

21世纪高等院校教材

CAD 方法与技巧

谭建荣 陆国栋 张树有 刘振宇 编著



科学出版社
www.sciencep.com

21 世纪高等院校教材

CAD 方法与技术

谭建荣 陆国栋 张树有 刘振宇 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书系统全面地介绍了不断发展的 CAD 理论、方法与工程应用技术,不仅反映了经典的 CAD 方法,而且体现了现代 CAD 技术的发展。本书主要内容包括 CAD 绘图方法、CAD 造型方法、CAD 设计方法、CAD 分析方法、产品协同设计技术、产品虚拟设计技术、产品配置设计技术、产品智能设计技术与 CAD 系统二次开发。本书反映了近年来国内外对 CAD、产品设计理论与方法的最新研究成果,同时,本书密切结合工程实际,给出了大量采用 CAD 方法与技术解决生产实际问题的具体实例。

本书可作为机械、电子、计算机等专业研究生和本科生的教材,也可作为相关技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

CAD 方法与技术/谭建荣等编著. —北京:科学出版社, 2005

(21 世纪高等院校教材)

ISBN 7-03-015812-1

I. C… II. 谭… III. 计算机辅助设计-高等学校-教材 IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 071005 号

责任编辑:赵卫江/责任校对:刘彦妮

责任印制:吕春珉/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印 刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 8 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2005 年 8 月第一次印刷 印张: 21

印数: 1—4 000 字数: 508 000

定价: 29.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈路通〉)

销售部电话 010-62136131 编辑部电话 010-62138978-8101(B106)

本书出版得到如下资助：

国家自然科学基金项目、国家重点基础研究 973 计划项目资助

浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室开放基金资助

国家工科基础课程浙江大学工程图学教学基地资助

前 言

计算机辅助设计 (CAD) 技术, 将人类创造性思维与计算机的高性能处理能力有机地结合起来, 实现产品创新设计, 是近年来计算机应用领域最活跃的研究方向之一。借助 CAD 技术, 人们高效地实现了从大型复杂装备、大规模集成电路、高难度的特效动作到机械零件、印染图案的创造性设计创作, 极大改变了新产品的设计和生产方式, 对现代社会产生了深刻的影响。因此, CAD 已成为提高企业的创新能力与市场竞争能力的关键所在。

随着计算机技术与产品设计方法的不断发展, CAD 已经由传统的计算机辅助绘图发展到计算机辅助产品设计, 从经典的 CAD 造型发展到现代产品设计; 同时, 随着 CAD 软件在工程设计领域的成功应用与普及推广, 企业对 CAD 技术的依赖程度不断提高, 但同时也对 CAD 技术提出了更高的要求。

近年来, 在国家自然科学基金、973 计划、863 计划的资助下, 作者与课题组的博士生、硕士生密切合作, 在计算机辅助技术与图形学、机械设计及理论等领域里, 做了一系列研究与应用工作, 取得了一系列理论研究成果。自 1992 年以来, 作者为研究生连续开设学位课“CAD 方法与技术”。在教学过程中, 作者把 CAD 领域的研究进展和课题组的研究成果及时充实到课程讲义中, 不断更新教学内容, 教学与科研有机结合, 受到了学生的普遍欢迎。正是多年来的科学研究收获与教学经验的积累为本书奠定了坚实的基础。

本书面向企业工程实际, 系统全面地介绍了不断发展的 CAD 理论、CAD 方法与 CAD 工程应用技术, 不仅反映了经典的 CAD 方法, 而且体现了现代 CAD 技术的发展; 不仅介绍了 CAD 的基础理论, 而且讨论了 CAD 的工程应用。

本书具有以下特点:

- 取材新颖, 密切结合 CAD 技术的发展前沿, 融合了计算机技术的最近发展, 反映了近年来国内外对 CAD 及其产品设计理论与方法的最新研究成果。
- 体现与总结了作者的最新研究成果。本书融合了作者及指导的研究生多年来对 CAD 理论、方法及技术研究工作的归纳与总结。
- 理论体系完整, 将传统 CAD 理论与现代 CAD 技术有机地结合起来, 系统地介绍了 CAD 的基础理论、CAD 的工程应用与 CAD 的二次开发。
- 密切结合工程实际, 注重实用性。给出了大量采用 CAD 方法与技术解决生产实际问题的具体实例与系统。

