



普通高等教育规划教材

模具CAD/CAM

李名尧 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育规划教材

模具 CAD/CAM

主 编 李名尧
副主编 伊启中 周 珏
参 编 孔繁新 赵中华 章争荣
主 审 王高潮



机械工业出版社

CAD/CAM 技术在模具生产中迅速得到普遍应用,深刻地改变了模具生产的面貌,将模具生产引入现代生产模式。本书着重阐述模具 CAD/CAM 的理论与方法,论述了其中的基本知识, CAD/CAM 系统的硬件构成,常用的 CAD 软件以及软件二次开发技术在模具领域的应用,对冲压和塑料模具的 CAD 过程作了较为详细的论述。本书还介绍了与模具 CAD/CAM 技术相关的一些新技术,如高速加工技术、逆向工程技术、快速成形技术和虚拟制造技术等。

图书在版编目 (CIP) 数据

模具 CAD/CAM/李名尧主编. —北京:机械工业出版社, 2004.7
普通高等教育规划教材
ISBN 7-111-14427-9

I. 模… II. 李… III. ①模具—计算机辅助设计—高等学校—教材 ②模具—计算机辅助制造—高等学校—教材 IV. TG76—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 041434 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:张祖凤

责任编辑:冯 铤 版式设计:张世琴 责任校对:刘秀芝

封面设计:陈 沛 责任印制:李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004 年 6 月第 1 版·第 1 次印刷

1000mm×1400mmB5·6.625 印张·252 千字

定价:17.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

普通高等教育应用型人才培养规划教材

编审委员会名单

主 任：刘国荣 湖南工程学院
副主任：左健民 南京工程学院
陈力华 上海工程技术大学
鲍 泓 北京联合大学
王文斌 机械工业出版社

委 员：(按姓氏笔画排序)

刘向东 华北航天工业学院
任淑淳 上海应用技术学院
何一鸣 常州工学院
陈文哲 福建工程学院
陈 峻 扬州大学
苏 群 黑龙江工程学院
娄炳林 湖南工程学院
梁景凯 哈尔滨工业大学(威海)
童幸生 江汉大学

材料成形及控制工程专业教材编委会

主 任：计伟志 上海工程技术大学

副主任：李 尧 江汉大学

王卫卫 哈尔滨工业大学（威海）

委 员：（按姓氏笔画排序）

王高潮 南昌航空学院

邓 明 重庆工学院

齐晓杰 黑龙江工程学院

肖小亭 广东工业大学

李慕勤 佳木斯大学

张 旭 湖南工程学院

周述积 湖北汽车工业学院

侯英玮 大连铁道学院

胡礼木 陕西理工学院

胡成武 株洲工学院

施于庆 浙江科技学院

贾俐俐 南京工程学院

翁其金 福建工程学院

傅建军 华北航天工业学院

序

工程科学技术在推动人类文明的进步中一直起着发动机的作用。随着知识经济时代的到来,科学技术突飞猛进,国际竞争日趋激烈。特别是随着经济全球化和我国加入 WTO,世界制造业将逐步向我国转移。有人认为,我国将成为世界的“制造中心”。有鉴于此,工程教育的发展也因此面临着新的机遇和挑战。

迄今为止,我国高等工程教育已为经济战线培养了数百万专门人才,为经济的发展作出了巨大的贡献。但据 IMD1998 年的调查,我国“人才市场上是否有充足的合格工程师”指标排名世界第 36 位,与我国科技人员总数排名世界第一形成很大的反差。这说明符合企业需要的工程技术人员特别是工程应用型技术人才市场供给不足。在此形势下,国家教育部近年来批准组建了一批以培养工程应用型本科人才为主的高等院校,并于 2001、2002 年两次举办了“应用型本科人才培养模式研讨会”,对工程应用型本科教育的办学思想和发展定位作了初步探讨。本系列教材就是在这种形势下组织编写的,以适应经济、社会发展对工程教育的新要求,满足高素质、强能力的工程应用型本科人才培养的需要。

