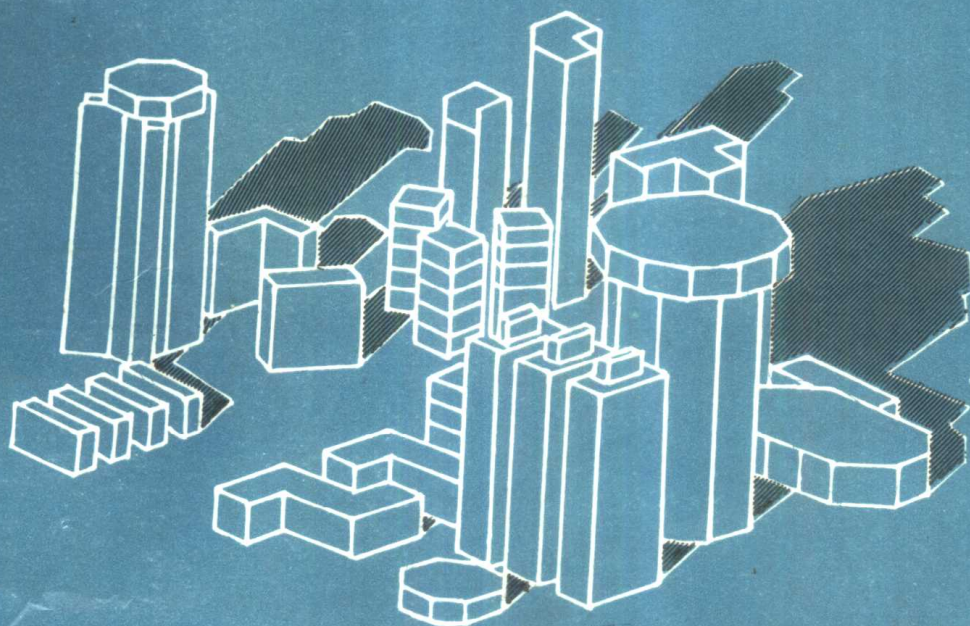


中国计算机软件与技术服务总公司
全国计算机技术培训网统编教材

CAD/CAM 原理

任 仲 贵 主 编



清华大学出版社

936129

TP391.7
225

CAD/CAM 原理

TP391.7
225

任仲贵 张关康 等编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书旨在深入地阐述CAD/CAM系统中各个环节的基本概念、原理和应用方法。主要内容包括：CAD/CAM涉及的硬件和软件系统、软件工程方法、图形标准和数据交换规范；数据结构的应用；图形变换的数学方法；交互图形显示程序设计；二维图形交互设计与自动绘图方法；三维造型（线框造型、曲面造型、实体造型）的原理和方法；布尔运算、欧拉操作、元素分类，体素的巴斯科范式（BNF）定义，典型实体造型系统；优化设计；有限元分析的前置处理和后置处理；数控加工编程和后置处理程序设计；以及集成化CAD/CAM系统等。书中还附有适量的习题、实例和程序。

本书主要作为高等工科院校机械、建筑、宇航、电子、水电、轻纺等专业的CAD/CAM教科书或对工程技术人员进行继续教育用的教材，也可以作为CAD/CAM系统设计、开发和使用的科技、工程和管理人员的参考书，以及CAD/CAM类高级程序员考试必读之书。

CAD/CAM原理

任仲贵 主编

*

清华大学出版社出版

北京 清华园

北京枫叶印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本：787×1092 1/16 印张：35.5 字数：908千字

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

印数：0001—5000

定价：19.80元

NBS17-202-00960-0/TP • 353

前 言

第一次工业革命以来,产品的设计和制造被认为是工程领域中两个不同的概念和范畴。计算机技术的诞生,计算机科学和工程科学的结合与相互渗透,产生了计算机辅助设计和辅助制造(CAD/CAM)技术,使传统的设计和制造方法以及组织生产的模式发生了深刻变化。今天的设计和制造含义,包含着许多新概念、新理论和新方法。

CAD/CAM技术可以在生产中创造巨大的效益。在当前条件下,企业为增强应变和生存能力,参与国际合作,进入国际竞争,采用CAD/CAM技术是必不可少的前提。另一方面,CAD/CAM又属于高技术范畴,具有投资强度大、智力密集的特点。高技术的目标在于形成高技术产业,以带动整个产业结构的变革。美国波音飞机公司、麦克唐纳-道格拉斯公司、IBM、DEC、CDC等计算机公司都是高技术产业的典型。我国高技术产业已涉及生物工程、自动化、信息、航天等技术领域。自动化技术主要包括两个方面:智能机器人和计算机集成制造系统(CIMS)。CAD/CAM技术既是CIMS的主要组成部分,又是信息技术和航天技术的重要辅助工具。同时,我国也面临用CAD/CAM技术改造现有企业的艰巨任务。因此,CAD/CAM技术有着极其广阔的发展前景。为使CAD/CAM技术在企业中发挥决定性作用,需要长期的技术积累和人员素质的提高。在工业发达国家,为了培养技术发展和市场竞争所需要的人才,许多大学对有关学科专业的教学计划作了调整,增设了相应的课程和实践环节,而CAD/CAM原理(基础)是80年代以来对工科学生普遍设置的一门高技术应用基础课。

对高等工科院校和相应的工程技术人员进行CAD/CAM技术教育也适合我国目前的情况。鉴于此,编者在综合多年科研和教学工作的基础上编写了本书。其目的在于使读者掌握CAD/CAM的基本概念、基础知识和基本方法,了解当前CAD/CAM技术的应用水平,把读者引入计算机应用技术既令人赞叹又促人奋进的广阔领域,同时还使读者开阔技术思路,改善知识结构,提高对不同学科概念相互渗透、交叉和结合的认识,从而为从事CAD/CAM技术和研究计算机集成制造技术打下基础。