本书由谭建荣、陆国栋、张树有、刘振宇编著。伊国栋、董雁参与了第 10 章的编写。研究生许伟民、朱亚臣、吴燕、刘晓健、卜王辉、周思杭参与了全书的编辑与整理工作。

由于作者水平有限，书中难免存在疏漏和不足，恳请读者批评指正。

编著者

2005 年 5 月于浙江大学

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.2 CAD的发展历程	2
1.3 CAD系统简介	4
1.4 CAD环境中设计过程模式的演变	7
1.5 CAD方法与技术研究的若干前沿方向	9
1.5.1 概念设计	9
1.5.2 敏捷设计	11
1.5.3 智能设计	14
1.5.4 虚拟设计	16
1.5.5 协同设计	18
本章参考文献	20
第2章 CAD绘图方法	23
2.1 参数化绘图	23
2.1.1 概述	23
2.1.2 程序参数化方法	28
2.1.3 在线交互参数化方法	29
2.1.4 离线参数化方法	35
2.2 标准件建库	36
2.2.1 基于事物特性表的标准件建库原理	37
2.2.2 基于事物特性表的标准件库实现	39
2.3 装配图生成方法	41
2.3.1 装配信息模型	41
2.3.2 基于零件图的装配图生成	45
2.4 工程图档管理系统	47
2.4.1 工程图档管理	47
2.4.2 图档技术信息识别	49
2.4.3 工程图档管理系统实现	52
本章参考文献	54

第3章 CAD造型方法	56
3.1 曲面造型	56
3.1.1 曲线	56
3.1.2 曲面	62
3.2 实体造型	63
3.2.1 欧拉操作	63
3.2.2 布尔运算	65
3.2.3 边界表示法	66
3.2.4 CSG 树	69
3.3 特征造型	70
3.3.1 特征的定义和分类	70
3.3.2 特征识别	71
3.3.3 特征设计	74
3.4 散乱数据造型	76
3.4.1 散乱数据造型的基本方法	76
3.4.2 基于曲面局平特性的散乱数据拓扑重建	78
3.4.3 G^1 连续任意拓扑曲面的几何重建	81
3.4.4 任意拓扑三角网格的双三次 Bézier 曲面重建	87
3.4.5 散乱数据造型系统实例	90
本章参考文献	93
第4章 CAD设计方法	94
4.1 设计需求分析与建模	94
4.1.1 需求信息获取与描述方法	94
4.1.2 广义需求建模方法	96
4.1.3 广义需求建模集成平台及实现技术	100
4.2 运动方案设计	101
4.2.1 运动功能的表达	102
4.2.2 运动功能的分解	104
4.2.3 运动特性到机构的映射	108
4.2.4 运动方案评价	109
4.3 结构设计	111
4.3.1 零件功能模型的概念设计原理	112
4.3.2 零件的功构置换方法	114
4.3.3 基于功能的零件结构设计	117
4.3.4 零部件结构模型的骨架表示	120

