

教育科学“十五”国家规划课题研究成果

计算机辅助设计与制造

主 编	刘极峰		
副主编	易际明	杨小兰	宋爱平
参 编	郭秀云	王育荣	闫占辉
	彭浩轲	于 雷	

高等教育出版社

内容简介

本书是教育科学“十五”国家规划课题之一“21 世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题的研究成果。

计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 技术具有知识密集、学科交叉、综合性强等特点,是目前世界上科技领域的前沿课题。本着突出应用型教育特色,保持系统性,注重实践性,提高创造性的编写思路,本书系统介绍了 CAD/CAM 的基本知识、基本理论、基本方法。全书共分为 11 章,主要包括绪论、计算机辅助设计与制造系统的软硬件、计算机数据处理技术、图形处理技术、建模技术、基于特征参数化的机械设计、计算机辅助工程分析、计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助数控编程、CAD/CAM 集成、制造业相关新技术等。为便于学习,附录中对 Pro/E、Solidworks、UG、I-DEAS 等常用开发应用软件的相关内容进行了介绍,并引入了一些工程应用与开发实例,各章后均附有适当的设计练习、编程或思考题目以供选用。

本书可作为高等院校机械设计制造及其自动化专业教材,也可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高校相关专业的教材,还可作为从事机电产品设计与制造技术的研究人员、应用人员、工程管理人员的学习用书或参考书。

图书在版编目(CIP)数据

计算机辅助设计与制造/刘极峰主编. —北京:高等教育出版社, 2004.7

ISBN 7-04-014516-2

I. 计… II. 刘… III. ①计算机辅助设计-高等学校-教材②计算机辅助制造-高等学校-教材
IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 045091 号

策划编辑 龙琳琳 责任编辑 龙琳琳 封面设计 于涛 责任绘图 郝林
版式设计 胡志萍 责任校对 康晓燕 责任印制

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http:// www.hep.edu.cn
总 机	010-82028899		http:// www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷			
开 本	787×960 1/16	版 次	年 月第 1 版
印 张	27.5	印 次	年 月第 1 次印刷
字 数	510 000	定 价	34.10 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

总 序

为了更好地适应当前我国高等教育跨越式发展需要，满足我国高校从精英教育向大众化教育的重大转移阶段中社会对高校应用型人才培养的各类要求，探索和建立我国高等学校应用型人才培养体系，全国高等学校教学研究中心（以下简称“教研中心”）在承担全国教育科学“十五”国家规划课题——“21世纪中国高等教育人才培养体系的创新与实践”研究工作的基础上，组织全国100余所以培养应用型人才为主的高等院校，进行其子项目课题——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”的研究与探索，在高等院校应用型人才的教学内容、课程体系研究等方面取得了标志性成果，并在高等教育出版社的支持和配合下，推出了一批适应应用型人才培养需要的立体化教材，冠以“教育科学‘十五’国家规划课题研究成果”。

2002年11月，教研中心在南京工程学院组织召开了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题立项研讨会。会议确定由教研中心组织国家级课题立项，为参加立项研究的高等院校搭建高起点的研究平台，整体设计立项研究计划，明确目标。课题立项采用整体规划、分步实施、滚动立项的方式，分期分批启动立项研究计划。为了确保课题立项目标的实现，组建了“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题领导小组（亦为高校应用型人才立体化教材建设领导小组）。会后，教研中心组织了首批课题立项申报，有63所高校申报了近450项课题。2003年1月，在黑龙江工程学院进行了项目评审，经过课题领导小组严格的把关，确定了首批9项子课题的牵头学校、主持学校和参加学校。2003年3月至4月，各子课题相继召开了工作会议，交流了各校教学改革的情况和面临的具体问题，确定了项目分工，并全面开始研究工作。计划先集中力量，用两年时间形成一批有关人才培养模式、培养目标、教学内容和课程体系等理论研究成果报告和在研究报告基础上同步组织建设的反映应用型人才特色的立体化系列教材。

与过去立项研究不同的是，“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”课题研究在审视、选择、消化与吸收多年来已有应用型人才探索与实践成果基础上，紧密结合经济全球化时代高校应用型人才培养工作的实际需要，努力实践，大胆创新，采取边研究、边探索、边实践的方式，推进高校应用型人才工作，突出重点目标，并不断取得标志性的阶段成果。