为便于读者学习,我们将CAD/CAM技术涉及的主要内容分十一章叙述,各章相对独立,可根据读者专业或基础的不同,组合有关章节进行教学。

本书由任仲贵主编。第一、二、四、六、七、十、十一章由任仲贵编著,第三、八两章由张关康编著;第五章由王诺鹏编著;第九章由任仲贵、宋丽娟编著。

在编写过程中,得到同行前辈和专家们的热情鼓励和支持。参阅了唐荣锡教授的部分手稿。朱心雄教授对编写大纲提出了宝贵意见。本书部分内容还选取了北京航空航天大学703教研室部分教师和研究生的教学和科研成果。美国麦克唐纳-道格拉斯信息系统公司CAD/CAM顾问区志杰先生、郑涑友先生给予了热情支持并提供了图片,吴广茂也提供了照片。工学硕士郭良云、刘永宽、苗云辉、杨应在准备资料方面做了许多工作,在此一并表示衷心感谢。

由于作者水平所限,书中谬误遗漏之处难以避免,如蒙读者惠予指正,编者将不胜感激。

编著者于北京航空航天大学

1989.8

目 录

第一章 CAD/CAM 引论	(1)
1.1 引 言	(1)
1.2 CAD/CAM 技术发展概况	(4)
1.3 CAD/CAM 系统	(5)
1.4 CAD/CAM 技术发展 趋势	(13)
习 题	(16)
第二章 CAD/CAM 硬件、软件和软件工程方法	(17)
2.1 引 言	(17)
2.2 CAD/CAM 硬件系统的配置	(17)
2.3 CAD/CAM 软件系统	(25)
2.4 软件工程方法	(30)
2.5 图形软件标准的基本概念	(42)
2.6 图形核心系统GKS	(45)
2.7 其他图形标准和规范 (IGES)	(53)
习 题	(64)
第三章 数据结构原理和应用	(66)
3.1 引 言	(66)
3.2 线性表结构	(67)
3.3 链表结构	(76)
3.4 树结构	(86)
3.5 查找和排序	(95)
习 题	(100)
第四章 图形变换的数学方法	(101)
4.1 引 言	(101)
4.2 二维图形的基本变换	(101)
4.3 二维齐次坐标变换与矩阵表示	(103)
4.4 三维图形变换	(115)
4.5 三维投影变换	(127)
习 题	(135)
第五章 交互式计算机图形显示原理和程序设计	(136)
5.1 引 言	(136)
5.2 交互式图形显示系统	(136)
5.3 图形显示处理	(144)

5.4	交互式图形输入技术	(154)
5.5	三维图形显示	(159)
5.6	图段及其应用	(176)
5.7	光栅图形显示	(181)
	习 题	(198)
第六章	二维图形的几何定义与绘图	(199)
6.1	引 言	(199)
6.2	点、直线和圆的数学表示方法	(199)
6.3	列表点曲线的处理	(207)
6.4	自动绘图及其程序设计	(231)
6.5	交互式绘图系统	(241)
	习 题	(252)
第七章	三维几何造型的原理和方法	(253)
7.1	引 言	(253)
7.2	线框造型	(254)
7.3	实体造型	(256)
7.4	曲面造型	(320)
	习 题	(342)
第八章	工程优化设计方法	(344)
8.1	引 言	(344)
8.2	一维优化方法	(352)
8.3	无约束最优化方法	(359)
8.4	约束最优化方法	(369)
8.5	应用实例	(374)
	习 题	(379)
第九章	有限元分析系统的前置处理和后置处理	(380)
9.1	引 言	(380)
9.2	有限元法的基本概念	(383)
9.3	有限元分析的前置处理	(388)
9.4	有限元模型与元素库	(412)
9.5	有限元分析的后置处理	(417)
9.6	典型有限元分析软件简介	(434)
	习 题	(438)
第十章	数控加工原理和程序设计	(439)
10.1	引 言	(439)
10.2	数控机床的特点和分类	(439)
10.3	数控加工编程	(447)
10.4	数控机床指令格式	(454)
10.5	数控加工零件编程实例	(465)

10.6	数控自动编程技术.....	(467)
10.7	后置处理程序设计.....	(476)
	习 题.....	(494)
第十一章	集成化CAD/CAM 系统	(495)
11.1	引 言.....	(495)
11.2	ICC系统的概念和组成.....	(498)
11.3	ICC系统与数据库.....	(502)
11.4	CAD/CAM 集成技术	(508)
11.5	CAD/CAM 集成化的步骤	(524)
	习 题.....	(528)
附录 I	二维几何定义子程序	(529)
附录 I	圆弧样条曲线程序	(539)
附录 II	通用后置处理程序	(543)
附录 IV	B₁K211A专用后置处理程序	(550)
参考文献		(554)

第一章 CAD/CAM 引论

1.1 引言

计算机辅助设计 (Computer Aided Design) 和计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing), 简称 CAD/CAM, 是指以计算机作为主要技术手段来生成和运用各种数字信息与图形信息, 以进行产品设计和制造。它可以使远非单纯人脑所能承担的设计和制造任务当作日常工作处理, 其处理的复杂程度, 将随着一代又一代新的计算机硬件和软件的出现而不断提高。

CAD/CAM技术是最近20年来迅速发展起来的一门新兴的综合性计算机应用系统技术。本世纪40年代出现第一台计算机, 50年代出现第一台数控机床, 60年代出现交互式图象显示设备、定义自由曲面的方法和力学计算的有限元法, 70年代出现工作站 (Workstation) 和造型技术 (Wireframe Modeling、Solid Modeling、Surface Modeling)、数据库技术, 80年代出现智能机器人技术和专家系统, CAD/CAM 历经形成、发展、提高和集成各个阶段。市场环境 (企业竞争、产品市场寿命短)、设计环境 (开发新产品的成功率要高而设计周期短)、制造环境 (多品种、小批量和高质量) 的变化是CAD/CAM技术发展的动力。今天, CAD/CAM已经渗透到工程技术和人类生活的几乎所有领域, 并日益向纵深发展。迄今为止, 在计算机技术的应用领域中, CAD/CAM的覆盖率可达60%。