航天工程的前驱、美国加州理工学院的马·卡门教授有句名言:“科学家研究已有的世界,工程师创造未有的世界。”科学在于探索客观世界中存在的客观规律,所以科学强调分析,强调结论的惟一性。工程是人们综合应用科学(包括自然科学、技术科学和社会科学)理论和技术手段去改造客观世界的实践活动,所以它强调综合,强调方案优缺点的比较并做出论证和判断。这就是科学与工程的主要不同之处。这也就要求我们对工程应用型人才的培养和对科学研究型人才的培养应实施不同的培养方案,采用不同的培养模式,采用具有不同特点的教材。然而,我国目前的工程教育没有注意到这一点,而是:①过分侧重工程科学(分析)方面,轻视了工程实际训练方面,重理论,轻实践,没有足够的工程实践训练,工程教育的“学术化”倾向形成了“课题训练”的偏软现象,导致学生动手能力差。②人才培养模式、规格比较单一,课程结构不合理,知识面过窄,导致知识结构单一,所学知识中有一些内容已陈旧,交叉学科、信息学科的内容知之甚少,人文社会科学知识薄弱,学生创新能力不强。③教材单一,注重工程的科学分析,轻视工程实践能力的培养;注重理论知识的传授,轻视学生个性特别是创新精神的培养;注重教材的系统性和完整性,造成课程方面的相互重复、脱节



等现象；缺乏工程应用背景，存在内容陈旧的现象。④老师缺乏工程实践经验，自身缺乏“工程训练”。⑤工程教育在实践中与经济、产业的联系不密切。要使我国工程教育适应经济、社会的发展，培养更多优秀的工程技术人才，我们必须努力改革。

组织编写本套系列教材，目的在于改革传统的高等工程教育教材，建设一套富有特色、有利于应用型人才培养的本科教材，满足工程应用型人才培养的要求。

本套系列教材的建议原则是：

1. 保证基础，确保后劲

科技的发展，要求工程技术人员必须具备终生学习的能力。为此，从内容安排上，保证学生有较厚实的基础，满足本科教学的基本要求，使学生日后具有较强的发展后劲。

2. 突出特色，强化应用

围绕培养目标，以工程应用为背景，通过理论与工程实际相结合，构建工程应用型本科教育系列教材特色。本套系列教材的内容、结构遵循如下9字方针：知识新、结构新、重应用。教材内容的要求概括为：“精”、“新”、“广”、“用”。“精”指在融会贯通教学内容的基础上，挑选出最基本的内容、方法及典型应用；“新”指在将本学科前沿的新进展和有关的技术进步新成果、新应用等纳入教学内容，以适应科学技术发展的需要。妥善处理好传统内容的继承与现代内容的引进。用现代的思想、观点和方法重新认识基础内容和引入现代科技的新内容，并将这些按新的教学系统重新组织；“广”指在保持本学科基本体系下，处理好与相邻以及交叉学科的关系；“用”指注重理论与实际融会贯通，特别是注入工程意识，包括经济、质量、环境等诸多因素对工程的影响。

3. 抓注重点，合理配套

工程应用型本科教育系列教材的重点是专业课（专业基础课、专业课）教材的建设，并做好与理论课教材建设同步的实践教材的建设，力争做好与之配套的电子教材的建设。

4. 精选编者，确保质量

遴选一批既具有丰富的工程实践经验，又具有丰富的教学实践经验的教师担任编写任务，以确保教材质量。

我们相信，本套系列教材的出版，对我国工程应用型人才培养质量的提高，必将产生积极作用，会为我国经济建设和社会发展作出一定的贡献。

机械工业出版社颇具魄力和眼光，高瞻远瞩，及时提出并组织编写这套系列教材，他们为编好这套系列教材做了认真细致的工作，并为该套系列教材的出版提供了许多有利的条件，在此深表衷心感谢！

编委会主任 刘国荣教授
湖南工程学院院长

前 言

随着计算机技术的迅速发展,计算机辅助设计和辅助制造(CAD/CAM)在模具生产中已经得到普遍的应用,给模具生产带来了深刻的变革。如今,模具CAD/CAM已与现代模具生产紧密相联,可以这么说,没有模具CAD/CAM的应用和研究,就没有现代模具生产。

国内模具CAD/CAM的研究和应用始于20世纪70年代末,起步虽比国外晚了近30年,但其间恰好遇到微型计算机的诞生和迅速普及,使得中国模具CAD/CAM的推广应用能够迅速赶上国际先进水平。

