



Basic of Modern CAD and Application Technology

现代 **CAD** 刘子建 叶南海 编著

基础与应用技术

湖南大学出版社

891.7

730

现代 CAD 基础与应用技术

Basic of Modern CAD and Application Technology

刘子建 叶南海 编著

湖南大学出版社

2004 年·长沙

内容简介

本书介绍了现代 CAD 技术的理论基础和应用技术。包括 CAD 模型建造的基础知识、特征建模技术、基于特征技术的 CAD 软件系统 UG 的使用方法和二次开发技术、CAD/CAM 系统数据交换的 STEP 标准、CAD 技术中的结构与动态分析、现代数字化制造技术等。全书内容重点突出,叙述言简意赅,思路清晰流畅,既体现理论体系的完整,又重视动手能力的培养。

本书可作为高等院校本科生的教材、研究生的参考书,或 CAD 入门人员的培训教材,亦可供有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

现代 CAD 基础与应用技术/刘子建,叶南海编著. —长沙:

湖南大学出版社,2004.3

ISBN 7-81053-735-0

I. 现... II. ①刘... ②叶... III. 计算机辅助设计

—应用软件 IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 014940 号

现代 CAD 基础与应用技术

Xiandai CAD Jichu yu Yingyong Jishu

刘子建 叶南海 编著

-
- | | |
|-------------------------------|-----------------|
| ☐ 责任编辑 | 俞 涛 卢 宇 |
| ☐ 封面设计 | 张 毅 |
| ☐ 出版发行 | 湖南大学出版社 |
| | 社址 长沙市岳麓山 |
| | 电话 0731-8821691 |
| ☐ 经 销 | 湖南省新华书店 |
| ☐ 印 装 | 湖南大学印刷厂 |
| | 邮码 410082 |
| | 0731-8821315 |
-

- | | | | | | |
|-----------------------------|--------------------------|--|------|-----------------------------|-------|
| ☐ 开本 | 787×1092 16 开 | ☐ 印张 | 13.5 | ☐ 字数 | 312 千 |
| ☐ 版次 | 2004 年 3 月第 1 版 | ☐ 2004 年 3 月第 1 次印刷 | | | |
| ☐ 印数 | 1~4 000 册 | | | | |
| ☐ 书号 | ISBN 7-81053-735-0/TP·41 | | | | |
| ☐ 定价 | 25.00 元 | | | | |
-

(湖南大学版图书凡有印装差错, 请向承印厂调换)

前 言

近 20 年来,与先进制造技术的快速发展相对应,现代设计技术也同步发展。传统 CAD 技术的内涵发生了很大改变,其主要特征是 CAD 技术在向更深入和广泛领域发展的同时,与先进制造技术的最新进展紧密结合,日益向集成化、网络化、智能化方向发展,进入了现代 CAD 技术发展阶段。本书的宗旨就是,在介绍传统 CAD 技术的基础上,结合 CAD 技术的最新进展,向读者介绍现代 CAD 技术的基本知识,使读者对 CAD 技术有比较系统的了解。

编写本书时考虑到高等院校普遍开设的 CAD 课程及广大工程技术人员学习和掌握 CAD 技术的需要,从打好 CAD 理论基础和培养动手能力两个方面为广大读者提供帮助和支持。本书的第 1 章在介绍了传统 CAD 概念、CAD 技术发展简史以及先进制造技术对 CAD 技术发展影响的基础上,总结了现代 CAD 技术的特点及其研究领域,使读者站在一个更高的层面,用更广阔的视野,领会 CAD 技术的内涵;在第 2 章和第 3 章,作者本着“模型是信息的载体,信息完备的设计模型是现代 CAD 技术的核心”的思想,讨论了 CAD 建模的基本理论和算法,并特别介绍了 CAD 特征建模的理论和技術;第 4 章和第 5 章以 Unigraphics(UG)为例,介绍了代表目前 CAD 技术水平的软件系统,以及 UG/OPEN GRIP 二次开发技术,使读者通过学习能进一步体验现代 CAD 技术的实现方式,并形成一定的动手操作和开发能力;考虑到协同设计和数据共享是现代 CAD 技术研究的重要方面,第 6 章介绍了不同 CAD/CAM 系统之间进行数据交换的技术,重点讨论了 ISO/STEP 标准;第 7 章介绍了 CAD 技术中结构分析和动态分析基础知识,理论上重点讨论了有限元分析的基本算法,并介绍了著名的有限元分析软件 ANSYS 和动力学分析软件 ADAMS 的使用方法;最后一章简单介绍了数字化制造的有关内容。

我们在本书的编写上力求创新。如将几何造型和曲线、曲面建模内容放在模型变换之前讨论,是基于“先有模型建造,再有模型编辑”的认识;CAD 特征建模技术在以往的教材中鲜有介绍,鉴于特征思想实际上是现代 CAD 技术的模型理论基础,将来还会有深入发展,也许是读者关心的内容,故将作者近年研究的心得归纳起来,奉献给读者;书中论述的内容尽可能精练,以 30~40 学时课堂讲授,1:1.5 课外学时学习为容量限度,每章后附有精当的习题。本书既能用于 CAD 课程的教学,也可供本科生课程设计、毕业设计参考。