CAD/CAM技术主要服务于机械、电子、宇航、建筑、轻纺、管道敷设等产品的总体设计、外形设计、结构设计、优化设计、运动机构的模拟设计、有限元分析的前后置处理、物体质量特性计算、工艺过程设计、数控加工、检验测量等环节。它涉及计算机科学、计算数学、计算几何、计算机图形学、数据结构、数据库、数控技术、软件工程、仿真技术、机器人学、人工智能等新的学科领域。

CAD/CAM技术具有高智力、知识密集、更新速度快、综合性强、效益高、初始投入大等特点。它是当前国际上科技领域的前沿课题, 也是世界各国竞相大量投资的高技术—集成化制造系统 (Computer Integrated Manufacturing System, 简称CIMS) 的核心技术基础之一。

在发达国家中, CAD/CAM技术已进入普及阶段, 商品化软件已趋于成熟, 应用普遍, 因而使产品的设计制造和组织生产的传统模式产生了深刻的变革。它改变了工程技术人员的工作方式, 缩短了产品研制周期, 显著改善了产品质量, 提高了开发新产品的成功率, 打破了传统上的职业界限, 它使密集性的劳动行业逐步被密集性的中心工厂所代替, 小批量产品生产能以大批量生产效率处理等。目前, CAD/CAM技术在美、英、日、西欧诸国已经形成了一个推动各行各业技术进步的、能够创造大量财富的、具有相当规模的新兴产业部门——软件产业。1987年产值近千亿美元, 现正以每年30%的速率递增。

CAD/CAM技术的发展, 不仅深刻地改变了人们能够借以设计和制造各种产品的常规方

式，而且影响到企业的管理和商业对策。因此，任何一个企业和研究机构要想保持设计和制造中的竞争能力，它就必须努力研究、开发或使用CAD/CAM技术。

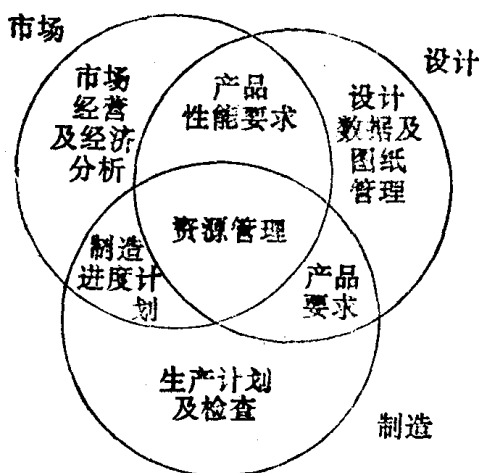


图 1-1 市场、设计、制造的相互关系

设计、制造和市场被看作从设计思想形成到交付产品的生产过程中三个不可分割的组成部分（见图1-1）。市场把产品的需求信息提供给设计部门，设计部门将产品的定义数据和各种参数传送到制造部门，制造部门中的计划职能单位将产品的定义数据（例如几何数据，加工信息等）转换成工艺定义数据和有关产品制造的说明，然后将这些信息传送到工厂的加工现场，工厂据此进行生产。以计算机为基础的计划工作和管理工作，直接订出进度计划并监视制造过程和控制产品质量。

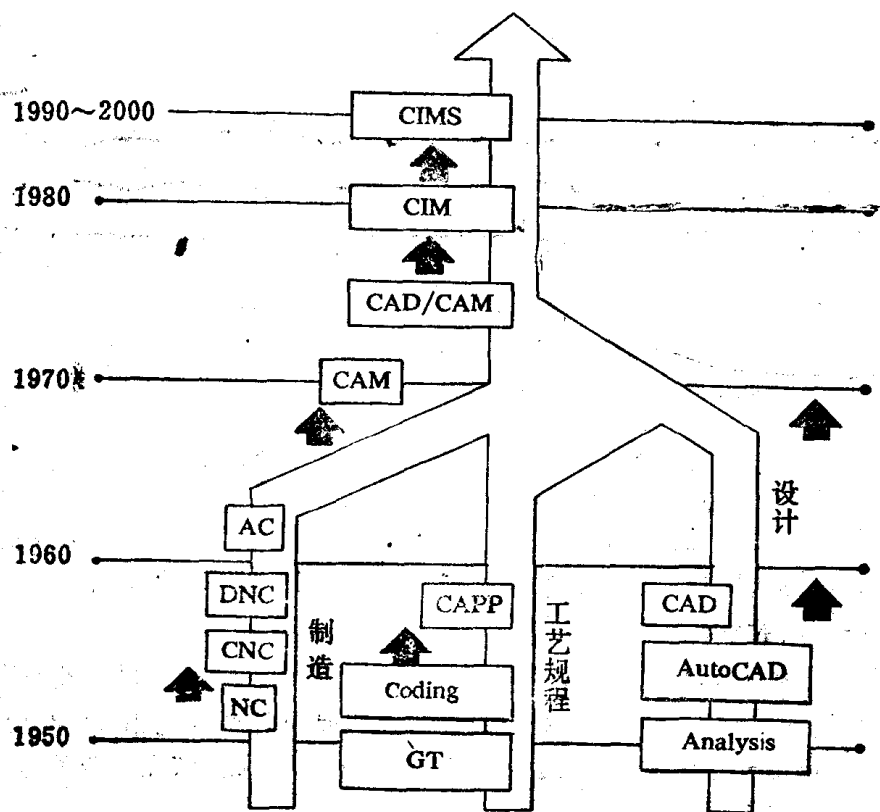


图 1-2 CAD/CAM发展过程

CIMS—Computer Integrated Manufacturing System; CIM—Computer Integrated Manufacturing; CAE—Computer Aided Engineering; CAPP—Computer Aided Process Planning; CAT—Computer Aided Testing; NC—Numerical Control; DNC—Direct Numerical Control; CNC—Computer Numerical Control; AC—Adaptive Control; GT—Group Technology; FMS—Flexible Manufacturing System; MRP—Material Requirement Planning; MIS—Management Information System; MKT—Market; OA—Office Automation; AF—Automation Factory;