教材建设作为保证和提高教学质量的重要支柱和基础，作为体现教学内容

和教学方法的知识载体,在当前培养应用型人才中的作用是显而易见的。探索、建设适应新世纪我国高校应用型人才培养体系需要的教材体系已成为当前我国高校教学改革和教材建设工作面临的十分重要的任务。因此,在课题研究过程中,各课题组充分吸收已有的优秀教学改革成果,并和教学实际结合起来,认真讨论和研究教学内容和课程体系的改革,组织一批学术水平较高、教学经验较丰富、实践能力较强的教师,编写出一批以公共基础课和专业、技术基础课为主的有特色、适用性强的教材及相应的教学辅导书、电子教案,以满足高等学校应用型人才培养的需要。

我们相信,随着我国高等教育的发展和高校教学改革的不断深入,特别是随着教育部“高等学校教学质量和教学改革工程”的启动和实施,具有示范性和适应应用型人才培养的精品课程教材必将进一步促进我国高校教学质量的提高。

全国高等学校教学研究中心

2003 年 4 月

前 言

时至今日,历经近 50 年沧桑变化的计算机辅助设计与制造 (CAD/CAM) 技术已发展成为当今高效率、高效益的高新技术。它具有知识密集、学科交叉、综合性强、应用范围广等特点,是目前世界上科技领域的前沿课题,且为衡量一个国家科技现代化、工业现代化的重要指标之一,因而当之无愧地被评为当代最杰出的十大工程技术成就之一。

计算机辅助设计与制造技术从根本上改变了传统设计、生产与组织的模式,给一切设计、制造领域带来了根本性的变化。进入 21 世纪,其发展速度更为惊人,对全球工业乃至整个社会仍将具有深远的影响。

在我国,计算机辅助设计与制造技术的研究、开发、应用与推广之势如火如荼。面对进入 21 世纪所带来的挑战与机遇,CAD/CAM 技术已成为企业开拓市场、技术创新不可缺少的法宝。企业对先进制造技术、系统的核心技术认识更加深刻,而对该技术的引进、消化、应用、开发及相应的人才需求更为迫切,故计算机辅助设计与制造技术已成为 21 世纪工科类大学生和工程技术人员必修之课。

编写过程中,本书在借鉴国内同类教材的基础上,引入了 CAD/CAM 的最新科技信息与成果,简要介绍了流行的实用工程软件,相关章节引入了适当的工程实例,各章结尾安排了适当的设计练习、编程或思考题目,力争使之成为一本适于全国高等学校机械类、近机类专业计算机辅助设计与制造课程,具有应用型特色的教材。

本书力求有以下特点:

(1) 突出应用型特色 本书以机械类专业人才为培养对象,以实际、实用、实践为原则,突出工程应用的特点。各章节尽可能结合工程软件或工程实例进行编排、讲解。

(2) 保持系统性 在内容安排上依次按照工程中产品设计、工艺、加工制造三个主要环节的顺序进行,保持知识的系统性,尽可能贴近工程实际,力求讲解准确、清晰、简洁、易懂。

(3) 注重实践性 注重介绍计算机在工程图绘制、产品造型、工艺规程编制、数控编程中的应用和实践,强调完成一定量的相关实验、软件运用、二次开发、软件制作、课程设计、模拟仿真等实践性教学环节,以求提高学生的工程动手能力,尽量缩短学生进入企业后的适应期。

(4) 提高创造性 适度介绍现代设计方法、与制造业相关的新技术等现代高新技术与方法,通过多样化的设计制造方法及工程实例启发学生的创新思维,培养学生分析和解决工程实际问题的能力,使学生了解 CAD/CAM 的发展与前沿,开阔思路,提高他们从事技术研究和工程应用的创造性思维能力。

鉴于机械类、近机类各专业的要求与教学学时数相差较大,本书的内容编排力求满足本科机械类不同专业的教学要求,课时适用于 30~60 学时,同时又可供自学提高、远程教育之用。

