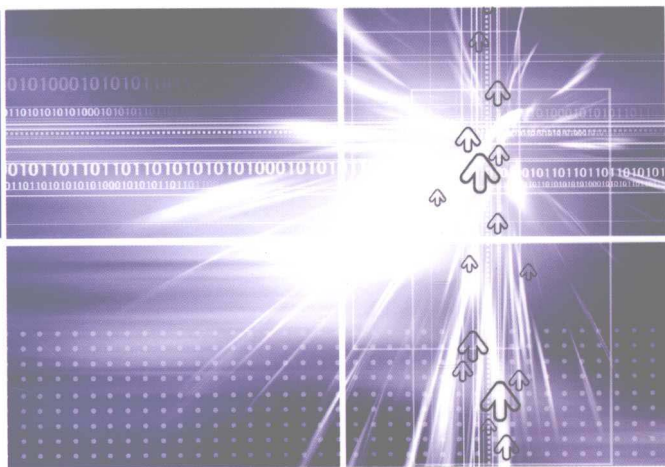


普通高等教育“十二五”规划教材



模具

CAD / CAM

第2版

李名尧 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



附赠光盘

普通高等教育“十二五”规划教材

模具 CAD/CAM

第2版

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



机械工业出版社

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 系统的构成,常用的 CAD/CAM 软件以及软件二次开发技术在模具领域中的应用,对冲压和塑料模具的 CAD 过程做了较为详细的论述。同时,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。另外,本书还配有“冲裁模 CAD/CAM 软件”、“冲压件排样软件”和“数控线切割编程软件”的使用说明书和不加密的源程序光盘,不仅可以用于教学实践,也可以用于学生毕业后的生产实践,可以较好地起到理论联系实际的作用。

本书可作为高等院校材料成形及控制工程专业、模具设计与制造专业的教材,也可供从事模具设计与制造的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

模具 CAD/CAM/李名尧主编. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2013.2

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-40832-1

I. ①模… II. ①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. ①TG76-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 305780 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:冯春生 责任编辑:冯春生

版式设计:霍永明 责任校对:佟瑞鑫

封面设计:张静 责任印制:张楠

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2013 年 2 月第 2 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·11.25 印张·263 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-40832-1

ISBN 978-7-89433-209-7(光盘)

定价:28.00 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 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

普通高等教育“十二五”规划教材 编审委员会

主任委员 李荣德 沈阳工业大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

方洪渊 哈尔滨工业大学

朱世根 东华大学

邢建东 西安交通大学

李永堂 太原科技大学

聂绍珉 燕山大学

王智平 兰州理工大学

许并社 太原理工大学

李大勇 哈尔滨理工大学

周 荣 昆明理工大学

葛继平 大连交通大学

委员 (按姓氏笔画排序)

丁雨田 兰州理工大学

王卫卫 哈尔滨工业大学 (威海)

邓子玉 沈阳理工大学

刘金合 西北工业大学

毕大森 天津理工大学

闫久春 哈尔滨工业大学

张建勋 西安交通大学

李 桓 天津大学

李亚江 山东大学

周文龙 大连理工大学

侯英玮 大连交通大学

赵 军 燕山大学

黄 放 贵州大学

薛克敏 合肥工业大学

文九巴 河南科技大学

计伟志 上海工程技术大学

刘永长 天津大学

华 林 武汉理工大学

许映秋 东南大学

何国球 同济大学

李 尧 江汉大学

李 强 福州大学

邹家生 江苏科技大学

武晓雷 中国科学院

姜启川 吉林大学

梁 伟 太原理工大学

蒋百灵 西安理工大学

戴 虹 西南交通大学

秘书长 袁晓光 沈阳工业大学

秘书 冯春生 机械工业出版社

应用型本科材料成形及控制工程专业 教材编委会

主任委员 葛继平 大连交通大学

副主任委员 (按姓氏笔画排序)

王卫卫 哈尔滨工业大学(威海)

邓子玉 沈阳理工大学

李 尧 江汉大学

王高潮 南昌航空大学

毕大森 天津理工大学

委员 (按姓氏笔画排序)

