

- 新专业规范
- 新基本要求
- 新课程体系
- 新教学内容



21世纪机械类课程系列教材

CAD/CAM 原理及应用

□ 主编 张英杰



高等教育出版社
Higher Education Press

TP391.7

69

2007

21 世纪机械类课程系列教材

CAD/CAM 原理及应用

主 编	张英杰			
副主编	刘马宝	曹 岩		
参 编	吉晓民	薛 梅		
	杨铁牛	赵 勇	张功学	
主 审	赵汝嘉			

高等教育出版社

内容提要

本书根据服务企业和社会、面向未来的原则,在讲述 CAD/CAM 基本原理的基础上,结合工程应用的实际案例,将国际主流 CAD/CAM 软件系统引入教学过程,不但能够提高读者对 CAD/CAM 基本理论的掌握和认知水平,领会 CAD/CAM 技术的精髓,而且能够提高对所学理论的实际运用能力。

本书共 11 章,内容包括:第 1 章概述,第 2 章 CAD/CAM 的支撑技术,第 3 章图形处理及真实感显示技术,第 4 章几何建模,第 5 章工程数据库的原理及应用,第 6 章计算机辅助工艺设计,第 7 章计算机辅助工程分析系统及应用,第 8 章专家系统及其在 CAD/CAM 系统中的应用,第 9 章数控加工技术,第 10 章数控加工仿真,第 11 章 CAD 图形软件包及其二次开发。

本书特色鲜明,内容丰富,条理清晰,图文并茂,深浅适宜,不仅可以作为高等工科院校机械类专业的教材,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,亦可供相关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

CAD/CAM 原理及应用/主编张英杰. —北京:高等教育出版社, 2007.4

ISBN 978 - 7 - 04 - 020755 - 2

I. C… II. 张… 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(2007)第 022333 号

策划编辑	卢 广	责任编辑	贺 玲	封面设计	张 楠	责任绘图	吴文信
版式设计	王艳红	责任校对	杨凤玲	责任印制	尤 静		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100011
总 机 010 - 58581000

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 北京铭成印刷有限公司

开 本 787 × 1092 1/16
印 张 13.25
字 数 320 000

购书热线 010 - 58581118
免费咨询 800 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landracom.com>
<http://www.landracom.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2007 年 4 月第 1 版
印 次 2007 年 4 月第 1 次印刷
定 价 17.00 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

物料号 20755 - 00

前 言

随着计算机技术在工业中的不断普及,作为制造业信息化的产物,CAD/CAM 技术已渗透到社会发展的各个角落,包括机械、电子、造船、航空航天、建筑和纺织等领域,推动了现代制造业的发展进程,因此 CAD/CAM 技术被视为 20 世纪工程成就之一,其应用水平已成为衡量一个国家工业发展水平的重要标志。

CAD/CAM 经过几十年的推广应用和发展,先后经过大型机系统、小型机系统、工作站系统和微机时代,每个阶段都有相应的 CAD/CAM 软件系统。目前,基于工作站和微机平台的 CAD/CAM 软件系统已经占据主导地位,涌现出一批国外优秀的 CAD/CAM 软件系统。随着 CAD/CAM 技术在我国各企业的不断普及,国产 CAD/CAM 软件也取得了长足的发展,诞生了许多拥有自主知识产权的 CAD/CAM 软件系统。

CAD/CAM 是一门交叉学科,涉及内容包括计算机图形学、图像显示、几何造型、数控技术、有限元分析、计算机仿真、工程数据库、计算机集成制造系统等多个学科。同时,CAD/CAM 的应用程度又与 CAD/CAM 应用软件系统的使用水平密切相关,它是一门理论性和实践性都很强的综合性技术。

当前,国内的 CAD/CAM 教材大多数注重于 CAD/CAM 基本原理和理论的讲解,或是完全针对某一 CAD/CAM 软件系统进行详细介绍,对理论和实践环节缺乏全面的讲解。针对这一现状,本书根据服务企业和社会、面向未来的原则,在讲述 CAD/CAM 基本原理的基础上,结合工程应用的实际案例,将国际主流 CAD/CAM 软件系统引入教学过程,不但能够提高读者对 CAD/CAM 基本理论的掌握和认知水平,领会 CAD/CAM 技术的精髓,而且能够提高对所学理论的实际运用能力。

各章编写分工如下:第 1、3、4、6 章由西安交通大学张英杰编写,第 2 章由西安理工大学吉晓民、薛梅编写,第 5 章由五邑大学杨铁牛编写,第 11 章由西北工业大学刘马宝编写,第 7、10 章由西安工业大学曹岩编写,第 8 章由北京交通大学赵勇编写,第 9 章由陕西科技大学张功学编写。本书由张英杰任主编,刘马宝、曹岩任副主编。