本书第 5、8 章由易际明编写,第 2 章及附录由宋爱平编写,第 9 章、第 10 章第 5 节由闫占辉编写,第 4 章、第 7 章第 1~5 节由郭秀云、杨小兰、刘极峰共同编写,第 3 章由王育荣编写,第 6 章由彭浩轲编写,第 10 章第 1~4、6 节由于雷编写,绪论、第 1 章、第 7 章第 6、7 节由刘极峰编写。

全书由刘极峰统稿并担任主编,易际明、宋爱平、杨小兰担任副主编,协助统稿。本书参考或引用了一些文献的部分内容,在此对文献作者谨致由衷的谢意。

全书由上海交通大学翁世修教授担任主审,上海交通大学胡德金教授对本书的编写提出了许多宝贵意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,书中不足、不妥之处难免,恳请广大读者指正。

编 者

2004 年 2 月

目 录

绪论	1
0.1 CAD/CAM 的发展	1
0.2 CAD/CAM 的基本概念	3
0.3 CAD/CAM 系统的功能与任务	5
0.4 CAD/CAM 技术的应用	8
习题与思考题	10
第 1 章 CAD/CAM 系统的硬件与软件	11
1.1 CAD/CAM 系统的组成	11
1.2 CAD/CAM 系统的硬件及布局形式	11
1.3 CAD/CAM 系统的软件	25
1.4 CAD/CAM 系统选择的原则	33
习题与思考题	34
第 2 章 计算机数据处理技术	35
2.1 数表的计算机处理技术	35
2.2 线图的计算机处理技术	40
2.3 数据库的基本原理与应用	46
习题与思考题	57
第 3 章 计算机图形处理技术	58
3.1 概述	58
3.2 图形变换	58
3.3 图形消隐技术	76
3.4 图形的光照处理技术	85
3.5 图形裁剪技术	91
习题与思考题	95
第 4 章 CAD/CAM 建模技术	97
4.1 概述	97
4.2 线框建模	104
4.3 表面建模	105
4.4 实体建模	108
4.5 特征建模	116

习题与思考题	125
第 5 章 基于特征参数化的机械设计	127
5.1 特征参数化设计概述	127
5.2 标准件库设计	133
5.3 虚拟装配技术	136
5.4 图形渲染与工程图设计	146
习题与思考题	156
第 6 章 计算机辅助工程分析	160
6.1 有限元分析	160
6.2 优化设计	171
6.3 可靠性分析	180
6.4 系统动态分析	188
6.5 虚拟样机技术	195
习题与思考题	207
第 7 章 计算机辅助工艺过程设计	208
7.1 概述	208
7.2 派生式 CAPP 系统	217
7.3 创成式 CAPP 系统	236
7.4 综合式 CAPP 系统	249
7.5 CAPP 专家系统	251
7.6 计算机辅助夹具设计	256
7.7 KMCAPP 系统简介	259
习题与思考题	269
第 8 章 计算机辅助数控编程	271
8.1 数控编程的基本概念	271
8.2 手工编程方法	280
8.3 数控自动编程	283
8.4 自动编程系统的刀位算法	290
8.5 Pro/E 数控加工与后置处理	293
习题与思考题	301
第 9 章 CAD/CAM 集成	303
9.1 CAD/CAM 集成技术概述	303
9.2 CAD/CAM 集成数据管理	310
9.3 产品数据交换标准	316
9.4 PDM 技术集成方案	324

习题与思考题	331
第 10 章 与制造业相关的新技术	332
10.1 敏捷制造 AM	332
10.2 并行工程 CE	341
10.3 精良生产 LP	350
10.4 虚拟制造 VM	354
10.5 快速成形技术 RP	365
10.6 CIMS 的体系结构与关键技术	369
习题与思考题	380
附录 1 Pro/Engineer 简介	381
附录 2 Solidworks 简介	404
附录 3 UG 简介	410
附录 4 I-DEAS 简介	420
参考文献	424
后记	427