本书第 1~3 章由刘子建和张建华编写,第 4~5 章由叶南海编写,第 6 章由伍素珍编写,第 7 章由刘子建、邬勇、王辉编写,第 8 章由钟波编写。由于时间仓促,书中的错误和缺点在所难免,请读者不吝指正。

我们在编写本书时参阅了大量的相关文献,在此对这些文献的作者表示感谢。

编 著 者

2004 年 3 月于岳麓山

目 次

第1章 现代CAD技术概论

1.1 CAD 及其相关技术	1
1.2 CAD 技术发展的历史	2
1.3 CAD 技术在我国的应用和发展	5
1.4 先进制造技术对 CAD 技术的影响	5
1.4.1 计算机集成制造系统对 CAD 技术的影响	6
1.4.2 并行工程对 CAD 技术的影响	6
1.4.3 敏捷制造对 CAD 技术的影响	7
1.5 现代 CAD 技术的概念与研究内容	8
习题	9

第2章 CAD建模的理论基础

2.1 计算机几何造型基础知识	10
2.1.1 三维几何造型的基本元素	10
2.1.2 三维形体的几何模型	11
2.1.3 三维几何模型的表示方法	14
2.1.4 自由曲线设计理论基础	18
2.1.5 自由曲面建模理论基础	30
2.2 设计模型变换的基本算法	39
2.2.1 平面图形的变换	39
2.2.2 三维模型的几何变换	46
2.2.3 三维图形的投影变换	50
习题	60

第3章 CAD特征建模技术

3.1 特征技术概述	62
3.1.1 特征建模的特点和作用	63
3.1.2 特征的定义和分类	63
3.1.3 基于特征的产品信息模型	65
3.1.4 特征的表示方法	66
3.1.5 特征模型的建立方法	67
3.1.6 特征映射	69
3.1.7 形状特征组合关系图	69

3.1.8 特征树.....	70
3.1.9 形状特征的组合操作.....	70
3.2 面向对象方法在特征技术中的应用.....	72
3.2.1 面向对象方法的概念和特点.....	72
3.2.2 面向对象设计的方法.....	74
3.2.3 形状特征的面向对象描述.....	74
3.2.4 面向对象方法与特征技术的集成.....	76
习题	80

第4章 基于特征技术的CAD软件系统

4.1 UG 工作环境及特征建模基础	81
4.1.1 UG 用户交互界面	81
4.1.2 UG 基本术语	82
4.1.3 UG 通用工具	82
4.1.4 对象操作	83
4.1.5 图层操作	84
4.1.6 视图布局	86
4.1.7 坐标系	87
4.1.8 参数预设置	88
4.1.9 UG 特征建模基础	88
4.2 草图及特征编辑	91
4.2.1 建立草图工作对象	91
4.2.2 草图的操作与编辑	91
4.3 曲面特征建模和参数化设计	93
4.3.1 建立曲线	93
4.3.2 曲面建模	95
4.3.3 UG 建模参数化设计	95
4.4 三维数字化装配	100
4.4.1 UG 装配基本概念	100
4.4.2 装配模式	101
4.4.3 装配方法	101
4.4.4 UG 装配实例	101
习题	103

第5章 基于特征的CAD软件系统二次开发技术

5.1 CAD 系统二次开发的环境与途径	107
5.2 UG/OPEN GRIP 开发环境	108
5.2.1 GRIP 语言应用范围	108

5.2.2	GRIP 语言开发环境	108
5.2.3	GRIP 语言程序组成	108
5.2.4	GRIP 语言编程步骤	109
5.2.5	GRIP 语言编程规则约定	110
5.2.6	GRIP 语言命令的三种格式	111
5.2.5	GRIP 语言学习方法	111
5.3	GRIP 语言基础	112
5.3.1	UG/GRIP 变量及赋值语句	112
5.3.2	程序流程控制语句	115
5.3.3	GRIP 高级编程	118
5.4	用 GRIP 语言生成 UG 几何实体	126
5.4.1	点的生成	126
5.4.2	直线的生成	126
5.4.3	圆弧和圆角的生成	127
5.4.4	曲线的生成	128
5.4.5	曲面的生成	128
5.4.6	实心体的生成	128
5.5	UG 几何实体变换及其属性操作	129
5.5.1	几何实体变换	129
5.5.2	几何实体属性操作	132
5.6	UG/GRIP 尺寸标注	134
5.6.1	GRIP 尺寸标注命令格式	134
5.6.2	尺寸标注应用	135
	习题	136