4.3.5 结构模型的演化与动态编辑	124
4.4 装配设计	128
4.4.1 装配约束描述	128
4.4.2 装配模型的细化与重构	131
本章参考文献	134
第5章 CAD 分析方法	135
5.1 优化设计与分析	135
5.1.1 优化设计与分析的基本思想	135
5.1.2 优化设计与分析的数学模型	135
5.1.3 优化设计与分析的求解方法	141
5.1.4 优化设计与分析实例	147
5.2 有限元分析	148
5.2.1 有限元分析的基本过程	149
5.2.2 有限元计算	150
5.2.3 有限元分析的前置处理	158
5.2.4 有限元分析的后置处理	164
5.2.5 典型有限元分析软件	166
本章参考文献	168
第6章 产品协同设计技术	169
6.1 产品协同设计的基本概念与方法	169
6.1.1 协同理论	169
6.1.2 计算机支持的协同工作	169
6.1.3 协同设计的特性与内涵	171
6.1.4 协同设计的基本技术与方法	172
6.2 产品协同设计中的 workflow 技术	175
6.2.1 工作流的概念与模型	175
6.2.2 分布式协同环境下 workflow 建模	177
6.3 产品协同设计中的信息交换与共享	179
6.3.1 分布式企业产品信息交换与共享的特点	179
6.3.2 基于 XML 的网络化异构产品信息交换	180
6.3.3 基于 STEP 的异构产品信息描述	182
6.3.4 基于 WWW 的分布式企业产品信息检索	186
6.4 产品协同设计中数据变更管理	189
6.4.1 协同设计项目管理	189
6.4.2 工程变更体系结构及相关定义	190

6.4.3 工程变更资源与流程集成	193
6.4.4 数据变更管理的实践与应用	196
本章参考文献	199
第7章 产品虚拟设计技术	201
7.1 概述	201
7.1.1 一个典型的虚拟设计环境	201
7.1.2 虚拟设计中的人机交互技术	202
7.2 CAD系统与虚拟设计系统的接口设计	204
7.2.1 虚拟环境中设计信息的表达	205
7.2.2 CAD系统与VR系统的数据转换	207
7.3 虚拟环境中装配设计	207
7.3.1 虚拟环境中装配关系识别	207
7.3.2 虚拟环境中装配运动导航	210
7.3.3 虚拟环境中装配序列编辑	210
7.4 虚拟环境中产品动力学分析	212
7.4.1 虚拟样机技术概述	212
7.4.2 基于拉格朗日多刚体动力学的虚拟样机运动模型	212
7.4.3 可视力/力矩隐喻工具的定义	214
7.4.4 一个典型的交互分析实例	216
本章参考文献	219
第8章 产品配置设计技术	220
8.1 产品配置设计的基本概念与方法	220
8.1.1 产品配置设计的产生与发展	220
8.1.2 产品配置设计与产品族、产品平台的关系	221
8.1.3 产品配置设计的主要方法	222
8.1.4 典型的产品配置设计系统介绍	228
8.2 基于知识的产品配置设计	229
8.2.1 基于知识的产品配置模型	229
8.2.2 产品配置模型的演化	234
8.2.3 产品配置设计过程建模	240
8.2.4 产品配置设计过程分解	241
8.2.5 产品配置求解	243
8.3 产品配置重用与再配置	245
8.3.1 配置重用	245
8.3.2 再配置	250

8.4 产品配置设计系统实例	254
8.4.1 系统概述	254
8.4.2 配置设计流程	254
8.4.3 系统的主要功能和实现技术	255
本章参考文献	258
第9章 产品智能设计技术	260
9.1 概述	260
9.1.1 传统 CAD 设计技术的局限性	260
9.1.2 人工智能与专家系统	260
9.1.3 智能 CAD 的基本概念	261
9.2 基于知识的设计方法	262
9.2.1 基于实例推理的设计方法	262
9.2.2 基于原型推理的设计方法	265
9.2.3 基于神经网络的设计方法	267
9.3 产品智能设计技术应用举例	269
9.3.1 基于相似性的工程图样结构模式识别	269
9.3.2 基于神经网络的特征识别	279
本章参考文献	284
第10章 CAD 系统二次开发	286
10.1 AutoCAD 二次开发	286
10.1.1 ObjectARX 概述	286
10.1.2 AutoCAD 数据库	289
10.1.3 ObjectARX 开发举例	291
10.2 Pro/Engineer 二次开发	298
10.2.1 Pro/Toolkit 概述	298
10.2.2 Pro/Toolkit 开发的基本过程	303
10.2.3 Pro/Toolkit 菜单设计技术	310
10.2.4 Pro/Toolkit 开发举例	313
本章参考文献	324