全书由西安交通大学赵汝嘉主审,在此表示感谢。

由于编者水平有限,书中不足、疏漏之处在所难免,希望读者不吝指教,在此表示衷心感谢。

编者

2005 年 3 月

目 录

第 1 章 概述	1	2.3.3 行业应用软件	28
1.1 CAD/CAM 的基本概念	1	2.4 CAD/CAM 软硬件的选择原则	29
1.1.1 计算机辅助设计	1	2.4.1 CAD/CAM 硬件选型	29
1.1.2 计算机辅助工艺设计	2	2.4.2 CAD/CAM 软件选型	31
1.1.3 计算机辅助制造	2	2.5 数据交换标准	32
1.2 CAD/CAM 技术的发展历史	3	2.5.1 初始数据交换规范	33
1.3 CAD/CAM 的研究内容和发展的现状	4	2.5.2 STEP 标准	33
1.4 CAD/CAM 系统的基本组成和分类	6	2.6 CAD/CAM 应用系统的开发	34
1.4.1 CAD/CAM 系统的组成	6	思考题	34
1.4.2 CAD/CAM 系统的分类	6	第 3 章 图形处理及真实感显示技术	35
1.5 CAD/CAM 系统的基本功能	8	3.1 图形变换	35
1.6 CAD/CAM 研究的关键技术	10	3.1.1 预备知识	35
思考题	12	3.1.2 实体在计算机中的表示形式	38
第 2 章 CAD/CAM 的支撑技术	13	3.1.3 二维图形的矩阵变换	40
2.1 CAD/CAM 系统的硬件配置	13	3.1.4 三维图形变换	43
2.1.1 主机与交互显示设备	13	3.1.5 投影变换	47
2.1.2 存储设备	15	3.1.6 坐标变换	49
2.1.3 输入设备	16	3.2 真实感图形显示	50
2.1.4 输出设备	17	3.2.1 消隐	50
2.2 基于 CAD/CAM 应用环境的局域网配置	21	3.2.2 光照模型	51
2.2.1 网络设备	21	3.2.3 光线跟踪	51
2.2.2 网络拓扑结构	22	3.2.4 表面图案与纹理	52
2.2.3 网络协议	23	思考题	52
2.2.4 局域网配置	23	第 4 章 几何建模	53
2.3 CAD/CAM 系统的软件系统	23	4.1 几何建模的预备知识	53
2.3.1 系统软件	24	4.1.1 线框模型	53
2.3.2 支撑软件	24	4.1.2 表面模型	53
		4.1.3 实体模型	55
		4.2 实体模型表示方法	56
		4.2.1 几何模型的边界表示	56

4.2.2 CSG 表示	57	6.3 CAPP 系统的基本类型	88
4.3 特征建模	61	6.3.1 派生式 CAPP	88
4.4 曲线和曲面造型	62	6.3.2 创成式 CAPP	88
4.4.1 预备知识	62	6.3.3 CAPP 专家系统	88
4.4.2 样条曲线的基本概念	63	6.4 CAPP 系统信息描述	89
4.4.3 Bezier 曲线、曲面	64	6.4.1 零件输入信息的分类	90
4.4.4 B 样条曲线、曲面	68	6.4.2 零件的信息描述与输入方法	90
4.4.5 非均匀有理 B 样条曲线、 曲面	70	6.5 CAPP 涉及的基本理论	91
思考题	71	6.5.1 成组技术	91
第 5 章 工程数据库的原理 及应用	72	6.5.2 分类编码系统简介	92
5.1 概述	72	6.5.3 人工智能技术	94
5.1.1 工程数据库的由来	72	6.5.4 工程数据库技术	95
5.1.2 工程数据库的应用及特点	73	6.6 CAPP 应用实例	96
5.1.3 工程数据库的发展方向	73	6.7 CAPP 的发展展望	101
5.2 数据库定义	74	思考题	101
5.2.1 数据的定义和性质	74	第 7 章 计算机辅助工程分析系统 及应用	103
5.2.2 工程数据库的定义	74	7.1 有限元分析与计算机辅助工程分析	103
5.3 数据模型	74	7.1.1 有限元分析	103
5.3.1 层次模型	74	7.1.2 计算机辅助工程分析	104
5.3.2 网络模型	75	7.1.3 计算机辅助工程分析的应用	105
5.3.3 关系模型	75	7.1.4 大型有限元分析软件的 结构和功能	106
5.3.4 工程数据库的数据模型	76	7.1.5 主要有限元分析软件	108
5.4 数据库系统	76	7.1.6 国外几种大型微机有限元 分析系统	110
5.5 实体表示方法	77	7.1.7 计算机辅助工程分析的 发展趋势	111
5.5.1 实体	77	7.2 大型有限元分析软件 ANSYS	112
5.5.2 实体间的关系	78	7.2.1 ANSYS 概述	112
5.5.3 实体关系图	79	7.2.2 ANSYS 的应用	113
5.6 通用数据库操作语言	80	7.2.3 ANSYS 用户界面	114
5.6.1 数据检索	81	7.2.4 ANSYS 的特点	115
5.6.2 数据插入	82	7.2.5 ANSYS 软件的主要功能	115
5.6.3 数据删除	83	思考题	119
5.6.4 数据修改	84	第 8 章 专家系统及其在 CAD/ CAM 系统中的应用	120
思考题	85	8.1 概述	120
第 6 章 计算机辅助工艺设计	86		
6.1 概述	86		
6.2 CAPP 系统的基本组成	87		