马 超 天津大学仁爱学院

邓 明 重庆理工大学

冯小明 陕西理工学院

刘厚才 湖南科技大学

张 旭 湖南工程学院

张德勤 九江学院

范有发 福建工程学院

徐纪平 上海工程技术大学

王章忠 南京工程学院

付建军 北华航天工业学院

史立新 南京农业大学

毕凤阳 黑龙江工程学院

张厚安 厦门理工学院

李慕勤 佳木斯大学

胡成武 湖南工业大学

曾大新 湖北汽车工业学院

秘书长 侯英玮 大连交通大学

秘 书 冯春生 机械工业出版社

第2版前言

本书作为普通高等教育材料成形及控制工程专业教材，自2004年出版以来，在全国高等院校得到了较为广泛的使用，期间以其特色突出、强化应用的特点获得了一致好评。2004年，上海工程技术大学“材料成形及控制工程（模具CAD/CAM）专业教学与改革”获得了上海市教学成果奖二等奖，上海工程技术大学材料工程学院开设的“模具CAD/CAM”课程于2006年被评为上海市精品课程，当年共同参与编写本教材的分布在全国各个学校的青年教师也都获得了非凡的成绩。至今该教材在材料成形及控制工程专业本科生中使用已有近十年头了，教材已经过了多次重印。在这一期间，CAD/CAM/CAE技术有了很大的发展，其在模具领域的应用也越来越普遍和越来越深入。

本次修订是在该教材第1版的基础上做了一些调整，除了改正了第1版中存在的个别错误之处外，主要是根据技术的发展和教学中遇到的一些问题增加了部分内容。为了较好地反映国内模具CAD技术的进步和存在的问题，第一章概述中增加了李德群教授关于我国模具CAD/CAM/CAE发展现状及差距的最新表述。针对第四章和第六章的内容，特别制作了冲压模具CAD/CAM软件光盘随教材发行，光盘中有“冲裁模CAD/CAM软件”、“冲压件排样软件”和“数控线切割编程软件”的使用说明书和不加密的源程序，不仅可以用于教学实践，也可以用于学生毕业后的生产实践，可以较好地起到理论联系实际的作用，这将会极大地帮助读者深入理解和掌握冲压模具CAD/CAM技术的精髓。第六章中增加了近十年内在国内模具加工中得到较多应用的MasterCAM软件的介绍。

由于受到水平、时间和精力等方面的限制，本书尚不能如实反映出模具CAD/CAM技术方面的巨大进展，同时也会存在一些错误和疏漏之处，敬请读者批评指正。

编者

第 1 版前言

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连,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

第2版前言	
第1版前言	
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	10
第三节 CAD/CAM 技术发展 趋势	16
思考题与习题	18
第二章 模具 CAD/CAM 系统的 构成	19
第一节 模具 CAD/CAM 系统 的硬件	19
第二节 模具 CAD/CAM 系统 的软件	22
第三节 模具 CAD/CAM 系统的 网络配置	26
思考题与习题	30
第三章 模具 CAD/CAM 常用软件	31
第一节 各种流行的 CAD/CAM 软件	31
第二节 通用 CAD 软件—— AutoCAD	32
第三节 AutoCAD 的二次开发 工具	34
第四节 新生代 CAD 软件—— SolidWorks	53
思考题与习题	60
第四章 冲压模具 CAD	62
第一节 冲压模具基础知识	62
第二节 冲裁模 CAD 系统的 特点	63
第三节 冲裁零件的输入和 计算机处理	67
第四节 冲裁零件的工艺性判别	70
第五节 冲裁零件的排样	71
第六节 冲裁模系统中的计算 机辅助制造	73
第七节 冲裁工艺参数计算和 冲模结构设计	76
第八节 冲模图样绘制	78
第九节 其他专用冲模 CAD 技术	80
思考题与习题	83
第五章 注射模 CAD	84
第一节 注射模基础知识	84
第二节 注射件浇注系统 CAD	90
第三节 注射模镶块 CAD	93
第四节 注射模模架选择	94
第五节 型芯与型腔 CAD	97
第六节 注射模 CAD 设计过程 示例	97
思考题与习题	101
第六章 模具 CAM	102
第一节 模具制造与数控加工	102

第二节 数控编程技术基础.....	106	思考题与习题.....	149
第三节 数控编程软件		第八章 模具 CAD/CAM 领域的	
MasterCAM	116	新技术.....	150
第四节 数控编程软件		第一节 高速加工技术.....	150
SurfCAM	120	第二节 逆向工程技术.....	156
思考题与习题.....	124	第三节 快速成形技术.....	162
第七章 模具 CAE	125	第四节 虚拟制造技术.....	167
第一节 有限元分析概述.....	125	思考题与习题.....	171
第二节 金属塑性成形模拟.....	133	参考文献.....	172
第三节 塑料成型模拟.....	142		

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 年的 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

为了使我们了解 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)的发展紧密相连,因此,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 技术的发展和應用奠定了坚实的理論基础。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 软件的出现和應用。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 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 1-1 所示为 CAD/CAM 相关技术的发展情况。