第 1 章 绪 论

1.1 概 述

计算机辅助设计 (computer aided design, CAD) 技术将人类创造性思维与计算机的高性能处理能力有机地结合起来, 实现产品创新设计, 是近年来计算机应用领域最活跃的研究方向之一。借助 CAD 技术, 人们高效地实现了从大型复杂装备、大规模集成电路、高难度的特效动作到机械零件、印染图案的创造性设计创作, 极大地改变了新产品的设计和生产方式, 对现代社会产生了深刻的影响。CAD 已成为提高企业的创新能力与市场竞争能力的关键所在。

CAD 是一种利用计算机硬件和软件系统辅助人们对产品或工程进行设计的方法和技术, 主要包括设计、绘图、工程分析与文档制作等设计活动, 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^[1]。

随着计算机技术与产品设计方法的不断发展, CAD 已经由传统的计算机辅助绘图发展到计算机辅助产品设计, 从经典的 CAD 造型发展到现代产品设计; 同时, 随着 CAD 软件在工程设计领域的成功应用与普及推广, 企业对 CAD 技术的依赖程度不断提高, 但同时也对 CAD 技术提出了更高的要求。

CAD 的典型应用领域包括:

① 机械领域, 汽车 CAD 和飞机 CAD 是这个行业的 CAD 先驱。使用 CAD 设计车身外型, 可提高功效 20 倍, 使企业在激烈竞争中取得优势。模具 CAD、机械零件 CAD 以及 CAD/CAM/CAPP 的结合, 是机械 CAD 研究较集中的领域。

② 建筑领域, 包括建筑设计、结构设计、水电设计、预算决算、小区规划、路桥设计、城市规划等不同功能的领域。其中建筑设计功能最复杂, 要同时满足功能、技术、经济、审美等多种要求, 是 CAD 的难点之一。

③ 电子领域, 包括集成电路 CAD、印刷电路板 CAD、整机系统模拟、故障测试与诊断、电子线路 CAD 等。特别是大规模集成电路的设计与制造, 由于密集度和精度很高, 采用 CAD 技术进行电路的布局与布线已成为不可或缺的手段。

④ 地理信息领域, 包括行政区域图、地形图和电子沙盘、城市规划、地下管网图、交通图、人口分布图、环境保护图以及生物、品种、产量分布图和海图、气象图等一切与地理位置有关的信息操作和图形设计。由于这些信息数量大、变化频繁, 使用要求复杂, 用手工方式来管理、分析、编辑、绘制已难以完成, 地图 CAD 便成了发展方向。地图 CAD 经常和地理信息的管理、分析、处理等功能合在一起总称为 GIS, 它是地理信息系统的简称。GIS 将 CAD 技术与 MIS 技术结合起来, 以图形数据库为核心, 形成一个图形信息的管理、分析、操作与显示系统。

1.2 CAD 的发展历程

CAD 技术起步于 20 世纪 50 年代后期,伴随着 CAD 技术的诞生,CAD 产业也开始萌芽发展。从 20 世纪 60 年代至今,CAD 经历了四个不同的时期。文献[2]对 CAD 的发展历程进行了很好的概括。

1. 开创时期 (60 年代至 70 年代)

从 CAD 技术的发展上看,20 世纪 60 年代至 70 年代是 CAD 技术的开创时期,CAD 技术的研究最初起步于计算机图形显示硬件和交互式计算机图形学。

1960 年,I.E. Sutherland 使用美国麻省理工学院林肯实验室制造的 Tx-2 计算机,开发了 SKETCHPAD,被认为是 CAD 迈出的第一步。1962 年,他完成的博士论文被认为开创了交互式计算机图形学研究的先河。其后,美国的一些大公司和科研机构相继开展了计算机图形学的大规模研究开发。