为满足模具生产和研究机构对模具CAD/CAM应用与开发人才的大量需求,全国各高等院校的材料成形及控制工程专业已相继开设了“模具CAD/CAM”课程。本书是机械工业出版社组织出版的应用型本科材料成形及控制工程专业系列教材之一。

为使学生通过本课程学习能够了解模具CAD/CAM的理论与方法,掌握模具CAD/CAM的基本知识,本书论述了模具CAD/CAM的一些基本问题,具体介绍了冷冲压模具和塑料注射模具的CAD/CAM应用,并介绍了一些与模具CAD/CAM相关的前沿技术。

模具CAD/CAM涉及多门学科,内容非常丰富,CAD/CAM系统软件也相当复杂。为使学生对模具CAD/CAM能够有更深刻的了解,作者编制了一套配合本书使用的冷冲压模具和塑料注射模具的教学系列软件。

本书计8章。福建工程学院伊启中编写第一章和第八章,陕西理工学院周瑛编写第二章,上海工程技术大学李名尧和南京工程学院孔繁新编写第三章,上海工程技术大学李名尧编写第四章,上海工程技术大学赵中华编写第五章和第六章,广东工业大学章争荣编写第七章。全书由李名尧任主编,伊启中和周瑛任副主编。由南昌航空学院王高潮教授主审。

模具CAD/CAM技术仍然在迅速的发展之中,加之作者水平有限,书中错误和不足之处在所难免,恳请读者提出批评和改进意见。

编者

目 录

序 前言

第一章 概论	1
第一节 CAD/CAM 发展历程及基本概念	1
第二节 CAD/CAM 技术在模具行业中的应用	12
第三节 CAD/CAM 技术发展趋势	16
思考题与习题	20
第二章 模具 CAD/CAM 系统的构成	21
第一节 模具 CAD/CAM 系统的硬件	21
第二节 模具 CAD/CAM 系统的软件	25
第三节 模具 CAD/CAM 系统的网络配置	30
思考题与习题	34
第三章 模具 CAD/CAM 常用软件	35
第一节 各种流行的 CAD/CAM 软件	35
第二节 通用 CAD 软件——AutoCAD	37
第三节 Auto CAD 的二次开发工具	38
第四节 新生代 CAD 软件——SolidWorks	62
思考题与习题	70
第四章 冲压模具 CAD	72
第一节 冲压模具基础知识	72
第二节 冲裁模 CAD 系统的特点	74
第三节 冲裁零件的输入和计算机处理	78
第四节 冲裁零件的工艺性判别	81
第五节 冲裁零件的排样	83
第六节 冲裁模系统中的计算机辅助制造	85



第七节 冲裁工艺参数计算和冲模结构设计	89
第八节 冲模图样绘制	91
第九节 其他专用冲模 CAD 技术	94
思考题与习题	97
第五章 注射模 CAD	98
第一节 注射模基础知识	98
第二节 注塑件浇注系统 CAD	105
第三节 注射模镶块 CAD	109
第四节 注射模模架选择	111
第五节 型芯与型腔 CAD	114
第六节 注射模 CAD 设计过程示例	114
思考题与习题	118
第六章 模具 CAM	119
第一节 模具制造与数控加工	119
第二节 数控编程技术基础	124
第三节 数控编程软件 SurfCAM 介绍	136
第四节 SurfCAM 在模具制造中的应用	139
思考题与习题	141
第七章 模具 CAE	142
第一节 有限元分析概述	143
第二节 金属塑性成形模拟	153
第三节 塑料成型模拟	163
思考题与习题	171
第八章 模具 CAD/CAM 领域的新技术	172
第一节 高速加工技术	172
第二节 逆向工程技术	179
第三节 快速成形技术	187
第四节 虚拟制造技术	193
思考题与习题	198
参考文献	199

第一章 概 论

电子计算机是人类历史上最伟大的科学成就之一，它的发明给人类的生产、生活及对传统的产品设计与生产组织模式都带来了深刻的变革。随着计算机有关技术的不断发展和计算机技术应用领域的日益扩大，涌现出了许多以计算机技术为基础的新兴学科。CAD/CAM 技术便是其中之一。CAD/CAM 技术在模具设计和制造领域内的应用是模具 CAD/CAM 研究的对象。

CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)，即计算机辅助设计与计算机辅助制造，是一门基于计算机技术而发展起来的、与机械设计和制造技术相互渗透相互结合的、多学科综合性的技术，它随着计算机技术的迅速发展、数控机床的广泛应用及 CAD/CAM 软件的日益完善，在电子、机械、航空、航天、轻工等领域得到了广泛的应用。1989 年，美国国家工程科学院对 1965 ~ 1989 的 25 年间当代十项杰出工程技术成就进行评选，CAD 技术名列第四。美国国家自然科学基金会曾在一篇报告中指出：“CAD/CAM 对直接提高生产率比电气化以来的任何发展都具有更大的潜力，应用 CAD/CAM 技术，将是提高生产率的关键”。

CAD/CAM 技术为什么能在短短的 40 余年间发展如此迅速呢？归根到底是因为它几乎推动了整个领域的设计革命，大大提高了产品开发速度，缩短了产品从开发到上市的周期；同时，由于市场竞争的日益激烈，用户对产品的质量、价格、生产周期、服务、个性化等要求越来越高，对于产品开发商来说，为了立足市场，必须使用先进设计制造技术，以缩短产品的设计开发周期、提高产品质量，最终提升产品的市场竞争力，CAD/CAM 技术便是首选之一。因此，作为先进制造技术重要组成部分的 CAD/CAM 技术，它的发展及应用水平已成为衡量一个国家的科学技术进步和工业现代化的重要标志之一，尤其是模具 CAD/CAM 技术对于现代大批量优质生产更具有重要意义。

本章将对 CAD/CAM 的发展历程、基本概念、系统组成与 CAD 的关键技术、CAD/CAM 技术在模具行业中的应用及 CAD/CAM 技术的发展趋势等内容进行详细介绍。

第一节 CAD/CAM 发展历程及基本概念

为了使我们对 CAD/CAM 概念及关键技术有一个更清楚全面的理解和认识，



首先来了解一下 CAD/CAM 的发展历程。

一、CAD/CAM 发展历程

1. CAD、CAM 技术的发展历程

从 CAD/CAM 技术诞生至今，它的发展始终与计算机技术、软硬件水平及相关基础技术（如计算机图形学、网络技术、通信技术等）的发展紧密相联，因此，我们在了解 CAD 技术发展历程的同时，也需要了解当时与 CAD 技术相关技术的发展情况。在 CAD 技术和 CAM 技术诞生初期，它们是独立发展的，而且是 CAM 技术的发展促使 CAD 技术的出现和发展。

20 世纪 40 年代末期，美国有一位叫约翰·帕森斯（John Parsons）的工程师构思并向美国空军展示了一种加工方法：在一张硬纸卡上打孔来表示需要加工的零件的几何形状，利用这张硬纸卡来控制机床进行零件的加工。当时美国空军正在寻找一种先进的加工方法以解决飞机外形样板加工的问题，因此美国空军对该构思十分感兴趣并大力赞助，同时委托麻省理工学院（MIT）进行研究开发。1952 年，麻省理工学院伺服机构实验室和帕森斯公司合作研制出了世界上第一台数控机床，该机床在用于飞机螺旋桨叶片轮廓检验样板的加工中取得圆满成功。它是用含有某种指令的特定程序控制其运动并实现工件加工的：首先由人工编好程序并输入数控机床，然后执行程序实现零件的自动加工。用这种方法在编制复杂零件的加工程序时存在编程比较麻烦、周期长且容易出错等缺点。因为程序编制较难，从而限制了它的有效应用。针对这些问题，以该实验室 D.T. Ross 教授为首的研究小组开始着手研究一种能实现自动编程的系统，即 APT（Automatically Programmed Tools）。它是一套纯文字的计算机语言，主要由几何定义语句、刀具语句、宏指令与循环指令、辅助功能及说明语句、输入输出语句组成，编程人员首先描述需要加工的零件形状和刀具形状、加工方法、加工参数等，然后编制出零件的加工程序。1969 年，美国 United Computing 公司成功地开发出了 APT 软件并取名为 UNIAPT。APT 软件经过软件开发商的发展，先后推出了 APT-Ⅱ、APT-Ⅲ、APT-Ⅳ、APT-SS 等版本，其功能不断扩充，APT-Ⅲ具有立体切削功能，APT-Ⅳ实现了曲面加工，APT-SS 可雕刻表面。APT 软件这种以语句为结构对加工零件的几何形状进行描述和定义、应用软件对语句进行信息处理、最终生成零件的数控加工程序的工作原理，就是 CAM 技术的开端。因此，早期的 CAM 主要是用于解决程序编制问题，APT 也成为自动编程的一种形式——以计算机语言为基础的自动编程。

