



普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育机电类规划教材

MUJU CAD/CAM

模具CAD/CAM

第2版

伊启中 殷铖◎主编



赠电子课件
教师免费下载



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
高等职业教育机电类规划教材

模具 CAD /CAM

第 2 版

主 编 伊启中 殷 铖
参 编 刘锡锋 王明哲
主 审 王贤坤 刘 斌



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,全书共12章,第一章简要介绍了CAD/CAM技术的发展历程、基本概念和发展趋势,第二章~第四章主要介绍了模具CAD/CAM技术的基础知识及冷冲模CAD/CAM和塑料模CAD/CAM基础理论知识,第五章~第十二章主要介绍了Pro/ENGINEER Wildfire3.0软件的基本知识和实际应用。全书内容充实,结构严谨,语言流畅,图文并茂,本书还配备了教学光盘,盘中包含书中有关实例和图例的图形文件,可供广大读者在学习练习中使用。

本书既可作为高等院校、高职高专材料成形及控制工程、机械制造及其自动化、模具设计与制造、车辆工程、工业设计、机电一体化、数控技术应用等专业的教材或教学参考书,也可供有关工程技术人员参考和相关人员自学使用。

图书在版编目(CIP)数据

模具CAD/CAM/伊启中,殷铖主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2008.9 (2010.8重印)

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 高等职业教育机电类规划教材

ISBN 978-7-111-09063-2

I. 模… II. ①伊…②殷… III. ①模具-计算机辅助设计-高等学校: 技术学校-教材②模具-计算机辅助制造-高等学校: 技术学校-教材
IV. TG76-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第136231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:郑丹 责任编辑:郑丹 王德艳

版式设计:霍永明 责任校对:刘志文

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2010年8月第2版第3次印刷

184mm×260mm·24印张·591千字

7001—10000册

标准书号:ISBN 978-7-111-09063-2

ISBN 978-7-89482-805-7(光盘)

定价:39.80元(含1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, 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新兴技术, 随着计算机技术的不断发展, CAD/CAM 技术也逐步完善、日趋成熟。模具 CAD/CAM 技术作为 CAD/CAM 技术的一个分支, 已成为现代模具技术的重要发展方向。为了满足生产、科研单位对模具 CAD/CAM 技术方面人才的需求, 各高等院校相继开设了模具 CAD/CAM 课程, 该教材正是在这种大背景下进行编写的。鉴于目前不同学校教学情况存在一些差异, 各校可根据实际情况对教学内容进行适当的调整。

美国参数技术公司 (Parametric Technology Corporation, PTC) 开发的 Pro/ENGINEER 系列软件, 以其单一数据库、参数化、基于特征的建模技术、全相关和工程数据再利用等功能特点改变了传统的机械设计自动化理念。2002 年 6 月推出的 Pro/ENGINEER Wildfire 软件更因其具有“易学易用、功能强大、互连互通” (Simple/Powerful/Connected) 的特点而备受业界青睐并被广泛使用, 2006 年 3 月上市的 Pro/ENGINEER Wildfire3.0 软件更是其中的精品, 本书即以 Pro/ENGINEER Wildfire3.0 软件在模具行业中的应用为主线进行编写的。

本书共 12 章, 由福建工程学院伊启中和西安理工大学殷铨任主编, 由深圳大学王贤坤和华侨大学刘斌任主审, 他们对教材的编写提出了许多宝贵的修改和补充意见, 特此表示深深的谢意。

本书第二章由陕西工业职业技术学院刘锡锋编写, 第三章由殷铨编写, 第四章由陕西国防工业职业技术学院王明哲编写, 其余章节由伊启中编写, 全书由伊启中负责统稿。

教材在编写过程中, 参阅了大量相关资料文献, 在此向有关作者一并表示感谢!