随着在计算机屏幕上绘图成为可行,CAD 技术也开始发展起来。人们希望借助此项技术来摆脱烦琐、费时、绘制精度低的传统手工绘图。当时,CAD 技术的出发点是用传统的三视图方法来表达零件,以图纸为媒介进行技术交流。因此在 CAD 技术发展初期,CAD 的含义仅仅是图板的替代品,即计算机绘图 (computer aided drawing or drafting),而非今天我们经常讨论的计算机辅助设计 (computer aided design)。CAD 技术以二维绘图为主要目标一直持续到 20 世纪 70 年代末期,以后作为 CAD 技术的一个分支而相对独立、平稳地发展。直到今天,二维绘图仍然占有相当大的比重。早期应用较为广泛的计算机绘图软件是由美国洛克希德 (Lockheed) 公司开发的 CADAM 软件,现在二维绘图市场上占有优势地位的是 AutoCAD, Micro-Station 等产品。

20 世纪 60 年代出现的三维 CAD 系统还只是极为简单的线框造型系统。这种初期的线框造型系统只能表达基本的几何信息,不能有效地表达几何元素间的拓扑关系。由于缺乏形体的表面信息,CAM 及 CAE 均无法实现。从计算能力的发展上看,20 世纪 60 年代是大型机的时代,当时的 CAD 系统使用 11 英寸 (约 28 厘米) 向量图形显示终端,用汇编语言开发软件系统。

从 CAD 的发展上看,20 世纪 60 年代第一批 CAD 产业公司纷纷成立,作为开拓者,这一时期创立的 CAD 公司对今后的 CAD 技术产生了很大的影响:

- ① 1960 年,McDonnell Douglas Automation 公司成立,它开发了 Unigraphics (UG)。
- ② 1962 年,Bill Barnes 创立 Auto-Trol 公司,制造和销售数字化仪。
- ③ 1967 年,Jason R. Lemon 创立 Structural Dynamic Research Corp (SDRC)。
- ④ 1968 年,David Evans 和 I.E. Sutherland 创立 Evans and Sutherland (E&S) 公司,生产图形硬件。
- ⑤ 1969 年,Computer Vision (CV) 公司成立。
- ⑥ 1969 年,Applicon 公司成立。
- ⑦ 1970 年,CALMA 公司成立。
- ⑧ 1970 年,M&S Computing 公司成立,它是 Intergraph 的前身。

⑨ 1972 年, SIGGRAPH 成立, 它对以后计算机图形学的发展产生了重大影响。

2. 第一次发展时期 (70 年代末至 80 年代中)

20 世纪 70 年代末至 80 年代中, 由于工业界强烈的应用需求, 曲面造型和实体造型技术获得了快速的发展, 出现了一批应用于工业的 CAD/CAM 软件系统, CAD 技术开始了第一次发展时期。

从 CAD 技术的发展上看, 进入 20 世纪 70 年代, 国际飞机工业和汽车工业蓬勃发展, 在飞机和汽车制造中遇到了大量的自由曲面问题, 当时只能采用传统的多截面视图和特征纬线的方式来近似表达所设计的自由曲面。由于三视图方法表达的不完整性, 经常发生设计完成后, 制作出来的样品与设计者所想像的有很大差异甚至完全不同的情况。设计者对自己设计的曲面形状能否满足要求也无法保证, 所以, 常采用按比例制作油泥模型的方法, 作为设计评审或方案比较的依据; 这种既慢且繁的制作过程大大拖延了产品的研发时间。美国麻省理工学院的 Coons 和法国雷诺公司的 Bézier 先后提出了新的曲面算法, 使得人们可以用计算机处理曲线及曲面问题。在此基础上, 1977 年, 法国达索飞机制造公司 (Dassault Aviation) 成立了一个开发部门, 开发出三维曲面造型系统 (computer aided three-dimension interactive application, CATIA)。CATIA 的出现标志着 CAD 技术从二维走向三维, 同时也使得 CAM 技术的开发有了实现的基础。CATIA 的出现带来了一次 CAD 技术革命。

曲面造型系统带来的技术革新, 使汽车开发手段比旧的模式有了质的飞跃, 新车型开发速度也大幅度提高, 许多车型的开发周期缩短了一半。CAD 技术给使用者带来了巨大的好处和丰厚的收益, 汽车工业开始大量采用 CAD 技术。