虽然以计算机语言为基础的自动编程方法解决了不少编程问题，但它仍存在许多明显不足，如缺少对零件形状和刀位轨迹进行模拟验证的功能使得加工容易出错，程序编制时因为没有图形而不直观，不能处理复杂零件尤其是有曲面的零



件等。人们自然提出这样的设想：进行自动编程时，能否不用描述刀具轨迹，而直接使用图形来表达工件的形状和尺寸，进而生成加工程序？

第二次世界大战后，随着美国飞机制造业的迅速发展，飞机气动外形的准确度要求逐渐提高，飞机结构也更加复杂，人们开始尝试着使用一种新的制造方法——模线样板工作法，即在铝板上，按真实尺寸绘制飞机各部分的外形轮廓及与外形有关的结构零件图，再用这些模线图制作样板和工装，从而保证了飞机零件制造和装配的精度。在飞机制造中，这种方法取得了很好的效果，缺点是生产准备周期长、手工劳动量大。20 世纪 50 年代中期，由于电子计算机的发展，一些飞机制造公司开始尝试用电子计算机建立飞机外形的数学模型，计算切面数据，再用绘图机输出这些曲线。这种方法大大提高了飞机的制造精度、缩短了生产准备时间、降低了人工工作量，这就是 CAD 技术的雏形。

CAD 技术从出现至今大致经历了五个阶段：

(1) 孕育形成阶段（20 世纪 50 年代） 该阶段最大的成果是：1950 年麻省理工学院研制出了“旋风 I 号”（Whirlwind I）图形显示器，该显示器类似于示波器。虽然它只能用于显示简单的图形且显示精度很低，但它却是 CAD 技术酝酿开始的标志。随后，1958 年，Calcomp 公司和 Gerber 公司先后研制出了滚筒式绘图仪和平板式绘图仪。显示器和绘图仪的发明，表明了该时期硬件具有了图形输出功能。

(2) 快速发展阶段（20 世纪 60 年代） 20 世纪 50 年代末期，美国麻省理工学院林肯实验室研制出将雷达信号转换为显示器图形的空中防御系统。该系统使用了光笔，操作者用它指向屏幕中的目标图形，即可获得所需信息，这便是交互式图形技术的开端。

1962 年，麻省理工学院林肯实验室的 I.E.Sutherland 发表了《Sketchpad：一个人机通信的图形系统》的博士论文，首次提出了计算机图形学、交互技术、分层存储符号的数据结构等新思想，为 CAD 技术的发展和应用奠定了坚实的理论基础。I.E.Sutherland 的博士论文中所提出的 CAD 技术的思想，成为了该时期的重大成果之一。

计算机技术、交互式图形技术等基础理论的建立与发展、图形输入输出设备（如光笔、图形显示器、绘图仪等）的成功研制及对图形数据处理方法的深入研究，大大推动了 CAD 技术的完善和发展。一个有力证据就是商品化 CAD 软件的出现和应用。如 1964 年美国通用汽车公司和 IBM 公司联合开发的 DAC-1 系统（Design Augmented by Computer），该系统主要用于汽车外形和汽车结构的设计；1965 年美国 IBM 公司和美国洛克希德公司共同开发的 CADAM 系统（Computer-graphic Augmented Design & Manufacturing，计算机图形增强设计与制造软件包），该系统具有三维造型和结构分析能力，广泛应用于工程设计、机械工业、飞机制



造等行业。

不过, 该时期的 CAD 系统主要是二维系统, 三维 CAD 系统也只是简单的线框造型系统, 且规模庞大, 价格昂贵。线框造型系统只能表达几何体基本的几何信息, 不能有效表达几何体间的拓扑信息, 也就无法实现 CAM 和 CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程)。