由于 CAD/CAM 技术的快速发展和作者的水平及学识有限, 教材及所附光盘中难免存在不足或不妥之处, 恳请广大读者批评指正, 同时, 也敬请各位读者不吝指教, 我们的联系方式是 qz_yi@163.com, 在此对各位读者的支持与厚爱深表谢意。

本书配有电子课件, 凡使用本书作为教材的教师可登录机械工业出版社教材服务网 www.cmpedu.com 注册后下载。咨询邮箱: cmpgaozhi@sina.com。咨询电话: 010-88379375。

编 者

第1版前言

本书是根据教育部“关于加强高职高专教育教材建设的若干意见”和机械工业出版社教材编辑室“关于组织新编高职高专模具专业教材的原则”以及模具 CAD/CAM 课程教学大纲编写的,是高等职业技术学院模具专业教学用书,可作为 CAD/CAM 培训教材,也可供从事模具设计与制造工程技术人员参考。

CAD/CAM 是一种基于计算机技术而发展起来的新兴技术,随着计算机技术的不断发展, CAD/CAM 技术也逐步完善、日趋成熟。模具 CAD/CAM 作为 CAD/CAM 技术的一个分支,已成为现代模具技术的重要发展方向。为了满足生产和科研单位对模具 CAD/CAM 人才的迫切需求,各院校相继开设了模具 CAD/CAM 课程。在这种形势下,全国高职高专模具专业教学指导委员会组织编写了该教材并将其列为规划教材。鉴于目前不同学校教学情况存在差异,各校可根据课程教学大纲对教学内容进行适当调整。

本书分上、下两篇,上篇由西安仪表工业学校殷铖主编,下篇由福建职业技术学院伊启中主编,全书由伊启中统稿。全书共八章,其中殷铖编写第一、三章,陕西工业职业技术学院刘锡锋编写第二章,西安机电学校王明哲编写第四章,伊启中编写第五、七章,江西省机械工业学校蔡冬根编写第六章,常州机械学校段来根编写第八章。

本书由福州大学教授王贤坤博士主审。审稿期间,深圳市工业学校张磊明,福建职业技术学院翁其金、范有发等提出了许多宝贵意见,在此深表感谢。

由于编者水平有限,书中错误缺点在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者
2001 年

目 录

第2版前言

第1版前言

第一章 绪论	1	第六节 配置文件的建立与应用	120
第一节 CAD/CAM 发展历程及基本概念	2	第六章 二维草图绘制	125
第二节 CAD/CAM 技术在模具行业中的应用	12	第一节 二维草图绘制概述	125
第三节 CAD/CAM 技术发展趋势	15	第二节 几何图元的绘制与编辑	129
第四节 本书编写的有关说明	18	第三节 拓扑约束	137
第二章 CAD/CAM 基础知识	20	第四节 尺寸的标注	143
第一节 CAD 基础	20	第五节 二维草图的保存与调用	148
第二节 CAM 基础	28	第六节 二维草图绘制小结	150
第三节 产品数据交换技术	43	第七节 二维草图绘制实例	152
第三章 冷冲模 CAD/CAM	47	第七章 基准特征的创建	159
第一节 冷冲模 CAD/CAM 结构与功能	47	第一节 基准平面	159
第二节 冲裁件图形输入	50	第二节 基准轴	167
第三节 冲裁模 CAD/CAM	53	第三节 基准点	172
第四节 冲模 CAD/CAM 软件简介	69	第四节 基准坐标系	178
第四章 塑料模 CAD/CAM	72	第五节 基准曲线	182
第一节 注射模 CAD/CAM 系统结构与功能	72	第八章 草绘实体特征的创建	189
第二节 塑料制品建模	75	第一节 草绘实体特征的基础知识	189
第三节 注射模 CAD/CAE/CAM	78	第二节 拉伸实体特征的创建	193
第五章 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0		第三节 旋转实体特征的创建	197
概述	92	第四节 扫描实体特征的创建	202
第一节 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 软件简介	93	第五节 混合实体特征的创建	207
第二节 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 用户界面	94	第六节 系统参数的设置与创建草绘特征的常用技巧	221
第三节 Pro/ENGINEER Wildfire 3.0 文件的基本操作	101	第七节 草绘实体特征综合实例	225
第四节 图形的选取	108	第九章 工程特征的创建	234
第五节 图形的显示	115	第一节 孔特征	234
		第二节 圆角特征	241
		第三节 倒角特征	249
		第四节 筋特征	254
		第五节 壳特征	259
		第六节 拔模特征	263
		第七节 本章小结——拔模特征的创建顺序	271

第八节	拔模特征综合实例	272
第十章	装配特征	278
第一节	Pro/ENGINEER 元件放置操 控板	278
第二节	元件装配约束及元件装配的 基本流程	284
第三节	组件的分解	291
第四节	组件中配合件的设计	294
第五节	装配特征中立体剖视图的创建	298
第十一章	二维工程图的创建	302
第一节	二维工程图概述	302
第二节	视图的创建	309