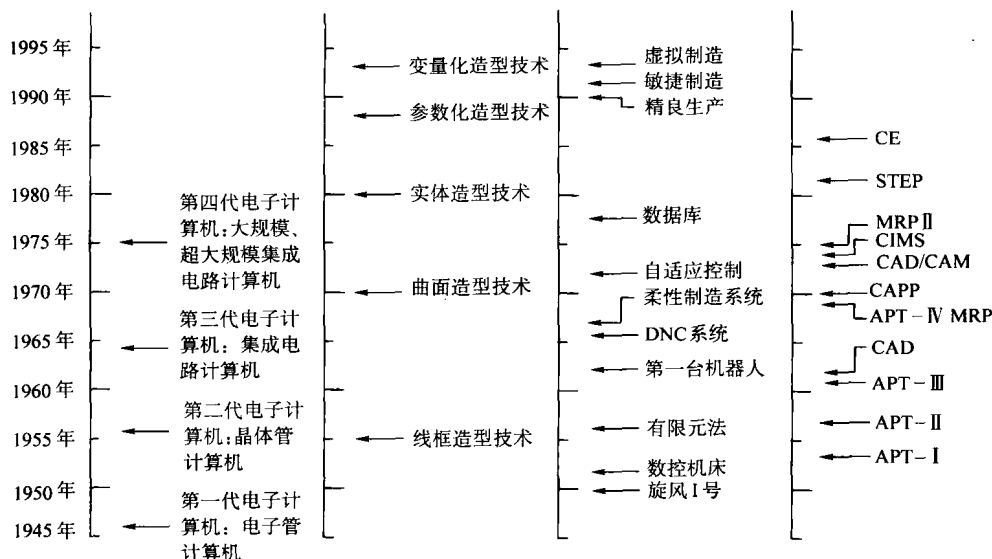


图 1-1 CAD/CAM 相关技术的发展

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，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） 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。

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,把设计人员的创造性思维、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来进行产品制造的统称,有狭义 CAM 和广义 CAM 之分。狭义 CAM 是指在制造过程中的某个环节应用到计算机辅助技术(通常是指计算机辅助机械加工),更明确地说,即数控加工,它的输入信息是零件的工艺路线和工序内容,输出信息是加工时的刀位文件和数控程序。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 过程中主要包括两类软件:计算机辅助工艺设计软件(Computer Aided Process Planning, CAPP)和数控编程软件(Numerical Control Programming, NCP)。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 1-2 所示。

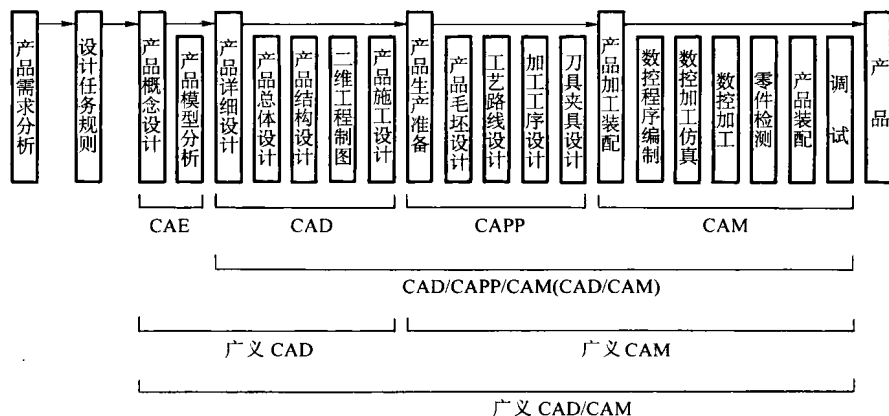


图 1-2 产品开发过程及 CAD、CAE、CAM 的范围

CAD/CAM 技术是一种在不断发展的技术,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 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 的内涵又作了补充,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。

三、CAD/CAM 系统组成

CAD/CAM 系统由硬件系统和软件系统组成。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 1-3 所示。

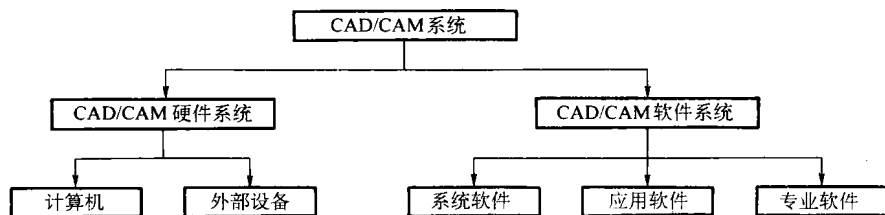


图 1-3 CAD/CAM 系统的组成

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。相关内容将在第二章中详细介绍。

四、CAD 的关键技术

传统的实体造型技术属于无约束自由造型。目前, CAD 技术的基础理论主要是以 PTC 公司开发的 Pro/ENGINEER 为代表的参数化造型理论和以 SDRC 公司开发的 I-DEAS 为代表的变量化造型理论, 这两种造型理论指导下的实施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平面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、铅直等这些非数值的几何关系的限制。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他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 在新产品开发的概念设计阶段, 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