虽然 CAD 技术和 CAM 技术是计算机应用技术中独立发展的两个分支, 但随着 CAD 技术、CAM 技术在制造业中的推广, 二者间的相互结合显得越来越迫切。CAD 系统只有配合 CAM, 才能充分显示它的巨大优越性; 同样, CAM 只有利用 CAD 技术所建立的几何模型, 才能进一步发挥它的作用。20 世纪 60 年代末 70 年代初, 一些外国公司开始着手将计算机辅助设计系统和计算机辅助制造系统集成, 建立一个统一的应用程序库, 并逐步形成统一的系统。United Computing 公司向一家专门从事图形开发的公司购买其图形系统 ADAM, 并将 ADAM 与自己开发的 UNIAPT 软件结合起来, 成为一套新的系统, 并取名为 UNI - GRAPHICS。1973 年 10 月, 在底特律召开的 CAD/CAM 会议上, United Computing 公司向外界发布了该系统。

(3) 成熟推广阶段 (20 世纪 70 年代) 由于计算机硬件的快速发展, CAD 技术进入了成熟推广时期, 出现了一批专门从事 CAD/CAM 技术的公司, 推出了具有代表性的 CAD/CAM 软件: 1970 年, 美国 Applicon 公司第一个推出了完整的 CAD 系统; 法国 Dassault 公司开发出基于表面模型的自由曲面建模技术, 推出三维曲面造型软件 CATIA; 美国 GE 开发的 CALMA; 美国麦道飞机公司的 UG 等。1974 年, 人们开始把 CAD 系统和生产管理及力学计算相结合。1975 年, 发展为 CAD/CAM 集成系统。该时期 CAD 技术的应用主要是“交钥匙”系统 (Turnkey System), 即软件服务商提供以小型计算机为基础、软硬件齐备的 CAD 系统。

曲面造型系统的出现是这一时期在 CAD 技术方面取得的重大成果, 被认为是第一次 CAD 技术革命。20 世纪 70 年代初, 美国 IBM 公司和法国 Dassault 公司联合开发了 CATIA 系统, 该系统以自由曲面造型方法表达零件的表面模型, 使人们从简单的二维工程图样中解放出来。曲面造型技术的出现及应用, 虽解决了 CAM 表面加工问题, 但不能表达质量、重心、体积、转动惯量等几何物理量, 因此无法实现 CAE。

(4) 广泛应用阶段 (20 世纪 80 年代) 随着微型计算机的飞速发展, CAD 系统逐渐开始从小型计算机向微型计算机转化, 这为 CAD 技术的广泛应用创造了良好的硬件条件。

这一时期在 CAD 技术方面主要的技术特征是实体造型理论的建立和几何建模方法的出现, 构造实体几何法 (CSG) 和边界表示法 (B - rep) 等实体表示方法在 CAD 软件开发中得到广泛应用。由于实体造型技术的出现, 统一了 CAD、



CAE、CAM 的表达模型,从而使得 CAE 技术成为可能并逐渐得到应用。因此,实体造型技术被认为是第二次 CAD 技术革命。1979 年,SDRC (Structural Dynamics Research Corporation) 公司开发出了第一套基于实体造型技术的大型 CAD/CAM 软件 I-DEAS (Integrated Engineer & Analysis Software)。

20 世纪 80 年代中期, CV 公司的一些技术人员提出了一种比无约束自由造型更新颖的造型技术——参数化设计,但 CV 公司否决了这一技术提案,参与策划的技术人员便离开了 CV 公司,成立了 PTC (Parametric Technology Corporation) 公司,并于 1988 年推出全球第一套基于参数化造型技术的 CAD/CAM 软件——Pro/ENGINEER,获得巨大成功。参数化实体造型技术的主要特点是基于特征、全数据相关、全尺寸约束、尺寸驱动。参数化实体造型技术成为 CAD 技术发展史中第三次技术革命。