有了曲面模型, CAM 的问题可以基本解决。但由于曲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特性, 如质量、重心、惯性矩等, 对 CAE 十分不利, 其最大的问题在于分析的前处理特别困难。20 世纪 70 年代末, 开始出现早期的实体造型软件, 实体造型采用基本体素和布尔运算来构造三维模型。1979 年, SDRC 公司推出了世界上第一个完全基于实体造型技术的大型 CAD/CAE 软件——I-DEAS。由于实体造型技术在理论上有助于统一 CAD/CAE/CAM 的模型表达, 给设计带来了很大的方便, 它代表着 CAD 技术的发展方向。基于这样的共识, 各软件纷纷仿效。可以说, 实体造型技术的应用标志着 CAD 发展史上的又一次技术革命。

3. 第二次发展时期 (80 年代末至 90 年代初)

20 世纪 80 年代末至 90 年代初, 单用户计算机系统的普及、参数化技术和特征造型技术的发展, 使得 CAD 技术又面临新一轮的变革。

从 CAD 技术的发展上看, 这一时期 CAD 技术正在经历一场巨大的变革。20 世纪 80 年代中期, 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, CV 公司内部以高级副总裁 Sam Geisberg 为首的一批人提出了参数化设计方法。从算法上来说这是一种很好的思路, 其主要特点是: 基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。此时的参数化技术方案还处于初级阶段, 很多技术难点有待于攻克。由于参数化技术核心算法与以往的系统有本质差别, 而 CAD 技术主要应用在航空和汽车工业中, 对自由曲面的需求量非常大, 参数化技术还不能提供自由曲面造型的有效工具; 更何况当时 CV 的软件在市场上几乎呈供不应求之势,

因此, CV 公司内部否决了参数化技术方案。在这种情况下, 策划参数化技术的这些人集体离开了 CV 公司, 于 1985 年成立了 PTC (Parametric Technology Corp) 公司, 开始研制参数化设计软件 Pro/Engineer。PTC 公司开发的这种新的三维参数化设计系统比以前的三维造型系统需要更强的计算能力。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, 使人们看到了它的潜力。参数化技术带来了 CAD 发展史上的新一轮技术革命。

4. 第三次发展时期 (90 年代中至今)

20 世纪 90 年代中期至今, 计算机软硬件技术得到了不断的创新和发展, 计算能力的提高, 尤其是微机三维 CAD 系统的快速崛起对 CAD 技术产生了巨大的冲击和影响。

图形学的发展推动了从二维 CAD 向三维实体造型的转移。IMPACT 加速卡第一次将纹理引擎包含进来, 这样可以使工程师与高真实度显示的场景和模型进行实时的交互。与此同时, NT 图形技术发展非常迅速, 而且 NT 也与 OpenGL 兼容。OpenGL 是由 SGI 开发的三维图形调用库, 后来被微软公司采用到自己的高性能 Windows 操作系统中。从 1991 年起, 微软公司开始为 Windows NT 操作系统开发 OpenGL 图形接口。1995 年, 第一个支持 Windows NT 的 OpenGL 图形卡面市。

计算机技术和图形硬件的发展、Windows 操作系统的普及使用, 使 CAD 系统向一个非常好的方向发展。

① 各种各样的模型描述方法的出现, 并逐步标准化, 使工程数据库的研究和实现日益重要, 以设计为核心的集成制造系统越来越实用和普及;

② CAD 技术逐渐智能化, 使 CAD 系统更灵活、易用、高效, 并且更具创造性;

③ CAD 技术逐渐多媒体化, 使得设计的结果更易控制, 质量得到提高;

④ 由于 CAD 系统性价比的提高, 工程、制作和娱乐行业普遍使用 CAD 技术, CAD 技术逐步成为最重要的计算机应用领域之一;