8.2 专家系统的组成	121	9.6.2 刀位点坐标数据变换	158
8.3 专家系统的知识表示	123	9.6.3 数型转换	159
8.3.1 基于规则的产生式表示法	123	9.6.4 编辑输出加工程序段	159
8.3.2 框架表示法	126	思考题	160
8.3.3 一阶谓词逻辑表示法	127	第10章 数控加工仿真	161
8.3.4 语义网络表示法	128	10.1 数控加工仿真原理	161
8.3.5 过程表示	128	10.2 数控加工仿真分类	162
8.3.6 不确切知识表示	129	10.3 数控加工仿真研究现状及 存在的问题	162
8.4 专家系统的推理方式	129	10.4 数控加工仿真技术	164
8.5 专家系统在工程应用中的特点	130	10.4.1 几何仿真	164
8.6 工程应用简介	131	10.4.2 切削过程力学仿真	165
思考题	133	10.4.3 几何仿真与物理力学仿真 的集成	165
第9章 数控加工技术	134	10.4.4 定量仿真技术	165
9.1 数控技术的产生与发展	134	10.4.5 数控机床仿真模型的建立	165
9.1.1 概述	134	10.4.6 数控加工刀具包络体的 实体表现	166
9.1.2 数控技术的发展历程	134	10.4.7 数控加工仿真可视化和 动画实现	166
9.2 数控机床	135	10.4.8 加工仿真实现的方法	167
9.2.1 数控机床的组成	135	10.4.9 基于虚拟现实的数控加工 过程仿真	167
9.2.2 数控机床的工作原理	136	10.4.10 数控加工仿真系统的 开发方式	168
9.2.3 数控机床的分类	136	10.4.11 机床库、刀具库、夹具库、材 料库等的建立	168
9.2.4 数控机床的坐标系	137	10.5 数控加工仿真在虚拟制造中 的应用	168
9.3 数控加工基础	138	10.5.1 虚拟加工过程仿真	168
9.3.1 数控加工的基本概念	138	10.5.2 生产加工过程可视化及检测	169
9.3.2 数控加工的常用术语	139	10.5.3 虚拟装配仿真	169
9.3.3 数控加工的特点	140	10.5.4 工厂设计和规划	169
9.4 数控程序编制	141	10.6 美国 CGTech 公司的 VERICUT 加工 过程仿真软件	171
9.4.1 手工编程	141	10.6.1 环境界面	171
9.4.2 常用的编程指令	143	10.6.2 模块功能	172
9.4.3 手工编程实例	145	10.6.3 启动、退出 VERICUT	174
9.4.4 自动编程	147	10.6.4 VERICUT 机床加工仿真过程	174
9.4.5 图形交互式自动编程系统	148		
9.5 APT 语言	149		
9.5.1 基本符号	149		
9.5.2 词汇	150		
9.5.3 语句	150		
9.5.4 APT 语言零件源程序编制	154		
9.6 自动数控编程的后置处理程序	158		
9.6.1 判断走刀类型	158		

10.6.5 相关资源	175	11.3.5 用户菜单的实现	191
10.7 三轴数控铣加工仿真实例	176	11.3.6 对话框的实现	192
思考题	184	11.3.7 参数化零件设计	194
第 11 章 CAD 图形软件包及其二次开发	185	11.3.8 参数的获取与传递	194
11.1 概述	185	11.3.9 零件图的参数化绘制	195
11.2 CAD 图形软件包简介	185	11.4 参数化特征建模	200
11.3 SolidWorks 软件的二次开发	187	11.4.1 基于特征设计的用户定义特征库	200
11.3.1 SolidWorks 软件简介	187	11.4.2 利用特征完善绘图	201
11.3.2 API 函数与二次开发接口	188	思考题	202
11.3.3 开发方法的选择	189	参考文献	203
11.3.4 接口程序的编写	190		

第1章 概 述

1.1 CAD/CAM 的基本概念

计算机辅助设计 (computer aided design, 简称 CAD) 和计算机辅助制造 (computer aided manufacturing, 简称 CAM) 技术是一项涉及多个学科交叉的综合性应用技术。目前, CAD/CAM 的应用已涉及许多学科领域, 如计算机科学、计算数学、几何造型、图形显示、数据结构、工程数据库、科学可视化、计算机仿真、数控加工、机器人和人工智能等多个学科, 是产品设计人员和组织产品制造的工艺技术人员在计算机系统的辅助之下, 根据产品的设计和制造程序进行设计和制造的一项新技术, 是传统技术与计算机技术的有机结合。同时, CAD/CAM 技术本身具有自己的特点和发展规律, 并随着电子科学技术的发展而不断发展, 需要人们不断去探索和研究。

早在 1985 年, 美国信息制造业专家 W. H. Slatterback 曾经预言, 从 1985 年到 2000 年期间, 美国的制造业面临的变化将比本世纪前 75 年的变化要大得多, 其根本原因是 CAD/CAM 技术的应用变得愈来愈普遍。目前, 在许多发达国家, CAD/CAM 技术不仅广泛用于航空航天、电子和机械制造等产品生产领域, 而且逐渐发展到服装、装饰、家具和制鞋等应用领域。此外, CAD/CAM 技术作为计算机集成制造系统 (computer integrated manufacture system, 简称 CIMS) 的技术基础会随着网络化的发展进入一个新的台阶。CAD/CAM 技术的普及和应用不仅对传统制造业提出新的挑战, 而且对新兴产业的发展、劳动生产率的提高、材料消耗的降低、国际竞争能力的增强具有重要作用, 已成为衡量一个国家科学技术现代化和工业现代化水平的重要标志之一。

从产品制造的整个过程来看, 一个产品的生产过程首先要经过图纸设计或三维建模、工艺设计, 然后才能进行加工。所以, CAD/CAM 通常可细分为 CAD、CAPP 和 CAM, 其中计算机辅助工艺设计 (computer aided process planning, 简称 CAPP) 是连接 CAD、CAM 的桥梁。