第 6 章 CAD/CAM 系统间的数据交换技术

6.1	CAD/CAM 数据交换的意义及发展	138
6.1.1	CAD/CAM/CAE 数据交换的意义	138
6.1.2	数据交换标准的发展	138
6.2	STEP 标准	140
6.2.1	STEP 的基本概念	140
6.2.2	STEP 的体系结构	140
6.2.3	实现方法	143
6.2.4	EXPRESS 语言简介	145
	习题	153

第 7 章 CAD 技术中的结构与动态分析基础

7.1	结构有限元分析方法	154
-----	-----------------	-----

7.1.1	有限单元概述	154
7.1.2	结构的离散化处理	156
7.1.3	单元分析过程	158
7.1.4	平面问题的整体分析	167
7.2	有限元分析软件 ANSYS 简介	173
7.2.1	ANSYS 的主要功能与特点	173
7.2.2	ANSYS 的基本使用方法	173
7.2.3	有限元的典型应用实例	175
7.3	动力学分析软件 ADAMS 简介	182
7.3.1	ADAMS 的主要功能	182
7.3.2	ADAMS 基础知识和使用方法	184
	习题	194
 第 8 章 现代数字化制造技术		
8.1	大批量定制生产	196
8.2	产品的协同设计与网络化制造	198
8.2.1	协同设计	198
8.2.2	网络化制造	199
8.3	产品数据管理(PDM)技术	199
8.4	ERP 技术及其发展	200
	习题	202
 参考文献		203

第 1 章 现代 CAD 技术概论

1.1 CAD 及其相关技术

从传统意义上说,CAD(Computer Aided Design)是一种使用计算机系统在产品或工程的设计中,辅助设计者进行建模、修改、分析和优化的方法与技术。它是一种新的设计方法,也是一门多学科综合应用的新技术,CAD 包含的技术有:

(1) 图形处理与设计模型构造技术:如自动绘图、几何建模、图形仿真及模型输入、输出技术等。

(2) 工程分析技术:如有限元分析、运动学和动力学分析、优化设计及面向不同专业领域的工程分析等。

(3) 数据管理与数据交换技术:如数据库管理、产品数据管理、产品数据交换规范及接口技术等。

(4) 文档处理技术:如文档制作、编辑及文字处理等。

(5) 软件设计技术:如系统分析与设计、软件工程规范、窗口界面设计、CAD 软件二次开发技术等。

CAD 技术的实现要借助于具有特定功能的计算机系统,称之为 CAD 系统。CAD 系统由硬件系统和软件系统组成,CAD 硬件系统包括计算机及其网络、图形处理的专用设备,对于有关知识,读者可参考专门书籍,本书不作专门阐述。CAD 软件系统通常包括系统软件、支撑软件和产品应用软件 3 大部分。

(1) CAD 系统软件:包括操作系统,如 Windows, Unix, Linux 等;网络管理系统;图形和用户界面开发环境,如 Open GL, GKS(Graphic Kernal System), X-Window 等。

(2) CAD 支撑软件:包括几何造型与图形处理系统,它是 CAD 软件系统的基础部分,主要完成设计对象的几何建模、模型编辑、图形显示、工程图标注、设计模型的存储管理等功能;工程分析与决策支持系统,如有限元分析软件, ANSYS, NASTRAN, DY-NA3D 等,运动和动力学分析仿真软件,如 ADAMS 和 MADYMO 等,优化设计软件,如 NAVGRAPH 等,主要用以解决产品和工程设计中出现的需要借助于现代设计理论和方法求解的关键技术问题。CAD 支撑软件通常由专业软件商开发,如著名的 UG(Unigraphics)和 Solid Workers 等系统是由 Unigraphics Solutions 等公司基于几何造型内核软件 Parasolid 开发的, AutoCAD 和 CADKEY 等软件则是由 AutoDesk 等公司基于 Spatial 公司的几何造型内核软件 ACIS 研制的。

(3) CAD 产品应用软件:包括用户针对特定的产品或工程设计需要开发的各种专用软件,通常是由用户借助于 CAD 系统软件和支撑软件提供的开发工具、接口等资源,进行二次开发得到的。常用的 CAD 软件二次开发主要内容有:数据交换和数据文件共享

接口、系统操作界面用户化、操作指令集成、用户专用图形和数据库、嵌入式语言程序模块等。目前,大多数主流 CAD 软件系统都提供了用户二次开发的接口,如各类 CAD 系统提供的开放式用户定制机制,UG, AutoCAD 提供的 Open Grip, AutoLisp, C 语言接口, Por/ENGINEER 提供的 Pro/Toolkit 等。

近 20 年来,与先进制造技术的快速发展相对应,现代设计技术也同步发展,传统 CAD 技术的内涵发生了很大改变,其主要特征是 CAD 技术在向更深入和广泛领域发展的同时,与先进制造技术的最新进展紧密结合,日益向集成化、网络化、智能化方向发展,进入了现代 CAD 技术发展阶段。本书的宗旨就是在介绍传统 CAD 技术的基础上,结合 CAD 技术的最新进展,向读者介绍现代 CAD 技术的基本知识,使读者对 CAD 技术有比较系统的了解。本章将对现代 CAD 技术形成的背景、现代 CAD 技术的概念及研究内容作概要说明。