⑤ 各种新的输入输出设备不断涌现, 特别是三维彩色数字仪的出现, 使得造型和数据库的建立越来越容易。

计算机辅助设计可以有效地提高设计的速度和质量, 从而产生十分显著的经济效益。如果将设计、制作、工艺处理、管理等多个步骤用计算机集成处理, 则生产效率与产品的质量可获得极大改善。如果将人工智能引入 CAD 技术, 则会极大地提高人类的创造能力。如果将多媒体、网络技术引入 CAD 领域, 则能综合发挥设计师与计算机的互补能力, 使企业大大增强其产品创新与占领市场的能力。可以将今后 10 年的 CAD 技术的发展方向概括为 I⁴, 即集成化 (integrated)、智能化 (intelligent)、网络化 (internetworking) 和人机交互化 (interactive)。

1.3 CAD 系统简介^[3]

一般地, 可以将 CAD 系统分成高端 CAD 系统、中端 CAD 系统和低端 CAD 系统, 如表 1-1 所示。高端 CAD 产品的功能涵盖了 2D/3D CAD、CAM、CAE、PDM 与 PLM 等全面、复杂的应用; 中端 CAD 产品的功能只涵盖 2D/3D CAD 等主要、基本的应用; 低端 CAD 产品主要是 2D CAD 应用。

表 1-1 国际 CAD 产品谱系

产品谱系 产品类别	IBM/Dassault	EDS/Unigraphics	PTC	Autodesk
高端 CAD	CATIA	UG, I-DEAS	Pro/Engineer, CADD5	
中端 CAD	SolidWorks	Solid Edge		MDT, Inventor
低端 CAD				AutoCAD
PDM/PLM	ENOVIA, SMARTEAM	Team Center	Windchill	
其他产品 (几何引擎 CAM、CAE 等)	DELMIA, ACIS, CosMosWorks	Parasolid	Division	3D Studio Max

下面介绍目前国际主流商用 CAD 系统及其开发厂商。

(1) CATIA

CATIA 是达索系统公司的旗舰产品，它由达索系统公司负责开发，并由 IBM 公司负责销售。CATIA 产品线覆盖机械设计、外观设计、家用产品设计、仪器与系统工程、数控加工、分析及仿真。目前，CATIA 已经成为 CAD/CAM 领域最好的系统软件，其强大的设计功能和丰富的加工功能为波音公司、空中客车公司等大客户的新产品开发提供了强有力的保证。目前，CATIA 是国际高端 CAD 软件的领头羊，在航空及造船工业具有垄断地位，并占汽车工业相当大的份额。

(2) UG

UG 起源于美国麦道飞机制造公司，1991 年 11 月并入美国通用汽车公司 EDS 分部，如今 EDS 成为一家独立的公司，是全世界最大的 IT 服务公司。UG 产品先是由 EDS 的独立子公司 Unigraphics Solutions (UGS) 负责开发，2001 年 10 月，EDS 将 UGS 私有化。

UG 在世界汽车和飞机发动机市场占有率具有垄断地位，如普惠公司、GE 喷气发动机公司、通用汽车公司都是 UG 的大客户，在世界其他工业领域也占有一定的份额。

UG 提供 PLM 解决方案，是一个集 CAD/CAE/CAM 于一体的机械工程辅助系统，适用于航空、航天、汽车、通用机械以及模具等的设计、分析及制造。

(3) I-DEAS

I-DEAS 是 SDRC 公司的 MDA (mechanical design automation) 系统，SDRC 公司成立于 1967 年，最初是一家提供工程咨询服务的公司，以工程计算与结构分析为主。2001 年 10 月，EDS 收购 SDRC。I-DEAS 是一个高度集成的 CAD/CAM/CAE 系统，用于机械产品的设计、分析和制造。具有完整的机械设计软件，其中包括零件设计、特征定义、曲面实体设计、装配设计、误差分析、运动机构设计、图形布置和工程图绘制等主要软件模块。