从图1-2可以看出CAD/CAM技术的发展过程。随着CAD/CAM技术的日新月异，必然要对产品设计和制造的定义以及商业数据等全部信息的建立、分析、传输和管理自动化提出更

高的要求。这就导致了集成制造CIM技术的产生。这是一种新的制造思想和技术形态，是未来工厂的模式，是信息技术与制造过程相结合的自动化技术与科学。CIM也是CAD/CAM、计算机辅助工程CAE、计算机辅助工艺过程设计CAPP、计算机辅助检测CAT、数控技术NC、DNC、CNC、成组技术GT、柔性制造技术FMS、物料资源规划MRP、管理信息系统MIS、企业管理MKT、办公室自动化OA、自动化工厂AF等自动化技术发展的继续和在更高水平上的集成。图1-3是CIM系统结构示意图。

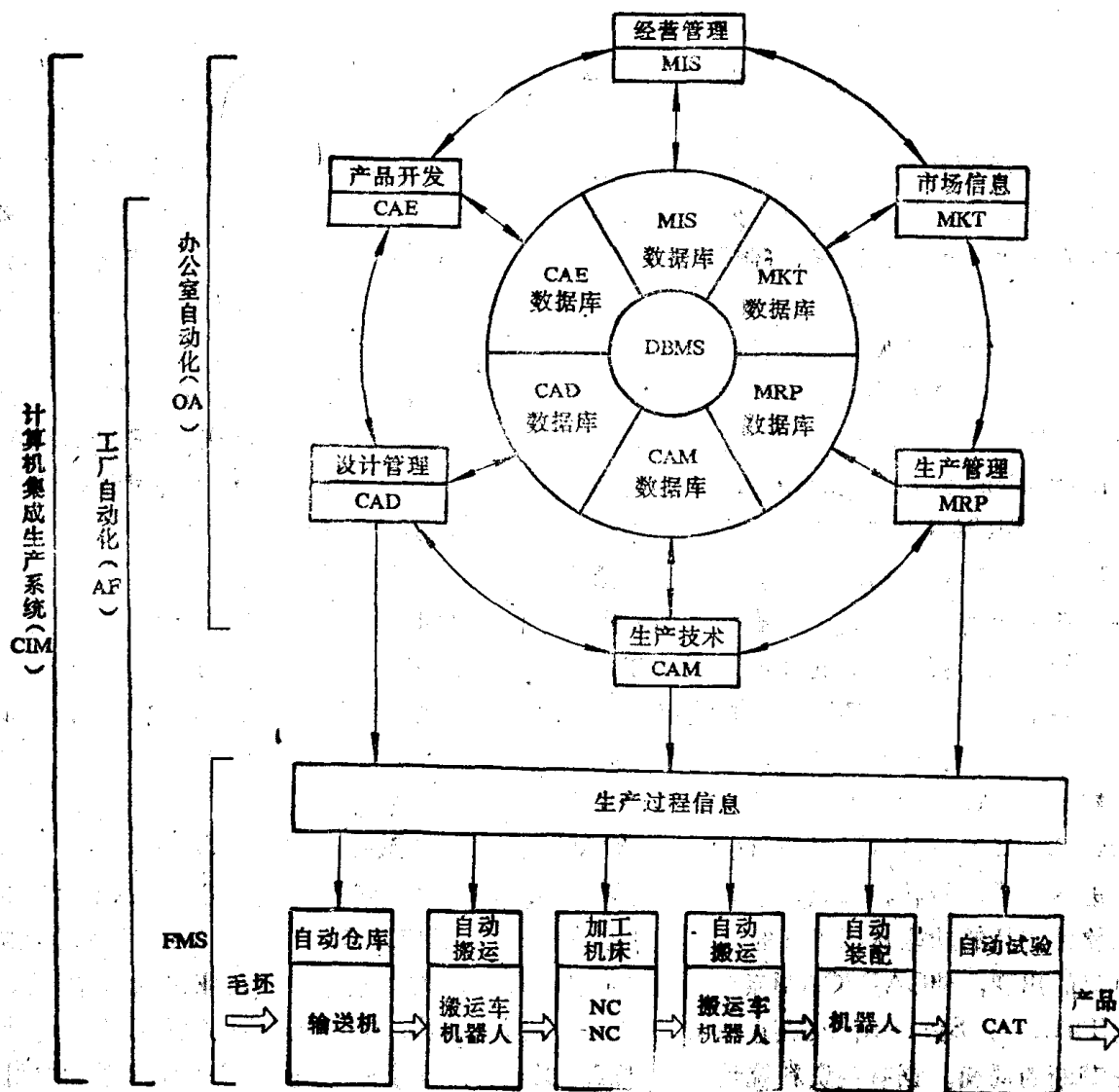


图 1-3 CIM系统结构示意图

CIM概念的产生反映了人们对“制造”有了更深刻的认识。通常，人们仅仅把工艺规划、库存控制、生产及维护等活动称为“制造”，这是一种狭义的理解。从广义上看，制造应包括对产品需求的察觉、产品概念的形成、设计、开发、生产、销售，以及对用户在使用产品过程中的服务等一系列活动。另一方面，过去人们仅仅把制造看作物料的转换过程，即由原材料加工、装配成产品的过程。但实际上“制造”是一个复杂的信息变换和流通过程。在制造过程中，所进行的一切活动都是信息处理系统统一体的组成部分。

CIMS则是在CIM概念指导下建立的制造系统。可以说，它是在信息技术、自动化技术

与制造技术的基础上,通过计算机及其软件把制造过程中各种分散的自动化子系统有机地集成起来,以形成适用于多品种、中小批量生产的、实现总体效益的智能化制造系统。

由此可见,CIMS的主要特征是集成化和智能化。集成化反映了自动化的广度,反映了把系统空间扩展到市场、设计、加工、检验、销售及用户服务等全过程。智能化则体现了自动化的深度,即不仅涉及物质流控制的传统体力劳动的自动化,还包括信息流控制的脑力劳动的自动化。