计算机绘图和计算机图形学与 CAD 技术有密切联系,但是,值得指出的是不应该将这两者与 CAD 混淆起来。计算机绘图是使用计算机图形软件和图形设备进行绘图和有关标注的一种方法和技术,它以摆脱繁重的手工绘图劳动为主要目标。根据 ISO 在数据处理词典中的定义,计算机图形学(Computer Graphics, CG)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原理、方法和技术的科学。计算机图形学研究的主要内容包括以下 4 个方面:

- (1) 硬件:指图形输入、图形处理、图形显示和图形绘制设备。
- (2) 图形软件设计:如二维绘图系统、三维造型系统、动画制作系统、真实感图形生成系统等。
- (3) 图形处理的理论和方法:如几何元素和图形的生成方法、图形变换、图形的消隐与裁剪、实体表示理论与拼合算法、真实感图形生成等等。近年来,计算机图形学向更深入的方向发展,出现了分布式图形处理、声像一体化、分数维几何、虚拟现实、多媒体技术以及科学计算可视化等新理论与技术。
- (4) 实际应用中的图形处理问题:涉及广阔的应用领域,如统计管理、测量、生物医学、药学、模拟与动画、美术、办公自动化等。

从以上叙述可以看出,CAD,计算机绘图和计算机图形学三者之间有联系也有区别,表现在计算机绘图是计算机图形学中涉及工程图形绘制的一个分支,可将它看成是一种提供自动绘图服务的工程技术,计算机绘图不是 CAD 的全部内涵,但它是 CAD 技术的基础功能之一;计算机图形学是一门独立的学科,有自己丰富的学术内涵,它与 CAD 有明显区别,但它的有关图形处理的理论与方法构成了 CAD 技术的重要基础。

1.2 CAD 技术发展的历史

20 世纪 60 年代初,美国麻省理工学院(MIT)开发了名为 Sketchpad 的计算机交互图形处理系统,并描述了人机对话设计和制造的全过程,这就是 CAD 的雏形,形成了最初的 CAD 概念:科学计算、绘图。随着计算机软件、硬件的发展,计算机逐步应用于设计过程,形成了 CAD 系统,同时给 CAD 概念增加了新的含义,逐步形成了当今应用十分广

泛的 CAD/CAE/CAM 集成的 CAD 系统。从 CAD 概念产生至今, CAD 经历了多个发展时期。

从 20 世纪 60 年代初到 70 年代中期, CAD 从封闭的专用系统走向商品化, CAD 开始进入应用阶段。这一时期的主要技术特点是二维、三维线框几何造型。这种造型方法通过许多线型元素互连组成线型框架, 它仅定义出设计模型的基本轮廓, 不能表示设计对象的表面和形体的几何信息, 因而, 在设计模型上不能任意截取切面, 模型的描述也不完整, 显示的图形有“多义性”, 即模型的不确定性。此时, 有代表性的 CAD 软件产品有: 美国通用汽车公司的 DAC-1, 洛克希德公司的 CADAM 系统。

20 世纪 70 年代后期, CAD 进入发展时期, 该阶段的主要技术特点是自由曲面造型技术取得突破。由于大规模集成电路的问世, CAD 系统价格下降, 同时, 此时正值飞机和汽车工业蓬勃发展时期, 飞机和汽车制造中遇到大量的自由曲面问题, 法国达索飞机制造公司(Dassault)率先开发出以表面模型为特点的自由曲面建模方法, 推出了三维曲面造型系统 CATIA, 采用多截面视图、特征纬线的方式来近似表达自由曲面。曲面造型系统为人类带来第一次 CAD 技术革命。一些受到国家财政支持的军工企业相继开发了 CAD 软件, 如美国通用电气公司的 CALMA, 美国波音公司的 CV, 美国国家航空及宇航局(NASA)支持开发的 I-DEAS, 美国麦道公司开发的 UG 等。民用企业美国通用汽车公司(GM)开发了 SURF 系统, 福特公司开发了 PDGS 软件, 法国雷诺公司开发了 EUCLID 系统等。

20 世纪 80 年代初, 随着工程分析和计算技术的快速发展, CAE 和 CAM 技术开始有了较大的需求。SDRC 公司在当时星球大战计划的背景下, 得到美国宇航局支持及合作, 开发出一批专用工程分析模块, 用以降低巨大的太空实验费用, 同时在 CAD 技术通用方面也进行了许多开拓。UG 侧重在曲面技术的基础上发展 CAM 技术, 用以满足麦道飞机零部件的加工需求; CV 和 GM 则将主要精力都放在 CAD 市场份额的争夺上。由于表面模型技术只能表达形体的表面信息, 难以准确地表达零件的其他属性, 如质量、质心、惯性矩等, 难以满足 CAE 技术的需求, 尤其是难以解决模型分析的前处理问题。基于对 CAD/CAE 一体化技术的探索, 1979 年, SDRC 公司开发成功了第一个基于实体造型技术的 CAD/CAE 软件 I-DEAS。由于实体造型技术能够精确地表达零件的全部几何、拓扑和材料属性, 在理论上有助于统一 CAD, CAE, CAM 的模型表达, 因此称之为 CAD 发展史上的第二次技术革命。但由于当时的硬件条件还不能满足实体造型技术所带来的数据和计算量大大幅度膨胀的需要, 因此实体造型技术并没有很快地在制造行业中全面推广。