第三节	视图的编辑	317
第四节	尺寸的标注	320
第五节	本章小结	332
第六节	创建二维工程图实例	334
第十二章	模具设计初步	340
第一节	Pro/ENGINEER 模具设计概述	340
第二节	简单模具的设计	348
第三节	带破孔的参考模型及模具分 型面的设计	369
第四节	多型腔模具的设计	371
参考文献		375

第

一

章

绪

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、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。图 1-1 所示为第一台电子计算机 ENIAC 研制小组负责人、美国宾夕法尼亚大学莫希利、埃克特和第一台电子计算机的实物图片。



莫希利



埃克特



第一台电子计算机

图 1-1 第一台电子计算机相关图片

CAD/CAM (Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing)，即计算机辅助设计与计算机辅助制造，它是一门基于计算机技术、计算机图形学而发展起来的、并与专业领域技术相互结合的、具有多学科综合性的技术。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，使其在电子、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。美国国家科学基金会曾在—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一切领域的设计革命，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。

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, 它的发展与计算机、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, 促使了 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, 但它也存在许多明显不足, 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显示而不直观; 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?

二战后,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(图1-2所示),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一定的图形输出功能。

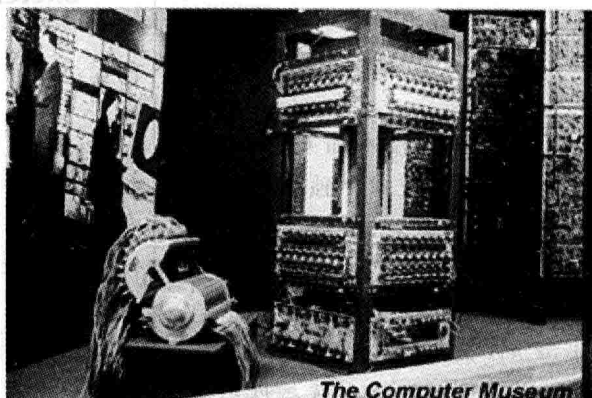
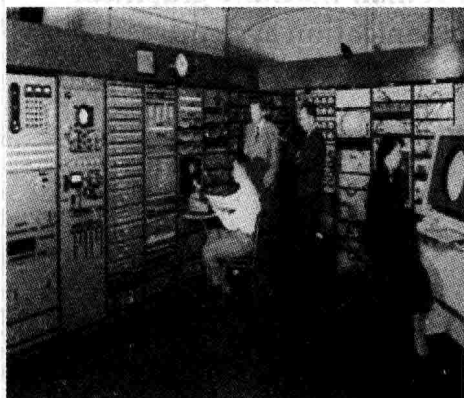


图1-2 “旋风I号”(Whirlwind I)图形显示器

(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Ivan Edward 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。Ivan Edward 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。图1-3所示为Ivan Edward Sutherland博士和他的博士论文再版封面。

计算机技术、交互式图形技术等基础理论的建立、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。一个有力的证据就是商品化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



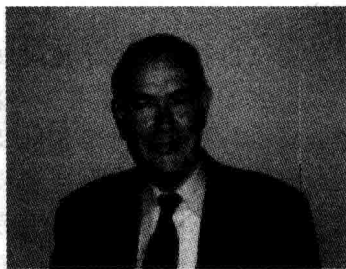
主要用于汽车外形和汽车结构的设计;1965年美国IBM公司和美国洛克希德公司共同开发的CADAM系统(Computer-graphic Augmented Design & Manufacturing, 计算机图形增强设计与制造软件包),该系统具有三维造型和结构分析能力,广泛应用于工程设计、机械工业、飞机制造等行业。

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,不能有效地表达几何体间的拓扑信息,也无法实现CAM和CAE。

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,二者之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进行集成,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公司开