1.1.1 计算机辅助设计

计算机辅助设计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, 通过人机交互方式进行产品设计构思和论证、产品总体设计、技术设计、零部件设计、各种有关零件分析计算 (包括强度、刚度、热、电、磁的分析计算等)、零件加工信息 (如工程图纸、数控加工信息等) 的输出以及技术文档和有关技术报告的编制等, 以达到提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低产品成本的目的。CAD 系统的主要功能包括:

- 1) 草图设计;
- 2) 零件设计;
- 3) 装配设计;
- 4) 复杂曲面设计;
- 5) 工程图样绘制;
- 6) 工程分析;
- 7) 真实感及渲染;
- 8) 数据交换接口, 等等。

1.1.2 计算机辅助工艺设计

计算机辅助工艺设计是指在人和计算机组成的系统中, 根据产品设计阶段给出的信息, 采用人机交互方式或自动方式来确定产品加工流程和加工方法的过程。在 CAD/CAM 集成环境中, 通常工艺设计人员可以依据 CAD 过程提供的相关信息和 CAM 系统的基本功能, 实现对产品的加工工艺路线进行控制和对加工状况的仿真, 以生成控制产品加工过程的相关信息。CAPP 的主要功能包括:

- 1) 毛坯设计;
- 2) 加工方法选择;
- 3) 工艺路线制定;
- 4) 工序设计;
- 5) 刀夹具设计。

其中, 在工艺路线制定中, 通常包括加工设备的选择、各种工具(刀具、夹具和量具等)的选择; 工序设计包括切削参数(如切削速度、进给量和切削深度)的选择、加工余量分配、材料消耗定额的计算以及工时定额计算等。

对一些特殊的加工要求, 有时需要专用夹具设计。

1.1.3 计算机辅助制造

计算机辅助制造是指利用计算机通过数值控制(numeric control, 简称 NC)方法控制数控机床和其它数字控制设备, 实现产品制造过程的自动加工、装配、检测和包装等制造过程。

CAM 通常可分为广义 CAM 和狭义 CAM 两类。其中, 广义 CAM 是指采用计算机辅助方法完成从生产准备到产品制造整个过程的所有活动, 包括工艺设计、工装设计、数控自动编程、生产作业计划、生产控制、质量控制等; 而狭义的 CAM 主要是指数控程序编制, 在数控程序编制过程中, 通常包括刀具路径规划、刀位文件生成、刀具轨迹仿真及数控代码生成等。

随着计算机硬件和软件技术的不断发展, 产品的设计和制造能力得到了大幅度提高, 其主要表现在以下几个方面:

- 1) 产品设计和制造由传统的手工制图逐渐被计算机设计和数控加工替代;
- 2) 计算机仿真技术代替了过去的手工检验和试切等工作;
- 3) 虚拟现实和虚拟制造技术的结合, 降低了新产品的投入风险;
- 4) 计算机集成制造系统的推广应用, 提高了产品制造的工作效率和质量, 缩短了产品的

制造周期;

5) 计算机辅助工程分析(computer aided engineering,简称 CAE)的使用,优化了产品设计方案,提高了产品设计的可靠性。

但是需要指出的是,不管 CAD/CAM 技术发展得如何先进,其仅仅是一个辅助工具,它不可能代替人们的创新设计和制造行为,而只是给这些活动和行为提供了一个先进的手段和工具,真正创新的设计还需要人来完成。

1.2 CAD/CAM 技术的发展历史

从 20 世纪 40 年代计算机问世至 50 年代期间,当时由于没有图形显示器,计算机一直仅用于科学计算。1950 年,第一台图形显示器在美国麻省理工学院问世,它作为旋风 I 号(Whirlwind I)计算机的一个附件出现,该显示器用一个类似于示波器的阴极射线管(cathode-ray tube,简称 CRT)来显示一些简单的图形。1958 年,美国 Calcomp 公司将数字记录仪发展成了滚筒式绘图仪。在整个 50 年代,由于只有采用电子管制成的计算机,计算机程序设计只能采用机器语言进行编程,这时的计算机主要应用于科学计算,为其配置的图形显示设备仅具备输出功能。

到 20 世纪 50 年代末期,麻省理工学院的林肯实验室在“旋风”计算机上开发 SAGE 空中防御体系,第一次使用了具有指挥和控制功能的 CRT 显示器,操作者可以用笔在屏幕上指出被确定的目标。与此同时,相应的技术在设计和生产过程中也陆续得到了应用。麻省理工学院的 Ross 教授在自动编程语言(automatically programmed tools,简称 APT)程序系统的发展基础上开始了 CAM 方面的研究工作。由于 APT 是通过刀具轨迹的描述来实现自动编程的软件系统,在 APT 语言发展的同时,人们就提出了一种设想:能否不描述刀具轨迹,直接描述被加工工件的尺寸和形状?由此,便产生了人机协同设计、加工的设想,并开始了交互式计算机图形学方面的研究工作。另一方面,计算机辅助制造技术不断发展的需求也促进了计算机辅助设计技术的进一步发展,人们开始利用数控机床的工作原理研究计算机绘图,如 Gerber 公司把数控机床发展成为平板式绘图仪,从而导致以计算机辅助绘图为主导的计算机辅助设计的开创性研究。计算机辅助设计从起源开始就一直是以计算机系统作为支撑工具,通过方程求解、工程图的绘制、数学模型的建立、工程有限元分析、产品设计、动态模拟、自动绘图等手段辅助工程技术人员完成各种设计任务。