20 世纪 80 年代中期, 波音公司(CV)的一些技术人员提出了参数化实体造型方法, 其特点是: 基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改等。参数化实体造型技术的出现和特征造型概念的提出标志着 CAD 技术进入了 CAD/CAM 集成化的新阶段, 它使设计模型在几何和拓扑意义上建立了基于约束的关联, 保证了模型编辑的高效性和可靠性; 特征造型概念的提出则是第一次在 CAD 建模技术中, 将与产品制造工艺等相关的非几何、拓扑和材料信息包含在模型中, 是 CAD 建模理论和技术的有重要意义的拓展。然而, 由于当时的参数化技术还处于发展的初级阶段, 很多技术难点有待于攻克, 如参数化技术还不能提供自由曲面建模的高效工具等。另一方面, 参数化技术的核心算法

与以往的系统实现原理有本质差别,采用参数化技术,意味着必须将全部软件代码重新改写,投资及开发工作量都很大。当时,CV公司的成熟CAD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。策划参数技术的这些人在新思想无法实现时集体离开了CV公司,另成立了新的参数技术公司(Parametric Technology Corp.),即PTC公司,并遵循自己的理想,研制成功了命名为Por/ENGINEER的参数化实体造型CAD系统。进入20世纪90年代,CAD技术进入普及应用阶段,软硬件的性能价格比不断提高,CAD系统市场迅速扩大,PTC凭借新技术的优势在CAD市场份额的占有率中名列前茅,有力地推动了CAD技术的发展。因此,可以认为,参数化技术的应用主导了CAD发展史上的第三次技术革命。

20世纪90年代初期,SDRC公司在摸索了几年参数化技术后,开发人员发现参数化技术尚存在许多不足之处,尤其是“全尺寸约束”这一硬性规定干扰和制约着设计者创造力及想像力的发挥。所谓全尺寸约束,就是通过尺寸的改变来驱动设计模型形状的改变,一切以尺寸(即“参数”)为出发点。设计者在设计的全过程中必须将形状和尺寸联合起来考虑,并且通过尺寸约束来控制模型的形状,一旦所设计的零件形状复杂,面对满屏幕的尺寸,要通过修改尺寸得到所需要形状模型,就很不直观。有时,设计中的某些关键形体的拓扑关系发生改变,使某些约束特征丢失,也会造成系统数据混乱。事实上,全尺寸约束是软件系统对用户的一种硬性规定,从设计的原理、方法和产品设计的目的出发,完全有理由提出“一定要全约束吗?”“一定要以尺寸为设计的先决条件吗?”“欠约束能否将设计正确进行下去?”的疑问,回答这些问题就会发现“全约束”的限制是欠合理的。沿着这个思路,在对现有各种造型技术进行了充分的分析和比较以后,一个更新颖大胆的设想产生了,SDRC公司的开发人员以参数化技术为蓝本,提出了一种对参数化技术进行改良的先进的实体造型技术——变量化技术。SDRC的决策者们权衡利弊,同意了这个方案。1990年起,历经3年时间,投资1亿多美元,全部重新改写SDRC的CAD软件系统,于1993年推出全新体系结构的I-DEAS Master Series软件。从数学原理看,已知完整参数的方程组可以比较容易地顺序求解,突破“全尺寸约束”的限制不可避免地要处理欠约束的问题,数学处理方法和软件实现技术都要有新的突破。SDRC攻克了这些难题,形成了独特的变量化造型理论和软件实现方法。变量化技术保持了参数化技术原有的优点,又有了新的发展,它的成功应用使CAD系统使用效率更高,用户更方便。因此,可以说变量化技术成就了SDRC,也驱动了CAD发展的第四次技术革命。

目前,CAD技术日臻完善,许多发达国家相继推出成熟的CAD/CAE/CAM集成化的商品软件,在设计理论、设计方法、设计环境、设计工具等各方面出现了许多成熟的现代CAD技术。当今CAD技术是计算机在工程中最有影响的应用技术,它作为现代工程制造技术的重要组成部分,是促进科研成果的开发和转化,促进传统产业和学科的更新与改造,实现设计自动化,增强企业及其产品在市场上的竞争力,推动国民经济发展的一项关键性高新技术。