20 世纪 80 年代后期,SDRS 公司的技术人员对参数化技术进行了深入的研究和探索。1990 年,经过几年的研究探索之后,发现参数化技术存在不少缺点,如全尺寸约束这一要求大大限制了设计人员创造能力的发挥。美国麻省理工学院的 Gossard 教授提出一种新的造型技术——变量化设计。变量化设计采用非线性约束方程组联立求解,设定初始值后用牛顿迭代法进行精化;同时,变量化设计扩大了约束的类型,除了几何约束外,还引入力学、运动学、动力学等约束,使得求解过程不仅含有几何问题,也包含了工程实际问题。众所周知,已知全部参数的方程组进行顺序求解比较容易,而在欠约束情况下,方程联立求解的数学处理和软件实现的难度则大大增加。但是,经过了三年的努力,在 1993 年,SDRS 公司推出了基于变量化设计的全新体系结构的 I-DEAS Master Series 软件。变量化设计既保留了参数化设计的优点(如基于特征、全数据相关),又克服了参数化设计的不足(如全尺寸约束),因此,变量化设计技术被认为是 CAD 的第四次技术革命。

(5) 标准化、智能化、集成化阶段(20 世纪 80 年代后期) 随着 CAD 技术的不断发展,技术标准化愈显迫切和重要。从 1977 年推出 CORE 图形标准以来,陆续出现了与应用程序接口有关的标准、与图形存储和传输有关的标准和与虚拟设备接口有关的标准,这些标准的制定和采用为 CAD 技术的推广起到了重要的作用。

将人工智能 AI (Artificial Intelligence) 引入 CAD 系统是 CAD 技术发展的必然趋势,这种结合大大提高了设计的自动化程度。专家系统 ES (Expert System) 是人工智能在产品 and 工程设计中最早获得成功应用的一个领域,它在产品设计初始阶段,特别是在概念设计和构思评价阶段起到了积极的作用。

CAD 技术与 CAM、CAE 等技术的集成形成了广义的 CAD/CAM 系统。CAD/CAM 系统的构建实现了信息集成和功能集成。CIMS 则是更高层次的集成,它包



括了产品几何、加工、管理等全方位的信息。

图 1-1 所示为 CAD/CAM 相关技术的发展情况。

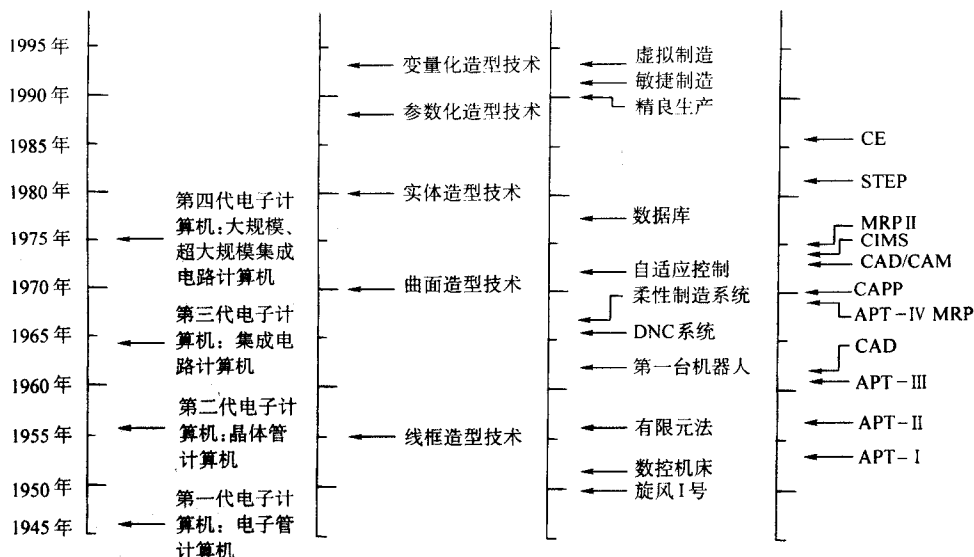


图 1-1 CAD/CAM 相关技术的发展

2. CAE 技术的发展历程

CAE 是指以现代计算力学为基础、以计算机仿真为手段, 对产品进行工程分析并实现产品优化设计的技术。这里所指的工程分析包括有限元分析、运动机构分析、应力计算、结构分析、电磁场分析等。在产品设计中, CAD 技术完成了产品的几何模型的建立, 但是对于设计是否合理、产品能否满足工程应用要求, 则需对模型进行工程分析、计算优化, 并根据需要对几何模型进行必要的修改, 使产品最终满足有关要求。CAE 是 CAD/CAM 进行集成的一个必不可少的重要环节, 因此有些学者认为 CAE 应属于广义 CAD 的重要组成部分, 目前在大型商业化 CAD/CAM 软件中, CAE 是该软件的重要功能模块。