1.2 CAD/CAM 技术发展概况

CAD/CAM技术源于航空工业和汽车工业。飞机设计和制造涉及总体布局、气动分析、强度计算、动力、操纵、导航、火控、重量控制、材料及加工工艺等十几个学科领域,要做大量的方案比较和参数计算,研制周期紧迫,其结构设计的安全系数小、载荷情况复杂,分析计算的准确度要求高,各学科之间相互制约多,设计修改频繁。正是这种高难度的技术要求为CAD/CAM提供了发挥其特长的广阔天地。

本世纪40年代中期,在美国诞生了第一台电子计算机,这是20世纪科技领域的卓越成就之一。50年代初期,美国麻省理工学院(MIT)研制成功第一台三坐标铣床,并开始研究APT (Automatically Programmed Tools) 系统,50年代末美国CALCOMP公司制成滚筒式绘图机,GERBER公司则制成平台式绘图仪,这些都为发展CAD/CAM技术提供了最基本的物质条件。60年代初,麻省理工学院萨瑟兰德(Sutherland)发表了《SKETCHPAD——人机对话系统》一文,这是一篇世界公认的计算机图形设计系统论文的处女作,为发展CAD/CAM技术提供了理论基础。1963年,在实验室实现了该论文提出的很多技术思想,如屏幕菜单指点、功能键操作、光笔定位、图面动态修改等交互设计技术。1966年,出现了第一台实用的图形显示装置。60年代实验室的研究阶段,使计算机图形学得到长足发展。70年代初期,CAD/CAM技术进入早期实用阶段。美国洛克希德(Lockhead)飞机公司推出了CADAM系统。通用汽车公司研制成功DAC-1自动设计系统。这时,CAD/CAM技术的应用进入电子、船舶、机械、建筑、化工以及轻纺等行业。进入八十年代后,由于计算机硬件和软件产品的功能达到了新的水平,性能价格比大大提高,特别是32位小型机和超级微型计算机的出现,使CAD/CAM系统的硬件配置和软件开发适应了中小企业的承受能力,专用的Turnkey System(交钥匙系统)相继在市场上推出,打破了CAD/CAM技术被大型企业垄断的局面。据有关资料统计,当时西方工业发达国家中安装CAD/CAM系统的用户,每年以30%的速率增长。1979年,美国已有CAD系统12000套,总价值约10亿美元,其中:机械工业占40%,土木建筑占14.5%,电子工业占29%。1981年,日本安装了660套,其中机械工业占49%,电子工业占33.4%,服装工业占7.2%。西欧各国安装了2400套,其中机械工业占35%,宇航和军工占30%,电子工业占20%,土木建筑占10%,其他占5%。到80年代中期,CAD/CAM系统的安装成倍增长。从CAD/CAM系统的销售额来看,美国1978年为1.65亿美元,1981年为7.6亿美元。日本1981年增加了12倍。到1981年,苏联已建成了13个自动设计系统,其中4个属机械产品设计,9个为电子和仪器仪表产品设计。

我国研究CAD/CAM技术始于航空工业。1965年,应用多点加载的弹性梁理论设计了拟合翼型曲线的力学样条算法和机翼外形计算程序,同时以美国的APT I为蓝本研制了具有

2+坐标功能的PCL数控加工自动编程系统SKC-1。在此基础上,以后又发展了SKC-2、SKC-3和CAM251数控加工绘图语言,功能从2+坐标扩大到3、4、5坐标。与此同时,在TQ-16机上发展了若干种拟合飞机外形的曲线、曲面处理系统,在数学方法上使用了 $y=f(x)$ 形式的小挠度样条、孔斯(Coons)参数曲面、可以准确表示二次曲线的有理参数三次样条、非均匀B样条等,并相继研制了SKHT、AD80、飞龙79、飞龙81等数控绘图系统。

科学院的数学所、计算所以及各高等院校的航空宇航制造工程专业和部分数学专业的广大师生是发展CAD/CAM技术的又一支基础扎实、攻关能力强的科技队伍。他们在理论方法的探讨上、在与国外学术界的交往上、在发展各种试验性系统上、在培养CAD/CAM技术人才上,都作出了重要的贡献。

除航空工业外,我国的造船工业也是发展CAD/CAM技术卓有成效的部门。这主要表现在船体的数学放样、线型光顺、绘图以及火焰切割语言、数据库配置、集成化系统的设计等方面都有很多创造。例如,上海造船工艺研究所研制的船舶管路系统的计算机辅助设计系统就颇为先进。

进入80年代中期,CAD/CAM技术已在我国机械、电子、建筑、宇航、轻纺等行业得到了迅速发展。到目前为止,已经引进了近千套大、中、小型机和超级微机的CAD硬件系统、CADAM、CATIA、CALMA、MEDUSA、TIPS、GEOMOD、EUCLID以及ADAN、ANSYS、NASTRAN等大型造型和有限元分析软件系统。但是,硬件利用率较低,软件的应用和二次开发进展缓慢。

根据不完全统计,我国现有自行开发的CAD/CAM大型软件系统有:北京航空航天大学PANDA系统;清华大学的GEMS系统;南京航空学院的B-SURF-3D系统;浙江大学的Message系统;大连理工大学的DSM-3系统;上海交通大学的JID-02系统等。此外,华中理工大学、西北工业大学、水利电力设计研究院、船舶设计研究院以及沈阳、西安、成都、南昌各大飞机公司等CAD/CAM技术开发和应用也相当有成效。其中有些系统已接近世界水平。

1.3 CAD/CAM 系统

物质世界的各种发明创造,都是为了满足人类的需要而发展起来的。在每种情况下,总是先有某种需要,而后产生一种怎样才能满足那种需要的思想,最后经过努力将其变为现实。人们从需要到产生思想,再把这种思想变成实物,一般称其为设计和制造过程。这一过程包括市场需求分析、产品性能要求的确定、总体设计模型的建立、模型的综合分析、结构设计、方案优选、评估决策、工程描述、工艺规程设计、加工、装配和检测等环节(参见图1-4)或者概括地说,产品设计和制造是指从市场需求分析开始,直到形成为产品所必需的一系列有序活动。