绪 论

制造业是国民经济的支柱产业。当今制造领域中，随着市场经济的迅速发展，用户对产品的质量、产品换代速度、产品从设计制造到投放市场的周期等提出越来越高的要求。欲适应这种瞬息万变的市场需求，缩短设计制造周期，提高产品质量，必须有先进的制造技术。计算机技术与制造技术相互渗透、依存、结合并共同发展，产生了这样一门综合性应用技术——计算机辅助设计与制造（computer aided design and computer aided manufacturing，简称 CAD/CAM）。该技术具有知识密集、学科交叉、综合性强等特点，为当代具有高效率、高效益特点的高新技术，是当前世界科技领域的前沿技术。该技术的发展和應用已成为衡量一个国家科技现代化与工业现代化水平的重要指标之一，该技术已被美国工程科学院评为当代做出最杰出贡献的十大工程技术之一。

0.1 CAD/CAM 的发展

回顾 CAD/CAM 技术的发展史，更可以看出它与计算机技术的发展密切相关。

1946 年，美国麻省理工学院（MIT）研制成功了世界上第一台电子计算机，它的高运算能力和大容量的信息存储能力，使得很多数值分析方法能在计算机上完成。之后，人们不断将计算机技术引入设计制造领域。

1952 年，世界上第一台数控铣床在美国 MIT 试制成功，通过改变数控程序就可实现对不同零件的加工。之后，MIT 研制开发了 APT 自动编程语言，通过描述走刀轨迹的方法来实现计算机辅助数控编程。在此基础上人们联想到，能否不描述走刀轨迹，而通过直接描述零件本身来实现数控编程？这就是 CAD 的最初概念。人们设想如何通过自动运行各个程序来实现计算机辅助设计过程，并能由此解决不同复杂程度的生产计算问题的各个过程。此间 CAD 处于准备孕育阶段，因整个 20 世纪 50 年代电子计算机仍处于电子管时代，计算机主要用于科学计算，且使用的是机器语言编程，图形设备仅具有输出功能。

1963 年，美国 MIT 学者 I.E.Sutherland 有关人机对话图形通信系统的论文问世，研制成功了世界上第一套实时交互功能的二维 SKETCHPAD 系统。该系统允许设计者操作光笔和键盘，在荧光屏上显示图形，实现人机交互作业。这项成果标志着 CAD 技术的诞生，为以后 CAD 技术的发展提供了基本条件和理论基础。此后陆续出现了许多商品化的 CAD 系统与设备：美国 IBM 公司开发了以

大型机为基础的 CAD/CAM 系统, 具有绘图、数控编程和强度分析等功能; 通用汽车公司为实现各个阶段的汽车设计, 研制了 DAC-1 系统; 洛克希德公司出台了 CADAM 系统等。1966 年又出现了采用通用计算机直接控制多台数控机床的 DNC 系统。

1978 年前后, CAD/CAM 技术发展趋于成熟。伴随着计算机硬件的发展, 以小型机、微型机为主机的 CAD 系统逐渐引入市场。为了适应设计与加工的要求, 三维几何处理技术应运而生, 出现了面向中小企业的 CAD/CAM 商品化软件系统。英国莫林公司研制的由计算机集中控制的自动化制造系统, 包含 6 台加工中心和一条自动运输线, 可进行连续作业, 并可用计算机编制 NC 程序、作业计划、统计报表等; 美国辛辛那提公司成功地研制了一条 FMS 柔性制造系统。

1980 年以后, CAD/CAM 技术进入迅速发展期。计算机外围设备已逐渐成为系列产品, 超大规模集成电路的出现, 使计算机硬件成本大幅下降。相应的软件技术 (如优化设计、有限元分析、数据库技术等) 迅速提升, 出现了很多商品化软件, 推动了 CAD/CAM 技术的应用和推广, 并使其从发达国家向发展中国家发展, 从大型企业向中小型企业发展, 从军用产品设计向工程产品设计发展。它还使一些与制造过程密切相关的计算机辅助技术得以发展, 如计算机辅助工艺规程设计 (CAPP)、计算机辅助工装与夹具设计、计算机辅助质量控制 (CAQ) 等。