CAE 技术的发展大致经历了三个阶段:

(1) 技术探索阶段 (20 世纪 60~70 年代) 20 世纪 50 年代, 飞机逐渐由螺旋桨式向喷气式转变。为了确定高速飞行的喷气式飞机的机翼结构, 必须对其动态特性进行精确的分析计算。1956 年, 美国波音飞机公司开发了一种新的计算方法——有限元法并把它应用于飞机生产; 1967 年, SDRC 公司成立并于 1968 年发布世界上第一个动力学测试及模态分析软件包; 1970 年, SASI 公司成立, 开发了 ANSYS 软件 (公司后来改组为 ANSYS 公司)。

(2) 蓬勃发展时期 (20 世纪 70~80 年代) 1977 年, MDI 公司成立, 其主导软件 ADAMS 广泛应用于机械系统运动学、动力学仿真分析; 1978 年,



ABAQUS 软件应用于结构非线性分析；1982 年，CSAR 公司成立，所开发的 CSA/Nastran 软件主要应用于大结构、流—固耦合、热学、噪声分析等；1989 年，ES-KD 公司成立，发展了 P 法有限元程序。

(3) 成熟推广时期 (20 世纪 90 年代) CAE 软件开发公司注意不断增强自身 CAE 软件的前、后置处理能力并积极配合开发与应用广泛的 CAD 软件的专用接口，CAE 逐渐走上了与 CAD/CAM 集成的轨道。

二、CAD/CAM 基本概念

目前，有些人认为应用计算机完成设计过程中的数值计算、有关分析及计算机绘图就是 CAD，利用软件进行自动编程便是 CAM，应该说这是对 CAD/CAM 技术的片面理解和不全面的认识。谈及计算机辅助设计，那么这里就先来说说“设计”吧。

设计是人类高度智能化的一种活动，往往贯穿了产品的整个生命周期，包含产品的需求规划、概念设计、总体设计、结构设计、产品试制、生产规划、营销设计、报废回收等流程，从而最终实现产品从概念设计到实物、从抽象到具体、从定性到定量，其间，既有大量的数值计算，也有众多的推理决策判断。从设计方法角度看，设计可分为常规设计、革新设计和创新设计三类。目前，一般的 CAD 系统是以数据库为核心、以交互图形设计为手段，在建立产品几何模型的基础上，利用有限元和优化设计对产品的性能进行分析计算，而对推理和判断却做得不多，因此，在产品开发中，计算机只是作为一种辅助的设计工具，许多推理判断工作仍需由人工完成，所以人们将它称为计算机辅助设计。

由于 CAD/CAM 技术是一个发展着的概念，不同地区、不同国家的学者从不同的角度出发，对 CAD、CAM 内涵的理解也不完全相同，因此要给 CAD、CAM 下一个确切的定义并不容易。一般认为，CAD 是指工程技术人员在人和计算机组成的系统中，以计算机为辅助工具，通过计算机和 CAD 软件对设计产品进行分析、计算、仿真、优化与绘图，在这一过程中，把设计人员的创造思维、综合判断能力与计算机强大的记忆、数值计算、信息检索等能力相结合，各尽所长，完成产品的设计、分析、绘图等工作，最终达到提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品生产成本的目的。CAD 的功能可以大致归纳为四类，即几何建模、工程分析、动态模拟和自动绘图。为了实现这些功能，一个完整的 CAD 系统应由科学计算、图形系统和工程数据库等组成。科学计算包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、产品的常规设计和优化设计等；图形系统则包括几何造型、自动绘图、动态仿真等；工程数据库对设计过程中需要使用和产生的数据、图形、文档等进行存储和管理。

值得注意的是，不应该把 CAD 与计算机辅助绘图、计算机图形学混淆起来。计算机辅助绘图是指使用图形软件和硬件进行绘图及有关标注的一种技术；计算