Ivan Edward Sutherland 博士

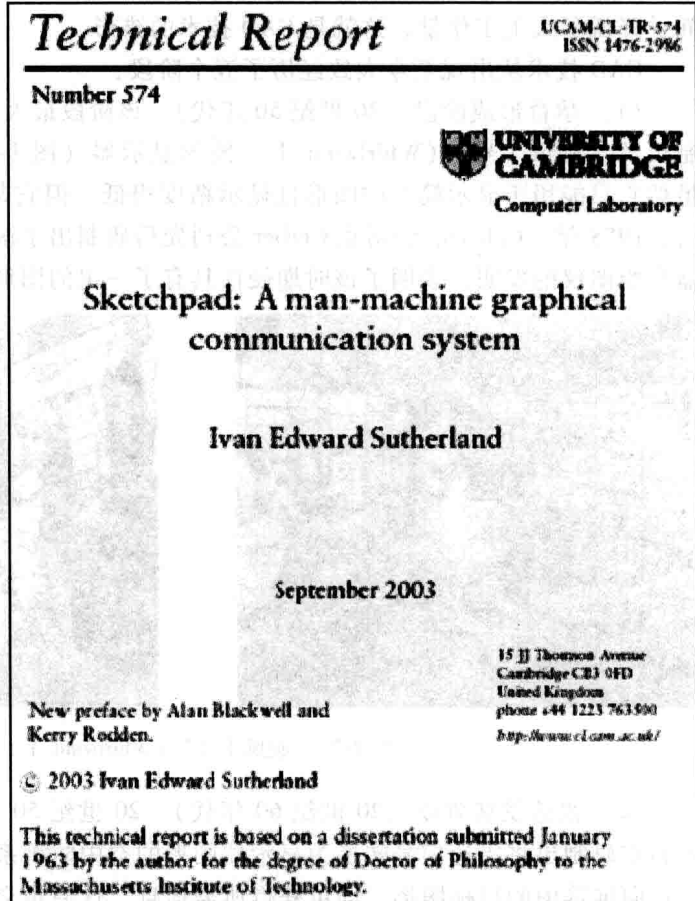


图 1-3 Ivan Edward Sutherland 博士和他的博士论文



发的 CALMA; 美国麦道飞机公司开发的 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, 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)。

由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性, 在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 模型表达, 因而给设计带来了惊人的方便。Computer-Vision (简称 CV 公司) 最先在曲面算法上取得突破, 计算速度提高较大。由于 CV 提出了集成各种软件, 为企业提供全方位解决方案的思路, 并采取了将软件的运行平台向价格较低的小型机转移等有力措施, 一跃成为 CAD 领域的领导者, 市场份额上升到第一位。

正当 CV 公司业绩蒸蒸日上以及实体造型技术逐渐普及之时, CAD 技术的研究又有了重大进展。如果说在此之前的造型技术都属于无约束自由造型的话, 进入 20 世纪 80 年代中期, CV 公司内部以高级副总裁为首的一批人提出了一种比无约束自由造型更新颖、更好的算法——参数化实体造型方法。从算法上来说, 这是一种很好的设想。它的主要特点是: 基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。当时的参数化技术方案还处于一种发展的初级阶段, 很多技术难点有待于攻克。是否马上投资发展这项技术呢? CV 内部展开了激烈的争论。由于参数化技术核心算法与以往的系统有本质差别, 若采用参数化技术, 必须将全部软件重新改写, 投资及开发工作量必然很大。当时 CAD 技术主要应用在航空和汽车工业, 这些工业中自由曲面的需求量非常大, 参数化技术还不能提供解决自由曲面的有效工具 (如实体曲面问题等), 更何况当时 CV 公司的软件在市场上几乎呈供不应求之势, 于是, CV 公司内部否决了参数化技术方案。策划参数化技术的这些人在新思想无法实现时, 集体离开了 CV 公司, 1985 年在美国东海岸名城波士顿创建了 SPG 顾问公司, 1987 年更名为美国参数技术公司 (Parametric Technology Corporation, PTC), 开始研制命名为 Pro/ENGINEER 的参数化软件。早期的 Pro/ENGINEER 软件性能很低, 只能完成简单的工作, 但由于第一次实现了尺寸驱动零件设计修改, 使人们看到了它今后将给设计者带来的方便性。PTC 的第一个 MCAD 产品——Pro/ENGINEER 是一个革命性的产品, 它为制造业带来了参数化技术、基于特征、全数据相关的实体建模技术。