1990 年以后, CAD/CAM 技术一改过去的单一功能、单一领域、单一内容的运行模式, 转向集成化、智能化、标准化的方向发展。系统的集成, 是为了实现资源共享, 实现产品生产与组织管理的高度自动化, 提高产品的市场竞争能力, 缩短产品研发的周期, 加速新产品对市场需求的响应。为此, 国际标准化组织及一些工业发达国家都在从事标准接口的开发; 同时, 面向对象技术、并行工程思想、人工智能技术、计算机集成制造系统、快速成型技术、敏捷制造技术的研究, 又极大地推进了 CAD/CAM 技术向更高水平的发展。

我国的 CAD/CAM 技术起步约在 20 世纪 70 年代中期, 最早用于航空工业, 应用较多的是采用计算机进行一些产品的分析计算。20 世纪 80 年代初期, 国家在 CAD/CAM 技术应用开发方面实施重点投资, 取得了一些成果。最近几年, CAD/CAM 技术在我国发展很快, 现已在机械、电子、交通、运输、汽车、建筑、包装等行业逐步进入实用阶段。一方面, 软件引进的力度加强, 很多国际流行的通用性软件已正在为广大技术人员所掌握, 如 Pro/E、UG、I-DEAS、CADAM 等; 另一方面, 很多高校、科研院所组织开发 CAD/CAM 系统, 有些已达到国际先进水平, 如华中的 KMCAD、KMCAPP, 清华的高华 CAD 等。

0.2 CAD/CAM 的基本概念

CAD/CAM 主要包括 CAD、CAPP、CAM、CAD/CAM 集成等技术。

0.2.1 CAD 技术

计算机辅助设计 (computer aided design, 简称 CAD), 泛指设计者以计算机为主要工具, 对产品进行设计、绘图、工程分析与编撰技术文档等设计工作的总称, 是一项综合性技术。其中工程分析泛指包括有限元分析、可靠性分析、动态分析、优化设计及产品的常规分析计算等内容, 亦称计算机辅助工程分析 (computer aided engineering, 简称 CAE)。

作为一个设计过程, CAD 是在计算机环境下完成产品的创造、分析、设计和修改, 以达到预期规划目标的过程。目前 CAD 技术可实现的功能包括, 设计人员在进行产品概念设计的基础上从事产品的几何造型分析, 完成产品几何模型的建立, 然后抽取模型中的有关数据进行工程分析和计算 (例如有限元分析、模拟仿真等), 根据计算结果决定是否对设计结果进行修改, 修改满意后编辑全部设计文档, 输出工程图。从 CAD 作业过程可以看出, CAD 技术也是一项产品建模技术, 它是将产品的物理模型转化为产品的数据模型, 并把建立的数据模型存储在计算机内供后续的计算机辅助技术共享, 驱动产品生命周期的全过程。

一般认为, CAD 的功能可归纳为几何建模、工程分析、模拟仿真、自动绘图等四大类。而实现这些功能的一个完备的 CAD 系统应由科学计算系统、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、优化设计以及产品的常规计算分析等内容; 图形系统用于几何造型、自动绘图 (二维工程图、三维实体图)、动态仿真等设计过程; 工程数据库是对设计过程中使用或产生的数据、图形、文档等信息进行存储和管理。

在 CAD 系统中, 若加入人工智能和专家系统技术, 让计算机模拟人类专家解决问题的思路和方法进行推理和决策, 可大大提高设计自动化水平, 并可实现对产品进行功能设计、总体方案设计等产品的概念设计过程, 从而对产品设计全过程提供支持。

0.2.2 CAPP 技术

计算机辅助工艺设计 (computer aided process planning, 简称 CAPP), 是根据产品设计结果进行产品的加工方法和制造过程的设计。一般认为, CAPP 系统的功能包括毛坯设计、加工方法选择、工序设计、工艺路线制定和工时定

额计算等。其中的工序设计又包含加工设备和工装的选用、加工余量的分配、切削用量选择、机床和刀具的选择、必要的工序图生成等。

工艺设计是制造型企业技术部门的主要工作之一，其设计效率的高低以及设计质量的优劣，对生产组织、产品质量、生产率、产品成本、生产周期等均有极大的影响。长期以来，工艺人员依据个人的经验以手工的方式进行工艺设计。由于这种方法固有的效率低、工艺方案因人而异、难以取得最佳的工艺方案等缺陷，难以适应当今快速发展的生产需要。