伴随着计算机辅助制造技术中自动编程的出现,传统的零件加工中以模拟量进行信息传递的方式无法满足日益发展的 CAM 的需要,迫切需要采用计算机通过几何设计的方式定义零件,从而促进了 CAD 的进一步发展,逐渐出现了以点、线、面、体等几何要素和明暗、灰度、色彩等非几何要素显示产品形状信息;在产品的结构设计中,以数据文件和工程数据库定义产品结构信息;采用交互设计的方式,通过数学模型、计算分析和绘图制表等手段建立产品过程信息的研究工作。

在 20 世纪 60 年代中期到 70 年代期间,随着计算机软、硬件技术的快速发展,尤其是交互图形生成技术的普及和应用,促进了针对某些特定领域的 CAD 系统的蓬勃发展。在工程应

用领域,国外各大公司都十分重视 CAD、CAM 技术的推广应用,并投入大量的资金对其硬件和软件进行研究,相继出现了一系列以自动绘图为主的配套 CAD 系统和相应的 CAD 软件系统,如美国 IBM 公司的 SMS、SLT/MST 设计自动化系统、洛克希德公司研制的主要用于二维绘图的 CADAM 系统;美国通用汽车公司为设计汽车车身和外形而开发的 CAD-1 系统,该系统是在大型计算机上运行的,是当时该公司设计小轿车和卡车必不可少的工具;美国 CDC 公司也开发了用于商品销售的 Digitgraphic CAD 系统。这一阶段的 CAD/CAM 系统的特点是:系统规模庞大,花费资金庞大,只有经济实力雄厚和技术力量较强的大公司和企事业研究单位才有能力从事 CAD/CAM 技术方面的研究工作。

20 世纪 70 年代中期,随着图形显示技术的进一步的发展,计算机硬件成本也大幅度地降低,计算机辅助技术在各个方面的应用研究也变得日趋广泛,出现了许多计算机辅助的分散系统,如生产计划与控制系统(production planning and control system,简称 PPS)、计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工程分析(CAE)、计算机辅助工艺设计(CAPP)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助质量控制(computer aided quality,简称 CAQ)、计算机辅助夹具设计(computer aided fixture design,简称 CAFD)等。

20 世纪 80 年代中期,随着计算机硬件的发展,计算机性能得到了大幅度提高,以前这些运行于工作站平台的 CAD/CAM 软件系统得到了很快的发展,一些 CAD/CAM 软件系统的功能已经达到和超过了过去运行于小型计算机上的软件系统,已逐渐成为 CAD/CAM 系统的主流,出现了以 DEC 公司、SUN 公司、SGI 公司和 HP 公司等各种品牌的工作站。在软件方面,系统软件(如操作系统类的软件)由工作站制造厂商提供;而应用软件则由其它专门的软件公司提供和销售。

20 世纪 80 年代后期,由于大规模集成电路的使用,计算机朝着微型化的方向发展,美国苹果公司和 IBM 公司相继推出了个人计算机。计算机硬件的成本也大幅度下跌,计算机普及愈来愈广泛。由于微型计算机的性能和价格比的提高,逐渐出现了以微机为主的 CAD/CAM 系统软件和应用软件,这类软件的特点是容量小、处理速度慢、价格十分便宜,便于学习和维护。另外,一部分这类软件还可以通过网络进行系统资源共享,可以替代工作站完成一部分工作,特别适合于中小型企业推广使用。近年来,由于超大规模集成电路的出现,计算机硬件制造技术日益成熟,微型计算机的性能获得了大幅度的提高,相应的各种外设也发展迅速,尤其是多媒体和网络技术的出现使微型计算机很快进入千家万户。目前,普通微机的性能已超过过去的一般工作站的性能。微型计算机由于成本更低,对环境要求不高,也受到了中小企业的青睐。同时,由于运行于微型计算机上的软件系统发展迅猛,尤其是随着微软公司的微型计算机 Windows 操作系统的问世,将微型计算机的应用推向了一个新的台阶。过去运行于工作站平台的软件系统纷纷向微型计算机移植,一些软件公司也着手开发基于微型计算机的 MS-Windows 平台下的 CAD/CAM 系统软件,如 AutoCAD 软件、SolidWorks 软件、MasterCAM 软件等,许多微型计算机软件已进入企业,在生产实际中发挥愈来愈重要的作用。

1.3 CAD/CAM 的研究内容和发展现状

CAD/CAM 技术经过了 40 多年的研究和发展,已经取得了长足的发展。近年来,随着微

型计算机硬件性能的不断提高和微软 Windows 操作系统的出现和发展,微型计算机的价格越来越便宜,其软件更是铺天盖地,同时其性能并不比中低档工作站逊色。对一般的应用领域,微型计算机已成为 CAD/CAM 软件应用的主流平台。微型计算机在市场占据的份额也在飞速增长。工作站上著名的 CAD/CAM 的软件(如 Pro/E、UG、CATIA 等)也相继移植到微型计算机平台,以前只能运行在工作站上的大多数 CAD/CAM 软件系统现在基本上都可以在微型计算机上运行。目前,只有具有特殊应用领域或微型计算机目前还不能胜任的一些应用才选择工作站平台。其主要原因是,尽管工作站性能优越,图形处理速度快,但其价格昂贵(其价格一般是微型计算机价格的几倍到数十倍),这在一定程度上限制了 CAD/CAM 技术的普及和推广。由此看来,微型计算机的普及和发展给 CAD/CAM 软件的推广和应用创造了良好的条件。

