不是交互技

术。

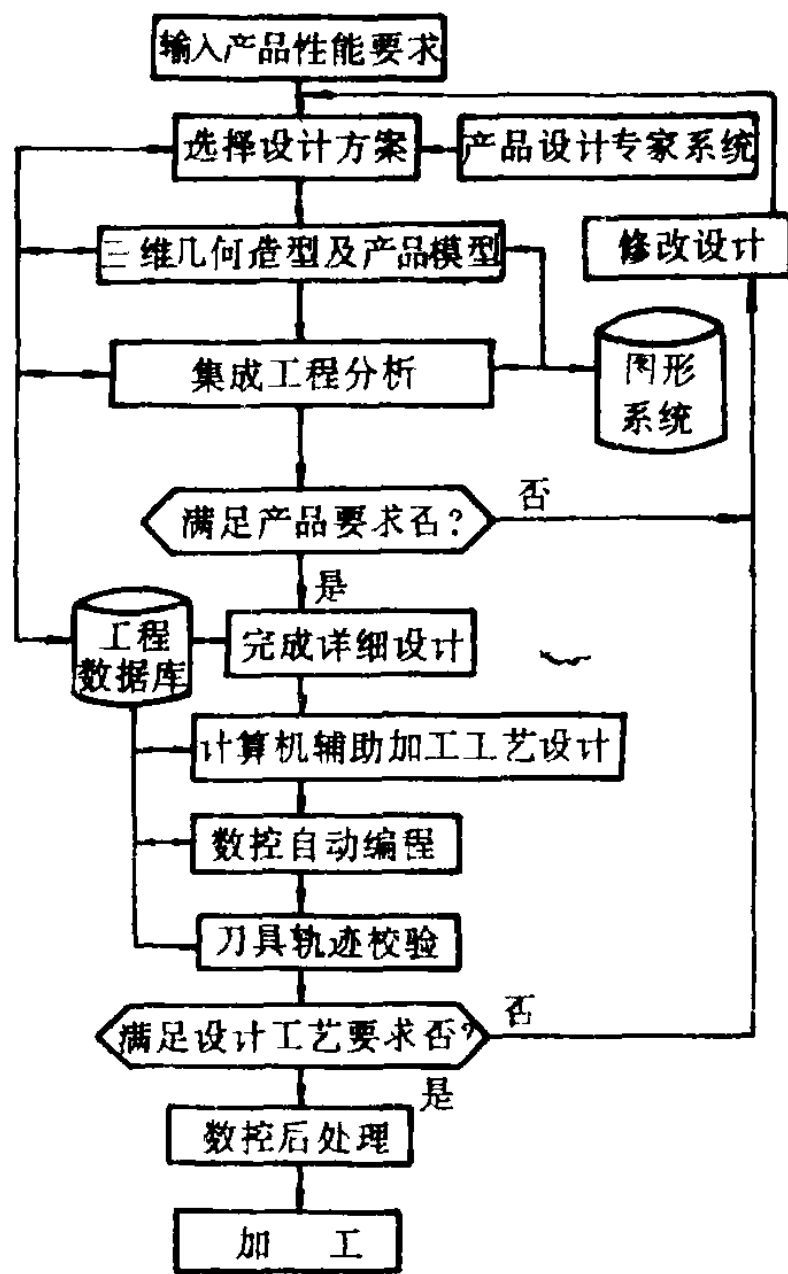


图 1-2 CAD/CAM 的集成

1965 年,举世闻名的 Bell 实验室宣布图形遥控显示系统研制成功。该系统带有 DEC-340 显示器,PDP-5 控制处理器,并与 IBM-7094 相连接,可用于印刷电路、图形排列和布线或框图设计、文本编

辑等。这是用以实现 CAD 设想非常早期的工具,它是分布式交互工作站的雏型。

1967 年 MIT 的 S. A. Coons 教授提出一种在计算机上表示面的方法,最先提出交互设计的概念。同时 Freeman 提出了消除隐藏线的算法。

1978 年波音公司和通用摩托公司证实了 CAD/CAM 集成化技术的有效性,并描述了如何建立 CAD 与 CAM 之间的联系。70 年代初期,世界上约有 200 台套 CAD/CAM 系统,而且大部分是非商品化设备,这类系统采用强大的主机与多个图形终端连接的结构,只有财力雄厚的大型企业才能配置得起这样的系统。

到了 70 年代中期,随着小型机的出现,使系统的价格大幅度地下降,从此 CAD/CAM 获得飞跃的发展,有代表性的是 1976 年市场上出现的所谓“TURNKEY SYSTEM”,它引起人们极大的兴趣,这是由单一卖主提供的全套组合在一起的硬件和软件系统。其硬件通常由小型机与一个或几个智能终端连接而成,软件则包括所有应用领域的程序。同时卖主还提供从机器安装到人员培训、维修等多种服务,以至安装后,用户不需要进行任何开发工作,打开机器立即可以使用,这个特点使“TURNKEY SYSTEM”成为 CAD/CAM 当时销售的主流形式。