在 2000 年以后, PTC 公司将主要精力放在 PDM 软件的开发与推广上, 力图在企业级解决方案级别上与 IBM、UGS 等大公司进行竞争, 在这一阶段, PTC 公司虽然不断推出新版本的软件 (如 Pro/ENGINEER2000i、Pro/ENGINEER2000i²、Pro/ENGINEER2001), 但这些版本软件在功能和用户界面方面变化不大, 而同时期的 CATIA、UG 等软件则在用户界面和软件功能方面做了大量的开发工作, 确保了其在飞机、汽车等行业所应用的高端 CAD 软件的统治地位; 同时, 以 Solidworks、SolidEdge 为代表的中端 CAD 软件其核心功能逐步完善, 因此, 对 Pro/ENGINEER 软件形成了追赶和夹攻之势。面对严峻形势, PTC 公司审时度势, 确定了野火 (Wildfire) 计划, 对 Pro/ENGINEER 软件从功能结构到用户界面都进行彻底的改造, 力争在 CAD 领域再领风骚。可以说, 参数化特征造型技术成为 CAD 技术发展史中的第三次技术革命。

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 领域的第四次技术革命。

(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) 是人工智能在产品和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 1-4 所示为 CAD/CAM 相关技术的发展情况。

2. CAE 技术的发展历程

CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程) 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。

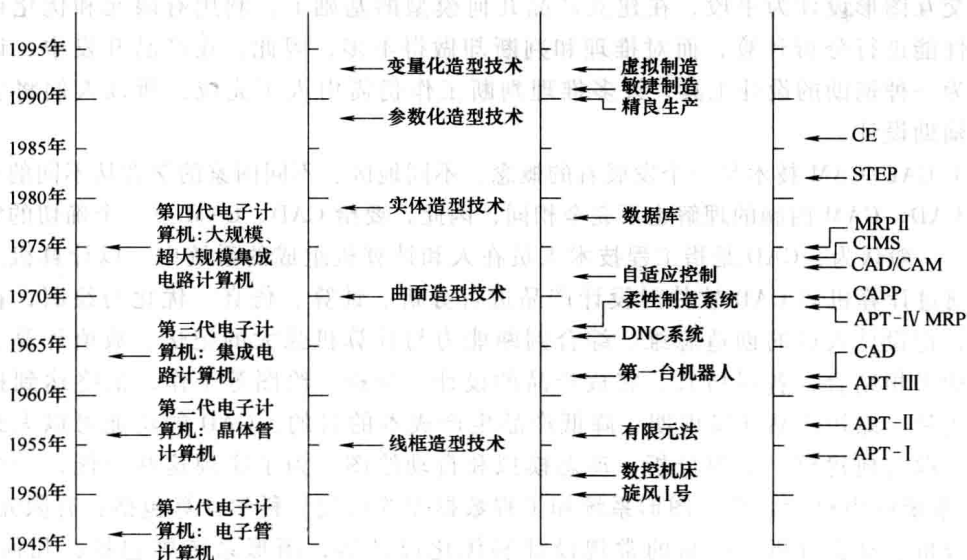


图 1-4 CAD/CAM 相关技术的发展

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, 并把它应用于飞机设计。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 ESKD 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 年代至今) 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, 则先来说说“设计”。

“设计”是人类的一种高度智能活动, 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、运行维



护、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:早期 CAD 的“D”是“Drafting, Drawing”,而现在 CAD 中“D”是“Design”单词的缩写,它们的含义已大不相同,所以,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;计算机图形学是研究通过计算机将数据转换为图形,并在专用设备上显示的原理、方法和技术的科学。计算机辅助绘图主要解决机械制图问题,是 CAD 的一个组成部分,其内涵比 CAD 的内涵小得多;计算机图形学是一门独立的学科,但它的有关图形处理的理论与方法是构成 CAD 技术的重要基础。

CAM 是指应用电子计算机进行产品辅助制造的统称,有狭义 CAM 和广义 CAM。广义 CAM 是利用计算机进行零件的工艺规划、数控程序编制、加工过程仿真等。在 CAM 中主要包括两类软件:CAPP 软件和数控编程(Numerical Control Programming, NCP)软件,狭义 CAM 理解为数控加工,即把 CAM 软件看做是 NCP 软件,其实目前大部分商业化的 CAM 软件都包含有 NCP 功能。广义的 CAM 包括 CAPP 和 NCP,更为广义的 CAM 则是指应用计算机辅助完成从原材料到产品的全部制造过程,包括直接制造过程和间接制造过程,如工艺准备、生产作业计划、物流过程的运行控制、生产控制、质量控制等。