CAD/CAM 经过了 40 多年的发展,其单元技术已逐渐成熟,尤其是随着计算机领域的新技术(如网络化、虚拟现实等)的不断涌现,国内外的各大公司相继在产品生产中发展了计算机集成制造系统(computer integrated manufacturing system,简称 CIMS)。计算机集成制造的内涵是,借助计算机技术将企业中与制造相关的各种技术有机地集成起来,以提高企业适应市场竞争的应变能力。CIMS 研究的关键在于实施,其集成过程一般分为信息集成、过程集成和企业集成三个阶段。

信息集成:在企业内部实现信息正确、高速的共享和交换,是改善企业技术和管理水平必须首先解决的问题。信息集成对于提高企业的市场竞争力是有效的,但是直到现在,实施信息集成的手段还比较落后,这使得企业 CIMS 应用工程的开发周期长,质量不易得到保证。所以,信息集成在今后很长的一段时间内仍然是企业信息化的主要内容,也是实施诸如并行工程技术的基础。在以信息集成为主要内容的 CIMS 应用工程,将仍是今后大多数企业信息化过程中必然要经历的。

过程集成:传统串行作业的设计、开发过程,往往会造成产品开发过程中出现反复,使得产品开发周期长、成本增加。如果把产品设计中的各个串行过程尽可能多地转变为并行工程,在设计时考虑到后续工序中的可制造性、可装配性,则可以减少反复、缩短产品开发周期。并行工程便是基于这一思想的一种先进制造模式。

企业集成:为提高自身的市场竞争力,企业必须面对全球制造的新形势,充分利用全球的制造资源,以便更好、更快、更节省地响应市场,这就是敏捷制造的来源。敏捷制造的组织形式是企业之间针对某一特定产品,建立企业动态联盟(即所谓的虚拟企业)。企业这种不断结盟的能力正是企业敏捷性的标志之一。

我国在 CAD/CAM 技术方面的研究工作开始于 20 世纪 70 年代中期,当时主要是研究开发二维绘图软件系统,并利用绘图机输出二维图形,其研究主要集中在高等学校和大型研究单位。CAD/CAM 在我国应用较早的是在航空和造船业。在 20 世纪 80 年代初期,我国一些大型企业和设计院率先从国外引进了成套的 CAD/CAM 系统,然后在此基础上进行二次开发和应用开发,并取得了一定的成果。到了 20 世纪 80 年代中后期,随着我国对外开放和市场经济发展的不断深入,CAD/CAM 技术在我国推广和应用有了较大的发展,而且 CAD/CAM 技术的优点被越来越多的人所关注。进入 20 世纪 90 年代后,各工业部门普遍提出了开发 CAD/CAM 技术的计划,主要表现在部分单位已较好地应用 CAD/CAM 技术,提高设计质量,取得了经济效益。目前,我国在 CAD/CAM 技术的理论研究和推广应用方面也进行了大量的工作,并取得了

一定的成果。

在软件开发方面，我国部分高等学校和公司开发出了一些自主知识产权的 CAD/CAM 软件系统(如北京高华计算机有限公司的高华 CAD、北京北航海尔软件有限公司的 CAXA 电子图板和 CAXAME 制造工程师、浙江大天电子信息工程有限公司的 GSCAD98、广州红地技术有限公司的金银花系统和华中理工大学的开目 CAD 等)。但是，这些国内软件主要集中在二维方面，而且在软件功能上与国外的同类 CAD/CAM 软件相比还存在较大差距，尤其在三维设计、数控编程和仿真方面，大部分国内软件目前还不具备这方面的功能。从整体上来看，我国在 CAD/CAM 软件方面的研究，不管是从软件的水平还是从软件商品化、市场化程度来看，与国外发达国家还存在着较大的差距。

1.4 CAD/CAM 系统的基本组成和分类

1.4.1 CAD/CAM 系统的组成

一般来说，一个特定 CAD/CAM 系统只能适用于某一类产品的设计和制造，如电子 CAD/CAM 系统只能适用于设计制造印制板或集成电路；而机床 CAD/CAM 系统主要用于进行机床的设计和制造。对于面向不同应用的 CAD/CAM 应用系统来说，不仅要求的专业基础知识不同，而且在其硬件配置上也存在很大的差异。但其系统的基本原理、逻辑功能和系统结构是基本相同的。

一个 CAD/CAM 系统从大的方面来分，可以将其分为硬件和软件两大部分。图 1.1 所示为一般 CAD/CAM 系统的基本组成。

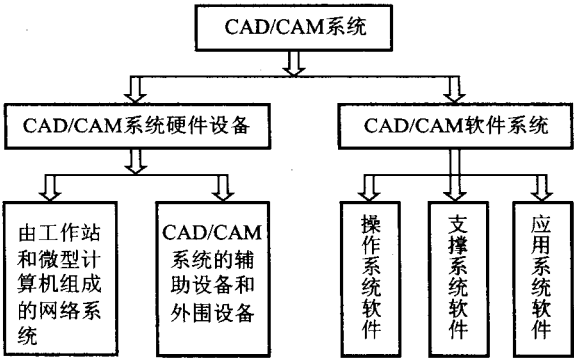


图 1.1 一般 CAD/CAM 系统的基本组成

其中，硬件设备对于不同用途的 CAD/CAM 应用系统来说，其个体之间差异很大。对于小型的 CAD/CAM 应用系统，其硬件主要是微型计算机和一些外围设备，如绘图机、打印机、激光成型机等；而对于大型 CAD/CAM 应用系统，其硬件设备可能包括不同档次的工作站、数控机床、仿真设备、坐标测量机等。