应用 CAPP 能够迅速编制出完整、详尽、优化的工艺方案和各种工艺文件，可极大提高工艺人员的工作效率，缩短工艺准备时间，加快产品投放市场的速度。此外，应用 CAPP 技术还可以获得符合企业实际条件的优化工艺方案，给出合理的工时定额和材料消耗，为企业的科学管理提供可靠的数据。因此，CAPP 技术的研究和应用对改革我国工艺设计的现状，促进企业的发展，增强企业的市场适应能力，提高企业的市场响应速度都有着重要的作用。

0.2.3 CAM 技术

计算机辅助制造 (computer aided manufacturing, 简称 CAM) 到目前为止尚无统一的定义。一般而言，它是指计算机在制造领域有关应用的统称，它有广义 CAM 和狭义 CAM 之分。

所谓广义 CAM，一般是指利用计算机辅助完成从毛坯到产品制造过程中直接和间接的各种活动，包括工艺准备、生产作业计划、物流过程的运行控制、生产控制、质量控制等主要方面。其中工艺准备包括计算机辅助工艺过程设计、计算机辅助工装设计与制造、NC 编程、计算机辅助工时定额和材料定额的编制等内容；物流过程的运行控制包括物料的加工、装配、检验、输送、储存等生产活动。

狭义 CAM 通常指数控程序的编制，包括刀具路线的规划、刀位文件的生成、刀具轨迹仿真以及后置处理和 NC 代码生成等。

0.2.4 CAD/CAM 集成技术

自 20 世纪 60 年代开始，CAD、CAPP、CAM 技术就各自独立地发展，国内外研究开发了一批性能优良、相互独立的商品化 CAD、CAPP、CAM 系统。这些独立的系统分别在产品自动设计、工艺规程设计自动化和数控编程自动化方面起到了重要的作用。采用这些系统，无疑使企业生产提高了效率，缩短了产品设计与制造周期，使企业能够以比过去更快的速度更新自己的产品和响应市场的需求。然而，这些各自独立的系统不能实现系统之间信息的自动传递和交换。例如 CAD 系统设计的结果不能直接为 CAPP 所接受，在进行 CAPP 作业时，仍然

需要设计者将 CAD 输出的图样文档转换成 CAPP 系统所需要的数据信息再进行输入,这不仅影响了设计效率的提高,而且人为的转换难免不发生错误。因而,随着计算机辅助技术日益广泛的应用,人们很快地认识到,只有当 CAD 系统一次性输入的信息可为后续环节(如 CAPP、CAM)直接应用,才能获得最大的经济效益。为此人们提出了 CAD/CAPP/CAM 集成的概念,并首先致力于 CAD、CAPP 和 CAM 系统之间数据自动传递与转换的研究,以便将其集成起来。目前,这一技术已达到实用化水平。

CAD/CAM 集成实质上是指在 CAD、CAPP、CAM 各模块之间形成相关信息的自动传递和转换。集成化的 CAD/CAM 系统借助于公共的工程数据库、网络通信技术以及标准格式的中性文件接口,把分散于机型各异的计算机中的 CAD/CAM 模块高效地集成起来,实现软、硬件资源共享,保证系统内信息的流动畅通无阻。

随着信息技术的不断发展,为使计算机辅助技术给企业带来更大的效益,人们又提出了要将企业内所有分散的信息系统进行集成,不仅包括生产信息,还包括生产管理过程所需的全部信息,从而构成一个计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system,简称 CIMS),而 CAD/CAM 集成技术则是计算机集成制造系统的一项核心技术。

0.3 CAD/CAM 系统的功能与任务

由于 CAD/CAM 系统所研究的对象任务各有不同,所选择的支撑软件各有不同,对系统的硬件配置、选型也不同。系统总体与外界进行信息传递与交换的基本功能是靠硬件提供的,而系统所能解决的具体问题是由软件保证的。

0.3.1 CAD/CAM 系统的基本功能

1. 人机交互功能

在 CAD/CAM 系统中,人机接口是用户与系统连接的桥梁。采用友好的用户界面,是保证用户直接、有效地完成复杂设计任务的基本和必要条件,除此以外,还需有交互设备,以实现人与计算机之间的联络与通进程。