从计算机科学的角度看,设计和制造过程是一个信息处理、交换、流通和管理的过程。因此,人们能够对产品从构思到投放市场的整个过程进行分析和控制,即对设计和制造过程中信息的产生、转换、存储、流通、管理进行分析和控制。CAD/CAM系统实质上是一个有关产品设计和制造的信息处理系统。

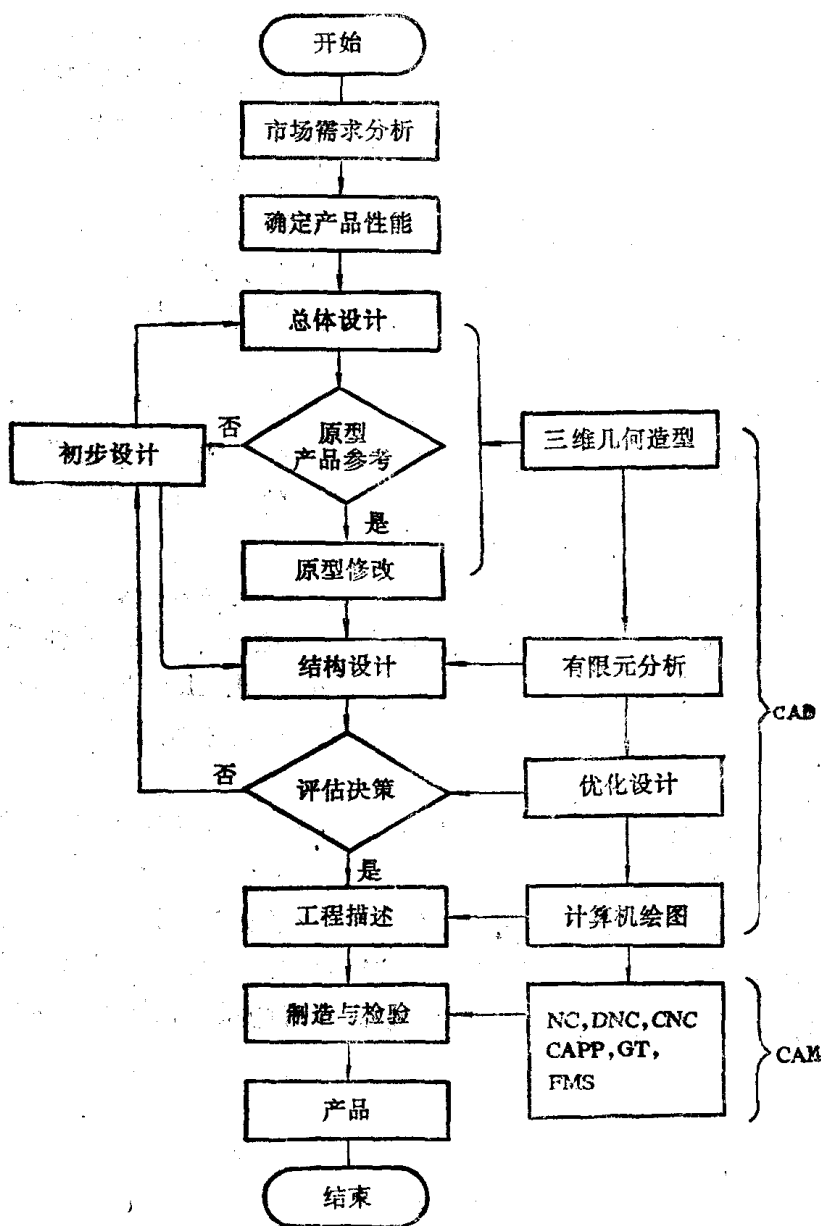


图 1-4 设计和制造的有序流程图

产品的类型虽然成千上万，但其设计和制造的时间顺序模式却大同小异。从图 1-4 可以看出，任何设计制造过程，都是从对一种需求的识别开始。

认识一种需求本身就是一个创造过程。设计者常常在竞争形势的观察中察觉出大量的需求。在对需求进行了认真的分析后，才能进入创造性的工程设计阶段。是重新设计还是改型设计，都应从方案（总体）设计入手，使设计产品模型化，然后进行结构设计。一旦结构设计和性能分析等工作结束，就要与所要求的设计性能进行比较并得到最后的经过优选的各种参数。然后，即可进入零、部件的设计和制造。

为了提高设计师或一个群体解决设计、制造问题的创造性和工作效率，已经提出了多种辅助手段。CAD/CAM 技术就是一种被人们广泛采用的主要辅助手段。这是工业革命以来工程技术

领域中发生的最重大的变化之一。

一、CAD/CAM 系统的类型

根据功能的不同，目前市场上流行的商业性 CAD/CAM 系统，大体上可划分为二种类型。

1. 通用性系统

典型的通用性系统有 CADAM、UG-I、AD2000 等。CADAM 系统是美国洛克希德飞机公司 1965 年开始研制的绘图加工系统，1972 年投入生产使用，1975 年进入市场，目前国际上已有近百家飞机公司和其他部门引用，我国也有十余套 CADAM 系统在使用。CADAM 系

统是在IBM大型机系列和IBM2250光笔图形显示终端上开发的。1982年移植到32位小型计算机上运行。

CADAM的设计思想是使新的计算机绘图方式尽量保持原来工程制图的习惯,用三面投影图描述三维形体。其内部的存储格式是2+坐标的,例如存放一个视图的Z平面位置以及各点的x、y坐标值。该系统可以在屏幕上百分之百地完成一幅工程图的图面设计,包括标注尺寸线和全部图注,可以方便地存储、调用和修改图纸,同时还能对所设计的产品做几何分析、构造有限元模型、生成数控加工指令等。