运行于 CAD/CAM 系统的软件可以分为系统软件、支撑软件和应用软件。

系统软件是指计算机或工作站的操作系统软件，如 UNIX、DOS、X-Windows、MS-Windows、Linux 等操作系统软件。其中，UNIX、X-Windows 操作系统一般用于大型机、小型机和工作站平台，而其余操作系统软件用于微型计算机平台。

支撑软件是指商品化的 CAD/CAM 软件系统，通过使用支撑软件可以缩短搭建面向特定用途的 CAD/CAM 系统的周期。由于商品化的 CAD/CAM 软件系统是由专业人士开发的，在软件的可靠性和先进性方面具有一定的优势。作为软件的应用开发人员，无须关心软件实现的细节，只须了解该软件的配置和使用，将主要精力放在系统的总体规划和各模块的协调和接口方面。目前，常见的 CAD/CAM 支撑软件主要有 AutoCAD、Pro/E、UG II、I-DEAS、CATIA 和 SolidWorks 等，另外还包括一些面向其它具体应用领域开发的已商品化的软件系统。

应用软件系统是指面向特定应用开发的 CAD/CAM 应用软件。由于前面讨论的支撑软件一般是具有较宽的应用范围，为了使支撑软件在一个具体的应用领域发挥更大的作用，简化其操作，提高自动化程度，往往需要对其进行二次开发，形成面向特定应用的 CAD/CAM 软件系统。目前，已商品化的 CAD/CAM 软件系统基本上都具有丰富的二次开发功能，关于 CAD/CAM 软件的二次开发将在第 11 章中作详细的介绍。另外，应用软件还包括由用户自主开发的面向具体应用的 CAD/CAM 软件系统。

搭建一个 CAD/CAM 系统，在进行硬件、软件的决策时要权衡考虑，一般来说，硬件和软件是相互关联的，大部分 CAD/CAM 软件对硬件都有一定的配置要求，同时在选择软硬件时，还需对软硬件的型号、性能以及厂商进行全方位的考虑。

1.4.2 CAD/CAM 系统的分类

CAD/CAM 系统按照其功能可以分为通用型 CAD/CAM 系统和专用的 CAD/CAM 系统。通用型 CAD/CAM 系统功能适用范围广；而专用 CAD/CAM 系统是为了满足某些行业的特殊要求开发的专用系统。CAD/CAM 系统按照其所用的计算机硬件类型的不同可以分为四类：

1. 大型机 CAD/CAM 系统

该系统一般采用具有大容量的存储器和极强计算功能的大型通用计算机为主机，一台计算机可以连接几十至几百个图形终端、字符终端和其它图形输入和输出设备。主要优点是：系统具有一个大型的数据库，可以对整个系统的数据实行综合管理和维护；计算速度极快。主要缺点是：如果 CPU 失效，则整个用户都不能工作；由于计算机数据库处于中央位置，计算机数据容易被破坏；终端距离不能太远；随着计算机的总负荷增加，系统的响应速度将降低。

该系统由于成本很高，一般用在大型的飞机制造和船舶制造等公司。具有代表性的主机如 DEC 公司的 VAX8800 和 VAX9000 系列、IBM 公司 43XX、30XX 和 3090E 系列等大型机等，系统的应用软件主要有美国洛克希德公司的 CADAM、麦道公司的 UG II 和法国索达公司的 CATIA 等。

2. 小型机 CAD/CAM 系统

生产、制造这类系统的厂商很多，如美国的 CV、Intergraph、Calma、Application、Autotrol、Unigraphics 等公司。它们生产的产品大致可以分为两种类型。CV 公司生产的产品属于全封闭系统。该公司曾投入了大量的人力和物力进行硬件和软件的开发，CADD5 4 系统就是一个典型代表。当时，这类产品在世界上的销量相当大。另外一些厂商，如 Intergraph、Applica-

tion、Unigraphics、Calma 等公司,它们采用了与 CV 公司完全不同的策略,即选择通用的计算机,如 VAX 和 Micro-VAX 等计算机作为系统的硬件环境。有时,它们也自己研制和生产一些专用的图形处理设备和高性能的图形显示器。这类系统的优点是软件的移植性较好,用户有较大的主动权,而且软件的研制者不必在硬件生产上分散精力。后来, CV 公司也逐步改变了自己的策略,逐渐向具有兼容性的硬件环境方向发展。

通过使用,人们逐渐发现这类小型机系统有一定的局限性。如系统的计算能力差、扩充能力受到限制等,而且不同系统之间的数据存储格式不相同,影响系统之间的数据交换。20 世纪 80 年代中期,由于分布式工作站的问世和异种机之间联网技术的发展,促进了这种独立系统向开放式系统发展,而系统使用的软件也逐步向工业标准方向靠拢。从目前来看,这类的 CAD/CAM 系统将越来越少。