把计算机辅助设计和计算机辅助制造集成在一起,称为 CAD/CAM 系统;把计算机辅助设计、计算机辅助制造和计算机辅助工程集成在一起,称为 CAD/CAE/CAM 系统。现在很多 CAD 系统逐渐添加了 CAM 和 CAE 功能,所以工程界习惯上把 CAD/CAE/CAM 称为 CAD 系统或 CAD/CAM 系统。一个产品的设计制造过程往往包括产品任务规划、方案设计、结构设计、产品试制、产品试用、产品生产等阶段,而计算机只是按用户给定的算法完成产品设计制造全过程中某些阶段或某个阶段中的部分工作,如图 1-5 所示。

CAD/CAM 技术是一种在不断发展着的技术，随着相关技术及应用领域的发展和扩大，CAD/CAM 技术的内涵也在不断扩展。1973 年国际信息联合会对 CAD 的定义是：CAD 是将人和机器混编在解题作业中的一种技术，从而使人和机器的最好特性联系起来。到 20 世纪 80 年代初，第二届国际 CAD 会议上认为 CAD 是一个系统的概念，包括：计算、图形、信息自动交换、分析和文件处理五个方面的内容。1984 年召开的国际设计及综合讨论会上对 CAD 的内涵又做了补充，认为 CAD 不仅是一种设计手段，而且是一种新的设计方法和思维。

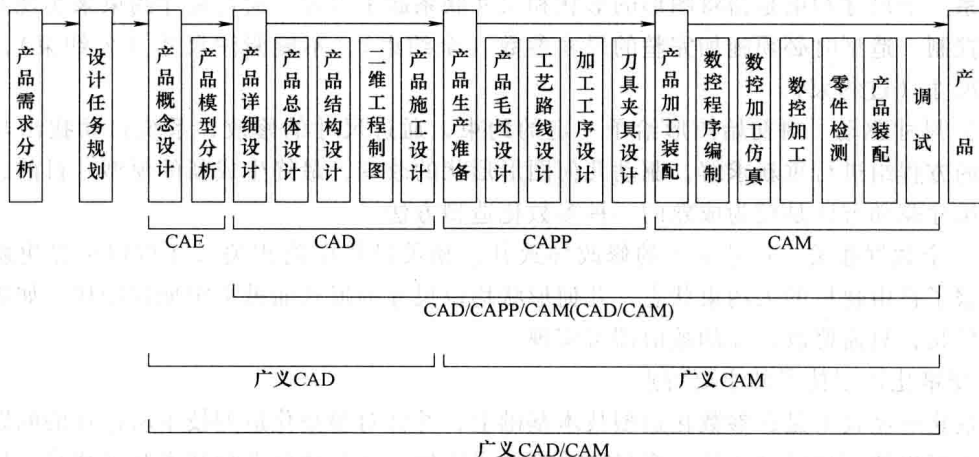


图 1-5 产品开发过程及 CAD、CAE、CAM 的范围

三、CAD/CAM 系统组成

CAD/CAM 系统由硬件系统、软件系统和人组成。硬件系统包括计算机和外部设备，软件系统则由系统软件、应用软件和专业软件组成，如图 1-6 所示。

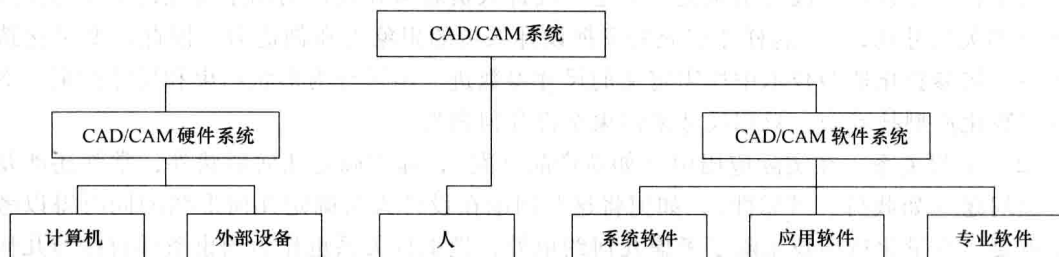


图 1-6 CAD/CAM 系统的组成

CAD/CAM 系统的功能不仅与组成该系统的硬件功能和软件功能有关，而且与它们的匹配和组织有关。在建立 CAD/CAM 系统时，首先应根据生产任务的需要，选定最合适的功能软件，然后再根据软件系统选择与之相匹配的硬件系统。