2. 图形显示功能

如上所述,CAD/CAM 是一个人机交互的过程。在这个过程中,用户的每一次操作都能从显示器上及时得到反馈,直到取得最佳的设计结果。

从产品的造型、构思、方案的确定,从结构分析到加工过程的仿真,系统应保证用户能够随时观察、修改中间结果,实时进行编辑处理。图形显示功能不仅能够对二维平面图形进行显示控制,还具有对三维实体进行处理等功能。

3. 存储功能

CAD/CAM 系统运行时具有很大的数据量,且伴随着很多算法,将生成大量的中间数据,尤其是对图形的操作、交互式的设计、结构分析中的网格划分等。为保证系统能够正常的运行,CAD/CAM 系统必须配置容量较大的存储设备,以支持数据在各模块运行时的正确流通。工程数据库系统更要求具有储存较大空间的能力。

4. 输入输出功能

CAD/CAM 系统运行过程中,一方面用户需不断地将有关设计要求、计算步骤的具体数据等输入计算机内;一方面通过计算机的处理,能够将系统处理的结果及时输出。这个输入输出功能也是系统的基本功能。输入输出的信息可以是数值,也可非数值,譬如图形数据、文本、字符等。

0.3.2 CAD/CAM 系统的主要任务

CAD/CAM 系统的主要任务是对产品设计以及制造全过程的信息进行处理。这些信息主要包括设计、制造中的数值计算,设计分析,工程绘图,几何建模,机构分析,计算分析,有限元分析,优化分析,系统动态分析,测试分析,CAPP,工程数据库的管理,数控编程,加工仿真等各个方面。

1. 几何建模

产品设计构思阶段,系统能描述基本几何实体及实体间的关系;提供基本体素、构造实体的多种造型方法,以便为用户提供所设计产品的几何形状、大小,进行零件的结构设计以及零部件的装配;能动态地显示三维图形,解决三维几何建模中复杂的空间布局问题;同时还能进行消隐、色彩浓淡处理等。利用几何建模的功能,用户不仅能构造各种产品的几何模型,还能够随时观察、修改模型,或检验零部件装配的结果。

几何建模是 CAD/CAM 系统的核心。它为产品的设计、制造提供基本数据,同时为其他模块提供原始信息。几何建模所定义几何模型的信息可供有限元分析、绘图、仿真、加工等模块调用。几何建模模块内,不仅能构造规则形状的产品模型,对于复杂表面的造型,系统可采用曲面造型或雕塑曲面造型的方法,根据给定的离散数据或有关具体工程问题的边界条件来定义、生成、控制和处理过渡曲面,或用扫描的方法得到扫视体,建立曲面的模型。小至 U 盘插套、手机机壳、液晶显示器机体,大到汽车车身、飞机机翼、巨型船舶船体等的设计制造,均可采用此种方法。

2. 工程绘图

很多产品的设计结果都以图形的形式出现,CAD/CAM 中的某些中间结果也是通过图形表达的。CAD/CAM 系统一方面应具备从几何造型的三维图形直接向

二维图形转换的功能；另一方面，还需有处理二维图形的能力，包括基本图元的生成，标注尺寸，图形的编辑处理（比例变换、平移、图形拷贝、图形删除等），显示控制以及附加技术条件等功能，保证生成符合生产要求，也符合国家标准的图样文件。

3. 计算分析

CAD/CAM 系统构造了产品的形状模型之后，能够根据产品的几何形状，计算出产品相应的体积、表面积、质量、重心位置、转动惯量等几何特性和物理特性，为系统进行工程分析和数值计算提供必要的基本参数。CAD/CAM 中的结构分析尚需进行应力、温度、位移等计算；图形处理中需进行变换矩阵的运算；体素之间要进行交、并、差运算等；在工艺规程设计中要进行工艺参数的计算。所以，要求 CAD/CAM 系统对各类计算分析的算法要正确、全面，且数据计算量大，还要有较高的计算精度。

4. 优化设计

系统应具有优化求解的功能，即在一定条件的约束限制下，使工程设计中的预定指标达到最优。优化设计包括总体方案的优化、产品零部件结构的优化、工艺参数的优化、可靠性优化等。优化设计是现代设计方法学中的一个重要组成部分。