UG-I (UNIGRAPHICS-I) 是麦道公司1984年推出的商品化CAD/CAM系统,它主要是在VAX计算机的通用环境下开发的,是VAX机上目前最好的机械产品CAD/CAM系统。UG-I虽也能在IBM、DG/MV上运行,但自认为IBM版本尚不够成熟,故现在仍主要在VAX机上运行,它可以使用MICROVAX-I/GPX工作站,也可用VAX-STATION 2000。依赖于VAX/VMS操作系统,最常用的配置是以VAX-11系列或MICROVAX为主机,带专用的D135、D2300或Tektronix4125、4129、4236等图形终端。UG-I也可带IBM PC/AT,并通过4125仿真程序使AT机完全等价于Tektronix终端,从而可运行UG-I的全部原有功能。D135、D2300和Tektronix4236还具有硬件动态显示功能。

UG-I的主要软件有:绘图模块、线框、实体、曲面造型模块,装配与零件设计模块,机构设计模块,有限元前后置处理模块,注塑流场分析模块,二次开发工具模块,数据交换与传输模块,三、四、五坐标加工模块等。

UG-I有较强的模具设计和制造功能。它可以交互设计三维线框模型和曲面模型,圆角过渡处理方便,刀具轨迹计算和干涉检查可靠实用。UG-I已销售近5000套(我国已有近40套),主要应用于注塑模、钣金成型模、冲模的设计和制造上。它是CAD/CAM系统中的后起之秀。

为了满足广大用户的要求,UG-I系统已经有在Apollo、Sun·HP工作站上运行的版本。

AD2000系统是由汉拉蒂(P.J.Hanratty)在通用汽车公司工作的基础上开发的通用性CAD/CAM系统,原则上适用于大、中、小型计算机,1970年开始进入市场。AD2000在CDC计算上的版本称作CD2000。1979年以后,经过扩充、修改,又改称ANVIL4000系统。其功能包括二维和三维几何定义、工程制图、几何分析以及2+、3、4、5坐标数控编程等。它是一个比较好的应用系统。

2. 单功能系统

70年代末,英国剑桥地区以剑桥大学和CAD中心为核心开设了很多小公司,人员组成少而精,由10人到20人不等,每个公司开发一种到两种小系统,专业上相互间有所分工,又彼此协调,地区内配套。例如,它们开发了以下系统:

GDS——通用绘图系统;

MEDUSA——二维和三维几何设计系统;

ROMULUS——体素拼合系统;

FEMGEN、FEMVIEW——有限元法的前置和后置处理系统;

GNC——2+坐标数控编程系统;

POLYSURF——参数曲面定义和加工系统;

CINO-F——通用图形输入输出系统;

GEMS——彩色图像显示和处理系统。

从我国的实际情况出发,目前大多数单位处于单功能系统的开发阶段,所以上述开发模式对我们有一定的参考价值。

二、CAD/CAM系统应具备的功能

1973年,当CAD/CAM还处于初期实用阶段时,国际信息处理联合会IFIP(International Federation of Information processing)曾经给CAD下了一个广义的、并未得到公认的定义:“CAD是将人和计算机混编在解题专业组中的一种技术,从而将人和计算机的最优特性结合起来。”人具有逻辑推理、判断、图形识别、学习、联想、思维、表达和自适应的特点和能力,计算机则以运算速度快、存储量大、精确度高、不疲劳、不忘记、不易出错以及能迅速显示数据、曲线和图形见长。所谓最优特性“结合”,即通过人机交互技术,让人和计算机进行信息交流和分析,互相取长补短,使人和计算机的最优特性都得到充分发挥,从而可以获得最佳的综合效果。

一个比较完善的CAD/CAM系统,是由产品设计制造的数值计算和数据处理程序包、图形信息交换(输入、输出)和处理的交互式图形显示程序包、存储和管理设计制造信息的工程数据库等三大部分构成的。这种系统的主要功能包括:

1. 雕塑曲面造型(Surface Modeling)功能

系统应具有根据给定的离散数据和工程问题的边界条件,来定义、生成、控制和处理过渡曲面与非矩形域曲面的拼合能力,提供汽车、飞机、船舶设计和制造,以及某些用自由曲面构造产品几何模型所需要的曲面造型技术。

2. 实体造型(Solid Modeling)功能

系统应具有定义和生成体素(Primitive)的能力,以及用几何体素构造法 CSG(Constructive Solid Geometry)或边界表示法 B-rep(Boundary representation)构造实体模型的能力,并且能提供机械产品总体、部件、零件以及用规则几何形体构造产品几何模型所需要的实体造型技术。

3. 物体质量特性计算功能

系统应具有根据产品几何模型计算相应物体的体积、表面积、质量、密度、重心、导线长度以及轴的转动惯量和回转半径等几何特性的能力,为系统对产品进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数和数据。

4. 三维运动机构的分析和仿真功能

系统应具有研究机构运动学特征的能力,即具有对运动机构(如凸轮连杆机构)的运动参数、运动轨迹、干涉校核进行研究的能力,以及对运动系统的仿真等进行研究的能力。从而为设计师设计运动机构时,提供直观的、可以仿真的交互式设计技术。

5. 二、三维图形的转换功能

众所周知,设计过程是一个反复修改、逐步逼近的过程。产品总体设计需要三维图形,而结构设计主要用二维图形。因此,从图形系统角度分析,设计过程也是一个三维图形变二维图形,二维图形变三维图形的变换过程。所以,CAD/CAM系统应具有二、三维图形的转换功能。

6. 三维几何模型的显示处理功能。

系统应具有动态显示图形、消除隐藏线(面)、彩色浓淡处理(Shading)的能力,以便使设计师通过视觉直接观察、构思和检验产品模型,解决三维几何模型设计的复杂空间布局问题。

7. 有限元法FEM (Finite Element Method) 网格自动生成的功能

系统应具有用有限元法对产品结构的静、动态特性、强度、振动、热变形、磁场强度、流场等进行分析的能力,以及自动生成有限元网格的能力,以便为用户精确研究产品结构受力,以及用深浅不同的颜色描述应力或磁力分布提供分析技术。有限元网格,特别是复杂的三维模型有限元网格的自动划分能力是十分重要的。