1.3 CAD 技术在我国的应用和发展

早在 20 世纪 80 年代,我国政府就十分重视 CAD 技术的开发和应用,国家对国有大中型企业应用 CAD 技术进行产品开发设计提出了明确要求,国家的科技发展计划也将 CAD 作为高新技术研究领域给予重点资助。目前,我国 CAD 技术已经进入普及应用的阶段,CAD 技术的理论研究和软件系统研制取得了显著的进步。

国内的高等院校和科研院所在 CAD 支撑和应用软件的开发上发挥了重要作用。如在优化设计方面,华中科技大学的优化程序库 OPB 及机械零件优化设计程序早在 20 世纪 80 年代末就在工矿企业中推广,拥有自主知识产权的二维交互绘图软件系统如 GH—MDS, KAIMCAD, CADTOOL, CAXA 等都已经在国内机械行业中推广使用。基于 AutoCAD 平台的二次开发软件 InteCAD,以及由清华大学、华中科技大学共同研制的 GH—MDS 可以很好地和 AutoCAD 系统兼容。在三维造型软件方面,北京航空航天大学 PAN—DA, MDA(金银花)系统,清华大学和华中科技大学共同研制的 CADMIS 等都实现了参数化特征造型、曲面造型、数控加工和有限元分析的集成。在有限元分析方面,大连理工大学研制了 IFEAS 软件,可以与华中科技大学的有限元前后处理系统 GH—FEM 集成使用。在 CAD/CAM 一体化方面,南京航空航天大学超人 CAD/CAM, 华中科技大学的 GHNC 均可实现复杂曲面的造型和数控代码的自动生成以及加工仿真。工程数据库管理系统有浙江大学的 OSCAR, 华中科技大学的 GH—EDBMS 等。另外,在 CAD 应用软件领域,如通用机械零件设计、冲压和注射模具设计和制造、汽车外形设计、汽轮机叶片设计分析等方面,我国均研制出了实用的 CAD 软件。

1.4 先进制造技术对 CAD 技术的影响

21 世纪经济全球化环境中,制造行业的竞争空前激烈,其特点是每个企业都面临着持续多变和不可完全预测的全球化市场,竞争的焦点是以知识为基础的企业核心竞争能力和新产品开发能力。为了提高竞争力,企业必须解决好产品的 T-Q-C-S-E 难题,即以最快的上市速度 T(Time to market),最好的质量 Q(Quality),最低的成本 C(Cost),最优的服务 S(Service),及最清洁的环境 E(Environnement)来满足市场的不同需求和社会可持续发展的要求。近十多年来,为了提高新产品开发能力,应对日益激烈的竞争,人们将制造技术与快速发展的信息技术、自动化技术、现代管理技术等有机融合,逐渐形成了新一代的先进制造技术。今天,新一代先进制造技术已成为解决产品的 T-Q-C-S-E 难题,提高企业敏捷性、柔性、健壮性的关键手段,它正推动着制造业进入信息化、自动化、智能化、敏捷化的历史新时期。

产品是企业一切活动的核心,也是企业的立命之本,先进制造技术必须十分重视产品设计问题。显然,没有适销对路的创新产品,即使企业做到 T-Q-C-S-E,也不能从市场上获得足够的利润,企业将会在竞争中败下阵来。因此 T-Q-C-S-E 的前提是优秀的产品设计。所以采用先进制造技术的企业必然将产品设计这个环节视作其生命线,现代设计技

术必然成为先进制造技术的核心之一。可以这样认为:市场竞争促进了先进制造技术的发展,先进制造技术的发展推动了现代设计技术的发展,现代设计技术离不开 CAD,因此 CAD 技术获得了巨大的发展,这就是现代 CAD 技术形成的背景。为了具体说明先进制造技术对 CAD 技术的影响,下面讨论 3 种主要的先进制造模式对 CAD 技术的影响。

1.4.1 计算机集成制造系统对 CAD 技术的影响

自从 1973 年美国的约瑟夫·哈林顿(Joseph Harrington)提出计算机集成制造(Computer Integrated Manufacturing, CIM)概念以来,CIM 哲理及其技术在实践中不断充实、完善与发展。在我国,自 1986 年以来,在国家 863 计划支持下,清华大学等单位对 CIM 的理论与应用进行了深入研究与实践,概括出了对 CIM 的以下认识:

CIM 是一种组织、管理与运行企业的哲理,它将传统的制造技术与现代信息技术、管理技术、自动化技术、系统工程技术等有机结合,借助计算机(硬件、软件),使企业产品全生命周期——市场需求分析、产品定义、研究开发、设计、制造、支持(包括质量、销售、采购、发送、服务)以至产品最后报废、环境处理等各阶段活动中有关的人/组织、经营管理和技术 3 个要素及其信息流、物流和价值流有机集成并优化运行,实现企业制造活动的计算机化、信息化、智能化、集成优化,以达到产品上市快、高质、低耗、服务好、环境清洁,进而提高企业的柔性、健壮性,使企业赢得竞争。CIMS(Computer Integrated Manufacturing System)则是一种基于 CIM 哲理构成的计算机化、信息化、智能化、集成化的制造系统。