当前,在我国使用 DEC 公司生产的 VAX 系列计算机较多,且国内已能生产某种 VAX 系列的兼容机,并对其操作系统 MVS 等方面做了一些汉化工作。

3. 工作站组成的 CAD/CAM 系统

20 世纪 80 年代初期以后,32 位的工作站问世,以工作站为基础的 CAD/CAM 系统与分时系统的小型机 CAD/CAM 系统不同,一台工作站只能一人使用,并且具有联网功能。其处理速度很快,一般都赶上或超过了过去的小型 and 中型计算机的速度,如 Sun Sparc 系列工作站的 CPU 处理速度已达到 28.5 MIPS,它比 IBM 4381 和 VAX780 小型机的处理速度高几倍到几十倍。当前某些高档工作站的处理速度更高,它已达到甚至超过了小型机的水平。这类工作站一般都以 RISC 技术和开放系统的设计原则,采用 UNIX 作为它们的操作系统。

4. 微机组成的 CAD/CAM 系统

随着微机性能的不断提高,价格的不断下降,以微机组成的 CAD/CAM 系统近年来不断增多。由于 Intel 公司以 80486、80586 芯片取代了原来的芯片后,使得微机的运行速度大大提高,而且内存容量也不断扩大,图形显示器分辨率已达到 1024×768 ,彩色位数也已增加。以 Pentium 4 或以上高档微机为基础,配上相应的软件与图形输入输出设备,就可以组成一套微机 CAD/CAM 系统。

目前,以微机为主处理机的 CAD/CAM 系统除了用于进行二维绘图以外,还可以进行三维几何造型和有限元分析计算等工作。目前,在微机上运行的软件主要是 AutoCAD、SolidWorks 和 Solidedge 等,而且微机也可以用于进行复杂的三维造型和计算,在许多方面已完全替代了中、低档工作站。

值得指出的是,由于网络技术的发展,现在微机已能与大型机、小型机和工作站联网,成为整个网络的一个结点,共享大型机和工作站等的资源。这样,大型机系统、工作站系统和微机系统就不再相互割裂,而成为一个有机的整体,在网络中发挥各自的优点,使得原来要在小型机和工作站上进行的 CAD/CAM 工作完全可由微机来完成。

1.5 CAD/CAM 系统的基本功能

用于不同领域的 CAD/CAM 系统,由于要求各不相同,其功能也相差甚远,对于机械制造

领域的 CAD/CAM 系统来说,一般应具备有以下几个方面的功能。

1. 交互式图形输入和输出功能

在 CAD/CAM 作业过程中,一般都要用交互的方法来生成和编辑图形。但为了实现这一功能,系统还必须配备合适的硬件和软件。

2. 实体建模能力

一个实体建模系统,除了必须具备的基本形体的定义输入功能之外,还提供了一些由一些简单体素经过逐步布尔运算生成复杂物体的功能和形体输出功能以及一些局部修改操作功能。

为实现 CAD/CAM 系统的各种建模操作,在一个实体建模系统中必须具备几种功能较强的表示方法,如构造实体几何表示法(CSG)、边界表示法(B-Rep)、混合表示法和空间单元表示法等,并且各种几何模型表示法之间能相互进行转换。

在基于复合建模的系统中,集合运算是实体建模的核心,它的运算能力和可靠性及效率对系统的性能影响较大,因此在这类实体建模系统中必须有一个高效、可靠的集合运算功能。另外,为实时、准确地观察和检查设计对象的正确性,并能真实地表示出设计对象的形态,要求造型系统必须具有真实感显示功能,如消除隐藏线(面)、色彩明暗处理能力。在 CAM 应用中,为了检查、防止有关零部件间可能发生的相互干涉,要求建模系统具有空间布局和干涉检查功能。例如,在产品的总体和结构设计过程中,为了便于对产品从各个方面进行观察、仿真和修改,一般都采用三维建模表示产品模型,而在设计结束后,为了加工制造和图纸管理,往往要求输出二维工程图纸,这就要求系统具有从三维图形转变为二维图纸的功能。此外,对于事先已有二维图形的产品时,还需要具有通过二维图形生成三维图形的功能。另外,产品的设计过程往往需要多次反复,要保持修改后信息的唯一性,避免发生混乱;当对三维图形进行修改时,要求系统能自动修改二维图形对应部分。相反地,当修改了二维图形后,系统能自动修改三维图形的对应部分。这就是所谓的二、三维联动。二、三维联动和转换在产品的设计过程中是十分有用的,所以一个好的几何造型系统应具备这方面的功能。

为了满足 CAD/CAM 系统集成和虚拟现实等的需要,对几何建模提出了越来越高的要求,除要求几何建模系统具有更强的造型功能之外,还要求其提供更充足的信息,同时随着 CAD/CAM 集成技术的进一步的发展,建模功能在几何造型系统中也显得愈来愈重要。

在早期的造型系统中,曲线曲面造型和实体造型是分开进行的,而现在使用的 CAD/CAM 系统基本上都使用非均匀有理 B 样条(简称 NURBS)统一地表示各种曲面和平面组成的实体,从而使得系统的造型能力更强,使用简便。

3. 计算物体几何特性能力

在产品设计和制造过程中,材料供应部门为了能及时准备各种材料,要求设计者提供产品所需材料的数据,在分析计算时,往往需要知道物体的体积、质量、重心以及对某轴的转动惯量等数据,所以 CAD/CAM 系统应具有提供这些数据的功能。

4. 有限元分析能力

在产品和工程设计过程中对整个产品(工程)及其重要受力零部件必须进行静、动力(应力、应变和系统固有频率)分析计算;对高温下工作的产品除了进行上述分析计算外,还要进行热变形(热应力、应变)分析计算;在电子工程设计中,有时还要进行电磁场的分析计算;在飞行器和水利工程设计中,还要对流场及其流动特性进行分析计算。现在一般都采用有限元法