8. 优化设计功能

系统最低限度应具有用参数优化法进行方案优选的功能。这是因为,优化设计是保证现代产品设计具有高速度、高质量、良好的市场销售的主要技术手段之一。

9. 数控加工的功能

系统应具有三、四、五坐标机床加工产品零件的能力,并能在图形显示终端上识别、校核刀具轨迹和刀具干涉,以及对加工过程的模态进行仿真。

10. 信息处理和信息管理功能

系统应具有统一处理和管理有关产品设计、制造以及生产计划等全部信息(包括相应软件)的能力。或者说,应该建立一个与系统规模匹配的统一的数据库,以实现设计、制造、管理的信息共享,并达到自动检索、快速存取和不同系统间的交换和传输的目的。

三、CAD/CAM系统内容

CAD/CAM系统的开发,经历了三个阶段,即:特定产品的小型专用系统(如铣床CAD/CAM系统,冲裁模CAD/CAM系统等)阶段,面向某一类产品的中等专用系统(如机械CAD/CAM系统,建筑CAD/CAM系统,模具CAD/CAM系统等)阶段,以及大型通用CAD/CAM系统开发阶段。

下面通过一个面向机电产品且具有仿真能力的CAD/CAM系统来介绍CAD/CAM系统的主要内容和概貌。

1. 系统开发的原则和技术思想

(1) 系统生成图形和图像的能力并不能等同于它的设计能力。

(2) 系统必须以有效的方式协助设计师工作,以便减轻设计师的负担,使之有更多的精力进行创造性的工作。

(3) 系统必须是设计的全过程的工具,即能为从初步设计到切削加工的数控和检测程序设计这一全过程服务。

(4) 在初步设计阶段,系统应该有效地描述产品设计方案。

(5) 系统应有动态仿真的能力,以便帮助设计师更为精确的进行产品设计。

2. 系统的硬件配置

系统在VAX-11,32位小型机上运行,其硬件配置如图1-5所示。共有三台彩色显示终端;一台为带有线图输入功能的图形输入板;一台为Graphica M-1008,分辨率为1024×1024,每个像素(pixels)占24位,它能产生逼真的图像(在初步设计阶段,只要输入若干

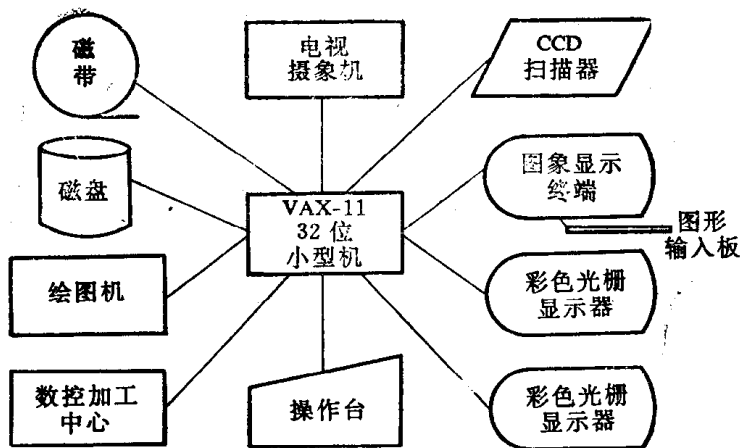


图 1-5 系统硬件配置

物体表面参数的数据，即可产生一幅复杂的具有浓淡处理效果的图像）；另一台光栅式彩色显示终端是Lexidata Solidview，它具有硬件浓淡处理能力，并且能以人机对话的速度运行。扫描器和电视摄像机输入适合于描述电子设备的二维结构和图案，而且，通过采用纹理映射技术，系统可以模拟待设计形体的各种曲面外形。数控加工中心机床直接与主机相连，它通过数控加工模

块或数控加工文件产生刀具轨迹信息，进行铣切加工。

3. 软件配置

图1-6是系统的软件配置简图。系统的执行程序包括下述模块：

(1) 三维交互式造型模块

块

系统的造型模块是一个高水平的交互式模块，采用分层菜单结构。一个模型由一个基本图元集组成，如点、线、弧、椭圆、样条曲线、文本等。造型模块的功能有：

① 生成与删除基本图元；

元；

② 产生平移、旋转、反射、分组、剪取、加边线、变比、展宽等图形变换；

③ 给出每一零、部件的一个面，即可快速地将各个零、部件装配成一个整体；

④ 生成平面、直纹面、旋转面；

⑤ 通过曲面求交，可以得到表示两曲面相交的一条曲线；

⑥ 通过显示文件，程序设计可快速运行。模型可以任何倍率显示，可从任何方位观察，而且可同时开4个窗口。

(2) 工程绘图模块

系统可以绘制高质量的图纸，并能自动标注和修改图元的尺寸和图注。

(3) 设计仿真模块

迄今为止，很多CAD/CAM系统还未能解决人的情绪影响和审美问题。在具有艺术性要求的行业（如工业设计）中，审美能力是不可缺少的。该系统已经实现了基于仿真功能的初步设计，在仿真过程中，能应用三维计算机图形学的浓淡处理和体素绘制技术，模仿设计师的思维过程。其特点是：

① 能生成表面模型。

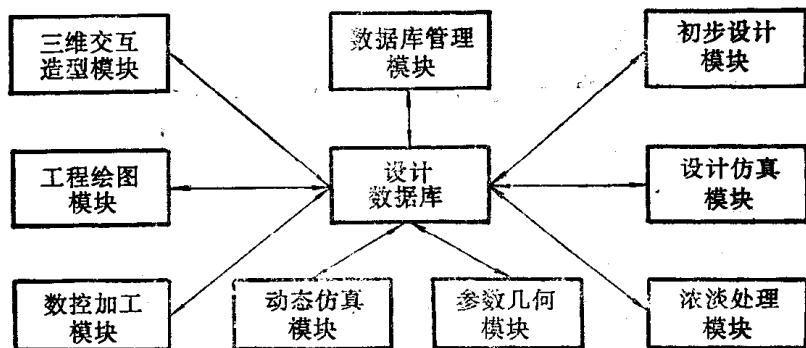


图 1-6 软件配置