(4) Pro/Engineer

PTC (Parametric Technology Corporation) 公司 1985 年成立于美国波士顿，1989 年成为上市公司。PTC 公司提出的基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改等概念在当时改变了传统 MDA 的观念，其开发出的 Pro/Engineer 产品具有划时代的意义。Pro/Engineer 是 PTC 的数字化设计与制造软件，它包含设计分析、模具、加工及管道设计等模块。Pro/Engineer 是采用参数化设计的、基于特征的实体建模系统，工程设计人员采用具有智能特

性的基于特征的功能去生成模型,用户可以随意勾画草图,轻易改变模型。这一功能特性给工程设计者提供了在设计上从未有过的简易和灵活。Pro/Engineer 的这种基于特征的参数化设计方法后来被中端 CAD 产品(如 SolidWorks、SolidEdge、Inventor)所广泛采用。

(5) SolidWorks

美国 SolidWorks 公司的 SolidWorks 软件是完全基于 Windows 的桌面三维 CAD 系统。SolidWorks 软件采用 Parasolid 几何引擎,它完全是在 Windows 环境下运行的,充分利用和发挥了 Windows 的强大功能和 OLE 技术。该软件自 1995 年问世以来,先后共获得工业界的十几项大奖。

创新、易学易用且价格适宜是 SolidWorks 这类 Windows 三维设计软件的重要特色。其易用和友好的界面,能够在整个产品设计工作中,全自动捕捉设计意图和引导设计修改。

SolidWorks 将自己定位在中端 CAD 软件市场上,并提供完整的、免费的开发接口(API),用户可以用微软的 Visual Basic、Visual C++ 或其他支持 OLE/COM 的编码语言建立自己的应用程序,第三方应用软件也可以方便、无缝地集成到 SolidWorks 设计环境中。

(6) Parasolid

Parasolid 是首先在英国开发的一套几何造型引擎(geometry engine),1988 年 UGS 公司收购 Shape Data,获得 Parasolid 产品。作为一套面向机械 CAD 产品的几何特征造型引擎,Parasolid 已经获得了广泛的应用。众多 CAD 系统采用 Parasolid 作为几何造型引擎,包括 UG、SolidWorks、SolidEdge 等系统。

Parasolid 提供了超过 700 个面向对象的应用函数,可以让用户构造从简单的圆柱体、球体到汽车、飞机叶片等复杂产品的数学模型。EDS 公司与航空、航天、汽车行业用户的紧密合作使得 Parasolid 可以真正解决实际问题中出现的问题。因此,Parasolid 在曲面过渡、实体抽壳、缝合、布尔运算等方面具有很强的功能。Parasolid 提供的文本文件格式是 x_t,二进制格式是 x_b。

Parasolid 作为 EDS 产品线的一部分,在很多领域得到广泛应用。例如,在 CAD 领域,三维 CAD 系统用 Parasolid 作为几何引擎来构造几何模型,形成部件或零件;在 CAE 领域,Parasolid 可以导入大多数基于 Parasolid 的 CAD 系统的产品模型,并将几何部分和拓扑部分集成在一起,从而使得 CAE 系统对 CAD 模型分析成为可能;在 CAM 领域,基于 Parasolid 的 CAM 系统可以完全导入基于 Parasolid 的 CAD 系统的产品模型,并产生 NC 指令。大规模的工业应用使 Parasolid 成为速度快、稳定性强、可靠性高的几何造型引擎。

(7) Autodesk

AutoCAD 系统是美国 Autodesk 公司为微机开发的一个交互式二维绘图软件,具有很强的绘图、编辑、剖面线、尺寸标注以及方便用户二次开发的功能,也具有部分三维造型的功能,它是目前世界上应用最广的二维 CAD 软件。

MDT (mechanical desktop) 是 Autodesk 公司推出的基于参数化特征造型的微机三维 CAD 软件。

Inventor 是 Autodesk 公司开发的基于自适应技术的三维设计软件。其内核采用 ACIS, Autodesk 还购买了 ACIS 的源代码,与 Spatial 公司完全脱离,自己维护并根据需要在此基础上开发内核功能。

Autodesk 公司的主要产品除了 AutoCAD、MDT 和 Inventor 外,还提供动画设计、渲染、