自 80 年以来,世界上 CAD/CAM 技术发展的另一个特点是 32 位超级微机工程工作站的兴起,在 1980 年推出工作站后,目前已有几十万台套的工作站在运行。工作站的特点是:

(1)有强的图形功能 除高精度外,高速处理图形信息是很重要的一环,选用三维图形加速器,使图形处理速度大为提高。

(2)有强的网络功能 分布式 32 位工作站,除本身功能外,还加强了其多用户网络功能。

CAD/CAM 发展到今天,已形成一个技术密集、投资较大的新兴产业。可以预料,在今后几年内,计算机处理能力将会有个质的

变化,且深深地影响 CAD/CAM 系统;在应用方面,美国制造工程协会、密执安大学以及英国生产工程师协会曾联合调查,采用德尔菲法对 CAD/CAM 的应用作出如下分析:

1990 年美国有 25% 的中小型企业采用 CAD/CAM,并有 25% 的机械制造厂实现了 CAD/CAM 集成化,英国和日本也有 10% 的机械制造厂采用 CAD/CAM。预计 1995 年英国和日本都将有 25% 的中小型企业采用 CAD/CAM 技术。

从市场情况看,美国已有 300 多家独立的 CAD/CAM 系统供应商,居领先地位的是 IBM 公司。根据美国 NC(Numerical Control)协会和 ADL 公司报道,1982 年美国 CAD/CAM 市场销售额为 16 亿美元,1986 年达 44 亿美元,80 年代后期达到 50~70 亿美元,预计 90 年代初计算机集成制造系统 CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)的年成交额可达 980 亿美元。

事实充分表明,机械工业的深入发展是与计算机在机械工业中的应用分不开的。随着计算机的发展,其应用范围也将不断扩大。图 1-3 说明 CAD/CAM 在机械制造业中应用的发展过程。从图中可以看出大致分为下列几个阶段:

(1) 初始阶段 即 50 年代到 60 年代,这时出现的是第一、二代计算机,其内存容量一般不超过 100KB,运算速度为 $10\mu\text{s}$ 左右,外存储器大量使用的是磁带,因此,提供给用户使用的方式是脱机操作。这个时期内,计算机在机械工业中主要应用领域有:

- 1) 机械设计等方面的科技计算;
- 2) 数控加工技术的采用;
- 3) 企业的财务计算。

(2) 60 年代后期,随着第三代计算机的发展,出现了高速度、大容量、多功能的大型通用计算机,其运算速度为 $10^{-1}\sim 1\mu\text{s}$,内存容量为 10MB,可提供功能较强的通道硬设备。随着显示终端的大量使用以及短程数字通讯技术的应用,出现了联机形式的人-机对话操

作,开拓了计算机应用的新领域,人们可以在不同地点通过终端设备随时要求计算机服务,这样就出现了多机系统。在这个时期内,计算机在机械制造业中的应用范围进一步扩大。其主要内容为:

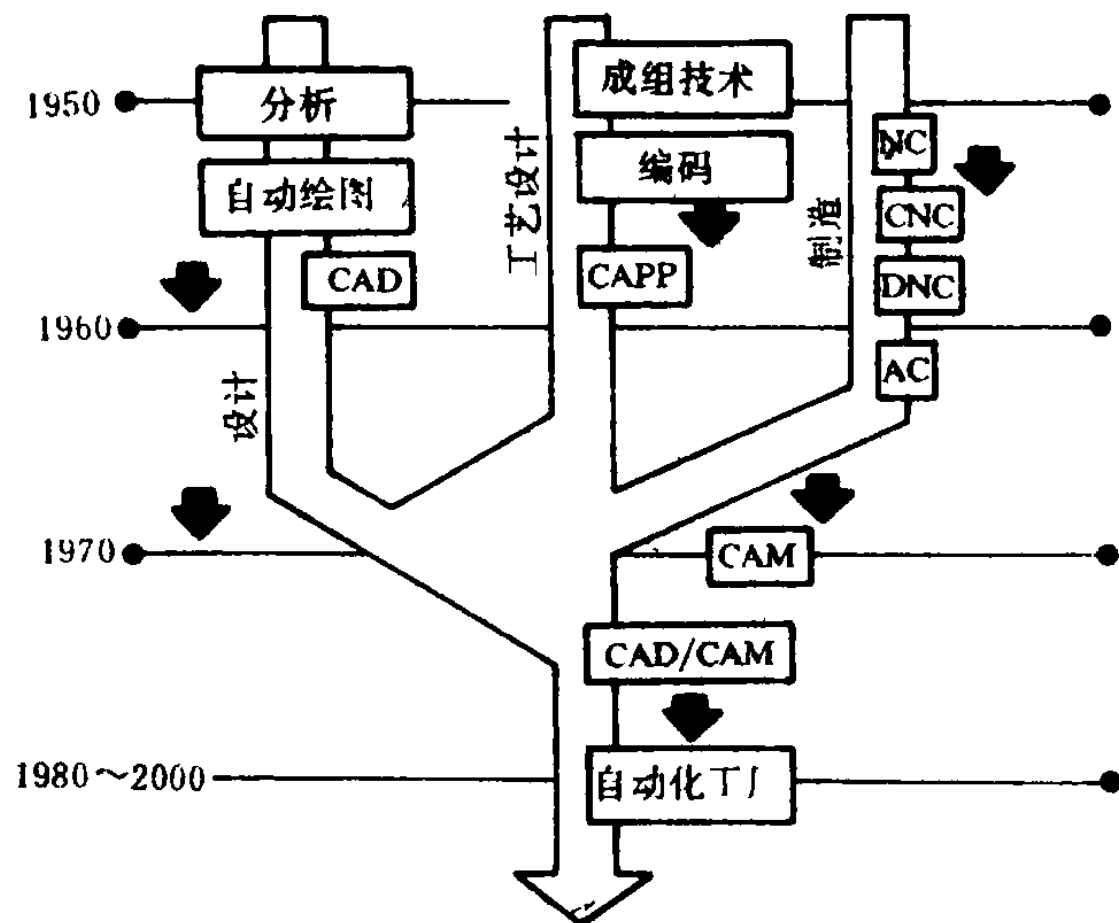


图 1-3 CAD/CAM 在机械制工业中应用的发展过程

- 1)用于设计方案的动态修改 由于计算机外围设备(例如绘图机)有了发展,使设计结果能以图形方式输出;又由于图形显示终端的出现,能进行实时输入/输出的交互式设计。
- 2)用于机械制造工艺过程 开始出现了计算机辅助工艺设计 CAPP (Computer Aided Process Planning)系统,计算机数控系统 CNC (Computer Numerical Control)和计算机直接数控系统 DNC (Direct Numerical Control)。
- 3)用于企业管理 计算机的应用已渗透到企业管理的各个方面,如生产规划及生产调度最优化、生产过程的材料消耗、成本核算、

仓库自动管理、产品销售等等,从而逐步建立起工厂企业管理所需的较为完整的管理体系,MRP I (Material Requirement Plan I)。

自 70 年代以后,由于大规模集成电路技术的发展,微型计算机的性能迅速增强,而价格大幅度下降,特别是 32 位微型计算机问世,使得计算机在机械工业中的应用发展到一个新的阶段,今后以 32 位微型计算机为基础的网络系统将在我国为数众多的中小型企业中起主导作用。

80 年代中后期,286 微机曾风靡全球,80 年代末 386 机又轰动一时,90 年代初 486 微机开始走红,并成为主流产品。这种发展节拍正好与莫尔规律相吻合,即每隔两年就有一种新的芯片推出。最近 586,芯片又登上舞台,这将标志着芯片技术的又一次飞跃。

新一代计算机结构不断地发展,出现了精简指令集(RISC)的计算机结构。在这种结构中,优化了指令集,统一了指令格式,增加了大量寄存器和指令的流水线操作,使 CPU 工作时间大幅度地降低,从而提高了运行速度。

精简指令集 RISC 与复杂指令集 CISC 两者之间的比较如表 1-1 所示。

表 1-1 RISC 与 CISC 比较

RISC	CISC
指令集小(50~70 条)	指令集大(>1 000 条)
指令简单	指令复杂(有许多宏指令)
大部分为寄存器操作	寻址方式复杂
指令格式固定	指令宽度可变
内部寄存器多(32~256 个)	内部寄存器少(<32 个)
大部分指令执行只需要一个周期	指令执行需要多个周期
时钟频率高(20~100Hz)	时钟频率低(40Hz)

从上表比较中,可看出采用 RISC 技术将原有 CISC 处理器性能提高 2~4 倍。

典型的 RISC 结构计算机的特点为:

- 1) CPU 通过能力强;
- 2) 以 UNIX 作为操作系统;
- 3) 有优良的多用户和分时功能;
- 4) 有很好的性能价格比。

目前一些国家正在开发第五代计算机系统的体系结构,预期在 20 世纪 90 年代能实现这一目标,未来先进计算机体系结构将处理基于知识的信息。下面所指一些技术和理论学科将影响到它的开发:

超大规模集成电路(VLSI)技术;
分布并行计算;
超高级程序设计语言;
基于知识的专家系统。

第五代计算机的软件解法和硬件解法相结合将给用户带来许多好处,例如:1)智能接口;2)基于知识的管理;3)问题求解;4)推理能力。通过自然图形语言和文本语言与新一代计算机的通讯将是可能的。它们能使用革新的程序设计方法隐式描述要解决的生产问题,这与传统的程序设计方法相反。采用传统的程序设计方法,每一步都以显示输入计算机,而隐式程序设计需要有基于知识的专家系统、问题处理器和推理模块。它们帮助用户有效地解决特殊问题。就 CAD/CAM 系统来说,第五代计算机将支持分层结构所有层上活动的计划和控制来管理完全自动化的工厂。下面对第五代计算机作简要介绍。

1. 第五代计算机的组成部分

第五代计算机是由能用统一的编程语言连接在一起的信息处理网组成的。这样强大的体系结构借助于基于知识的管理和智能输入