四、CAD 的关键技术

实体造型技术属于无约束自由造型，目前，CAD 的技术基础主要是以 PTC 公司开发的 Pro/ENGINEER 为代表的参数化造型方法和以 SDRC 公司开发的 I-DEAS 为代表的变量化造型方法，这两种造型方法均属于基于约束的实体造型技术。



1. 参数化造型技术的主要特点

参数化造型技术是指用一组参数（代数方程）来定义几何图形间的关系，提供给设计人员在几何造型中使用，其主要特点有：

(1) 基于特征 将某些具有代表性的几何形状定义为特征，并将其所有尺寸存为可调参数，进而形成实体，以此为基础来进行更为复杂的几何形体的造型。

(2) 全尺寸约束 约束包括尺寸约束和几何约束，图形形状的大小、位置坐标、角度等均属于尺寸约束，几何约束则包括平行、对称、垂直、相切、水平、竖直等这些非数值的几何关系。全尺寸约束是指将图形的形状和尺寸联系起来考虑，通过尺寸约束来实现对几何形状的控制。造型时必须施加完整的尺寸参数（全约束），不能漏注尺寸（欠约束），也不能多注尺寸（过约束）。

(3) 尺寸驱动 对初始图形给予一定的约束，通过尺寸的修改，系统自动找出与该尺寸相关的方程组进行重新求解，驱动几何图形形状的改变，最终生成新的模型。目前，基于约束的尺寸驱动方法是较为成熟的一种参数化造型方法。

(4) 全数据相关 尺寸参数的修改导致其它相关模块中的相关尺寸得以全盘更新，它彻底克服了自由建模的无约束状态，几何形状均以尺寸的形式而被牢牢地控制住，如欲改变零件的形状，只需修改尺寸的数值即可实现。

2. 变量化造型技术的主要特点

变量化造型技术是在参数化造型技术基础上，并针对参数化造型技术所存在的问题进行改进后而提出的新的设计方法。变量化造型技术既保留了参数化造型技术基于特征、尺寸驱动、全数据相关的优点，又对参数化造型技术的全尺寸约束的缺点做了根本性的改变，其主要特点是：

(1) 几何约束 在新产品开发的阶段设计阶段，设计人员首先考虑的是设计思想并将这些设计思想在产品的几何形状中予以体现，至于各几何形状准确的几何尺寸和各形状间的位置关系在概念设计阶段还很难完全确定，设计人员希望在设计初期系统允许不需标注这些尺寸（即欠尺寸约束），这样才能充分发挥设计人员的想象力和创造力，因此，变量化造型技术中，将参数化造型技术中所需定义的尺寸参数进一步区分为形状约束和尺寸约束，而不是像参数化造型技术中，只用尺寸来约束全部几何图形。

(2) 工程关系 在实际应用中（如新产品开发），除需确定几何形状外，常常还涉及一些工程问题（如载荷、可靠性），如何将这些问题在设计人员确定几何形状的同时得以考虑亦显重要。变量化造型技术除了考虑几何约束外，把工程关系也作为约束条件直接与几何方程联立求解。

(3) VGX 技术 VGX (Variation Geometry eXtend, 超变量几何) 技术是变量化造型技术发展的一个里程碑。VGX 技术充分利用了形状约束和尺寸约束分开处理以及无需全约束的灵活性，让设计者可以针对零件上的任意特征直接以拖动方式非常直观地、实时地进行图示化编辑修改。VGX 技术具有许多优点，如：不要求全尺寸约束，在全约束及欠约束情况下均可顺利完成造型；模型修改可以基于造型历史树也可以超越造型历史树，可以在不同“树干”上的特征直接建立约束关系；可直接编辑 3D 实体特征，无需回到生成该特征的 2D 草图状态；可以用拖动式修改 3D 实体模型，而不是只有尺寸驱动一种方式；用拖动式修改实体模型时，尺寸也随之自动更改；拖动时显示任意多种设计方案，不同于尺寸驱动方式一