5. 有限元分析

有限元分析是一种数值近似解法，用来解决结构形状比较复杂零件的静态、动态特性，如强度、振动、热变形、磁场、温度场强度、应力分布状态等的计算分析问题。在进行静、动态特性分析计算之前，系统根据产品的结构特点划分网格，标出单元号、节点号，并将划分的结果显示在屏幕上；进行分析计算之后，将计算结果以图形、文件的形式输出，例如应力分布图、温度分布图、位移变形曲线等，使用户方便、直观地看到分析的结果。

6. 计算机辅助工艺设计

工艺设计为产品的加工制造提供指导性的文件，是 CAD 与 CAM 的中间环节。根据建模后生成的产品信息及制造要求，决策或自动决策加工该产品所采用的加工方法、加工步骤、加工设备及加工参数。其结果一方面能被生产实际所用，生成工艺卡片文件，另一方面能直接输出一些信息，为 CAM 中的 NC 自动编程系统接收、识别，直接转换为刀位文件。

7. 数控编程

数控机床是由计算机控制的，而计算机又必须通过加工程序来控制机床。零件加工程序是控制机床运动的源程序，它提供数控机床各种运动和操作的全部信息，主要的有加工工序各坐标的运动行程、速度、联动状态，主轴的转速和转向，刀具的更换，切削液的打开和关断以及排屑等。

数控编程的主要内容有：分析零件图样、确定加工工艺过程、进行数学处理、编写程序清单、制作控制介质、进行程序检查、输入程序以及工件试切等。

8. 动态仿真

在编制数控程序的过程中出错是经常可能发生的，如输入进给方向的错误、切削深度和机床功率的超载等会导致刀具、机床的损坏。对产品从设计到制造的整个过程进行动态仿真，即在产品设计之后投入生产之前，可以实时模拟出产品制造的全过程。借助于动态仿真系统，可以将数控程序的执行过程在屏幕上显示出来，从软件上实现零件的试切过程。利用动态仿真系统可以检查程序的结构错误、语法错误和词法错误。动态仿真系统可以动态模拟加工的全过程，还可以对给定的工艺极限值进行监控检测。

在 CAD/CAM 系统内部建立一个工程设计的实际系统模型，如机构、机械手、机器人等。通过进行动态仿真，代替、模拟真实系统的运行，用以预测产品的性能、产品的制造过程和产品的可制造性。如数控加工仿真系统，从软件上实现零件试切的加工模拟，就可避免现场调试带来的人力、物力的投入以及加工设备损坏的风险，减少制造费用，缩短产品设计周期。通常有加工轨迹仿真，机构运动学模拟，机器人仿真，工件、刀具、机床的碰撞、干涉检验等。

9. 计算机辅助测试技术

计算机辅助测试技术是一门新兴的综合性学科，它所涉及的范围包括微型计算机技术、测量技术、数字信号处理技术、信号的传输和转换技术、抗干扰技术及现代控制理论等。我国对计算机辅助测试理论和实践的研究已有很大发展，取得了很大的成绩，且在科研、生产中得到了十分广泛的应用。

10. 工程数据管理

CAD/CAM 系统中的数据量大且种类繁多。有几何图形数据、属性语义数据；有产品定义数据、生产控制数据；有静态标准数据、动态过程数据。数据结构一般都较复杂，故 CAD/CAM 系统应能对各种数据提供有效的管理手段，支持工程设计与制造全过程的信息流动与交换。CAD/CAM 系统通常采用工程数据库系统作为统一的数据管理环境，实现各种工程数据的管理。

0.4 CAD/CAM 技术的应用

CAD/CAM 技术可充分发挥计算机及软硬件设备的能力，将工程领域中的专业技术与计算机技术结合起来，实现真正意义上的产品设计与制造一体化。随着计算机技术的不断发展，CAD/CAM 系统的性价比不断提高，使得 CAD/CAM 技术的应用领域也不断扩展至几乎所有工业领域。资料表明，公认的 CAD/CAM 技术应用比较成熟的是机械、电子、建筑等领域。全球 CAD/CAM 软件销售额逐年