必须指出,以上对 CIM 和 CIMS 的认识已大大超过了早期对 CIM 和 CIMS 的认识,实际上已经在一定程度上概括了后面将要讨论的并行工程和敏捷制造的含义。早期 CIMS 技术的核心是信息集成,而且主要关注企业内部的信息集成,即针对在设计、加工制造及管理中存在的自动化孤岛,解决信息正确、高效地共享与交换问题。

这种信息集成的要求自然要在工程设计系统中体现出来,即解决 CAD、CAPP(Computer Aided Process Planning)和 CAM(Computer Aided Manufacturing)系统内部以及这些系统与 CIMS 中加工制造和管理分系统间的信息集成。

具体对 CAD 技术而言,就是要解决异构环境下的信息集成,为此要解决 3 个关键问题:

(1) 产品建模问题:以参数化造型和特征造型为建模手段,以 STEP(Standard for The Exchange of Product model data)标准所定义的产品信息模型为依据,建立能满足产品全生命周期内各阶段需要的完整信息模型,即产品的 CAD 设计模型,以作为信息共享与交换的基础;

(2) 数据交换问题:采用符合标准的数据交换规范,研制不同应用软件间的接口;

(3) 工程数据管理问题:形成逻辑上集中、物理上分散的数据的集成管理环境,解决异构数据库间的相互访问。

1.4.2 并行工程对 CAD 技术的影响

并行工程(Concurrent Engineering, CE)有多种提法,但是,至今较为公认的是 1986 年美国国防分析研究所在其 R-338 研究报告中提出的并行工程的定义:并行工程是对

产品及其相关过程(包括制造和支持过程)进行并行、一体化设计的一种系统化的工作模式。这种工作模式力图使开发者从一开始就考虑到产品从概念设计到产品报废全生命周期中的所有因素,包括质量、成本、进度和用户需求等。

根据上述定义不难看出,并行工程这种先进制造模式的核心除了继承早期 CIMS 的信息集成特点外,主要强调的是过程集成。过程集成就是要对企业的各种活动过程进行重构,将产品开发过程中的串行过程尽可能多地转变为并行过程,使在产品设计的早期就考虑到产品的可装配性、可制造性、可测试性、可维护性、可靠性及成本合理性等因素,使各阶段工作及时交流、协调,避免跨阶段的大返工。此外,过程集中还意味着以产品为中心,实现各有关部门人员组成的多学科开发团队队伍集成。

并行工程过程集成的特点对 CAD 技术提出了以下要求:

- (1) 能支持开发过程的重构和建模;
- (2) 可以实现协同设计的环境,支持多学科队伍的协同工作;
- (3) 提供功能集成、信息集成并能支持并行设计的 CAx (CAD, CAPP, CAM 等)和 DFx (Design For Manufacture, Test, Quality 等)工具。

1.4.3 敏捷制造对 CAD 技术的影响

敏捷制造 (Agile Manufacturing, AM) 是 1991 年美国里海 (Lehigh) 大学亚科卡 (Iacocca) 研究所在《美国 21 世纪制造企业战略》报告中所提出的一种先进制造技术。其后敏捷制造得到世界各国的重视,人们进行了广泛的研究与实践。但是到目前为止,关于 AM 还没有一个一致的、公认的定义。AM 的基本思想是将灵活的动态联盟组织、先进的柔性生产技术和高素质的人全面集成,使企业能够应付迅速变化和不可预测的市场需求,以获得长期稳定的经济效益。因而,为了实现敏捷制造,除了做到信息集成和过程集成外,还必须实现企业集成。企业集成就是针对某一特定产品,选择合作伙伴,组建企业的动态联盟,充分利用联盟企业所具有的设计资源、制造资源、人力资源等,解决联盟内的信息集成与过程集成问题,将新产品快速推向市场。

AM 最基本的特征是要具备一种能力,即在多变的市场环境下,抓住稍纵即逝的机遇,快速开发出能充分满足顾客需要的新产品。由此可见,新产品的的设计对 AM 具有十分重要的意义,因此实施敏捷制造模式首先要建立敏捷设计模式,这种设计模式对 CAD 技术提出了如下要求:

- (1) 提供实现产品敏捷设计的使能技术,如资源共享、信息服务、合作建模、联盟内的数据管理与设计过程管理等技术;
- (2) 提供支持产品敏捷设计的网络平台及相关技术的解决方案,如 3W 技术、邮件通讯、远程传输、安全保密等。

以上论述了 3 种典型的先进制造模式的定义及基本思想,揭示了信息集成—过程集成—企业集成的历史,阐明了它们对 CAD 技术发展的重大影响。由于这种影响,现代 CAD 技术也在沿着信息集成—过程集成—企业集成的道路发展。还应该看到,随着先进制造技术的不断发展,将会出现更多的制造模式,提出更新、更高的集成要求,因此还将继续对 CAD 技术产生更深刻的影响,提出更高的要求。

1.5 现代 CAD 技术的概念与研究内容

根据前面所述先进制造技术对 CAD 技术的影响,以及当前 CAD 技术发展的情况,可以看出,CAD 正经历着由传统技术向现代技术的转变。为此,清华大学童秉枢先生等提出“现代 CAD 技术”的概念,可表述如下:现代 CAD 技术是指在复杂的大系统环境下,支持产品自动化设计的设计理论和方法、设计环境、设计工具等各相关技术的总称,它能使设计工作实现集成化、网络化和智能化,达到提高产品设计质量、降低产品成本和缩短设计周期的目的。他们还对上述概念作了进一步说明:

(1) 现代 CAD 技术是在先进制造技术及现代设计理论与方法带动下,在传统 CAD 技术的基础上发展起来的。从本质上讲,这种技术力求在一个复杂大系统的环境中(如 CIMS,并行工程,敏捷制造等),使设计工作自动化。因此,现代 CAD 技术是面向设计自动化的技术。

(2) 从学科上来说,现代 CAD 技术的研究内容包括设计理论和方法、设计环境和设计工具 3 个方面。设计理论和方法是现代 CAD 技术实现的理论,设计环境是技术实现的空间,设计工具是技术实现的手段,它们相互联系、相互促进。

(3) 集成化、网络化和智能化是现代 CAD 技术所追求的功能目标。集成化要能支持信息集成、过程集成与企业集成,它涉及的技术有:数字化建模、产品数据管理、过程协调与管理、产品数据交换、CAx 工具和 DFx 工具等;网络化要求能支持动态联盟中协同设计所需的环境与设计技术等。

(4) 现代 CAD 技术的最终目的是要尽可能采用自动化设计技术(丝毫不排除以人为主的人机交互环节),使所设计的产品达到高质量、低成本、短周期的要求,以便在先进制造模式下以 T-Q-C-S-E 赢得市场竞争。

(5) 现代 CAD 技术的提法,既容纳了当前 CAD 技术在集成、网络、智能等方面达到的技术成就,又包含了将来 CAD 技术的进步,因此这种提法在较长时间内均具有有效性。

现代 CAD 技术研究的主要内容有:

(1) 研究现代设计理论与方法:设计是一项复杂的创造性工作,也正由于它的复杂性,迄今为止,人们对设计尚缺乏规律性的认识,还没有形成严格的理论体系。过去和现在,人们一直在探索各种各样的设计理论,希望用以有效地指导实际的设计工作。由于计算机技术、信息技术的发展,基于计算机的设计理论与方法学的研究,显得异常活跃,例如近年来提出的并行设计、协同设计、虚拟设计、大规模定制设计(mass customization design)、分形设计(fractal design)等,我们应该加以深入的研究,以便指导现代 CAD 系统的实现。必须认识到,没有先进的设计理论与方法,就没有现代 CAD 技术的发展。

(2) 研究与设计环境相关的技术:良好的设计环境意味着动态联盟中异地分布的产品开发队伍能通过广域网,充分利用各地的设计资源和信息进行协同设计。为此要研究以下技术:

① 协同设计环境的支持技术,例如广域网上的浏览器/服务器(B/S)环境,客户机/服务器(C/S)结构的计算机系统,以及基于 B/S 和 C/S 的协同设计的平台体系结构等。

② 协同设计的管理技术,例如产品共享信息的交换、异构 PDM(Product Data Management)系统间的数据交换、设计过程建模及冲突消解等问题。

(3) 研究与设计工具相关的技术:这方面研究的核心问题有:

① 产品数字化定义及建模技术,包括产品模型的表达、STEP 标准实施技术、建模技术等;

② 基于 PDM 的产品数据管理与 workflow(过程)管理技术;

③ 发展集成的 CAx 和 DFx 工具,使现代 CAD 系统从功能上能支持产品设计的全过程,包括需求分析、概念设计、结构设计、详细设计、工程分析和工艺设计等,而且能利用 DFx 工具实现对设计下游的支持,及早发现问题,避免大的返工。

在上述技术研究中,必然广泛采用智能技术,因此智能技术作为一项基础技术也必须进行研究。

习 题

1-1 试述传统 CAD 和现代 CAD 技术的区别和联系,并举例说明。

1-2 请查阅有关文献资料或网站,列举 3 个你最感兴趣的属于现代 CAD 技术领域研究的主要课题,并尽你所能总结出该课题研究的主要问题,并参与有关讨论。

1-3 试述 CAD 技术和计算机图形学的区别与联系。

1-4 试在网络上查找 ACIS 和 Parasolid 的有关资料,然后对“几何造型核心软件”的概念做一个 200 字的描述。

1-5 在 CAD 技术发展过程中什么叫做参数化、变量化技术?与这些技术对应的代表性的软件系统有哪些?特征建模(feature modeling)技术与参数化、变量化技术有什么关系?