

Inventor

(中文版)基础教程

隋 丽 宋荣昌 刘 东 主编



本书配有光盘



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

Inventor (中文版)

基 础 教 程

隋 丽 宋荣昌 刘 东 主编

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 提 要

本书以 Autodesk Inventor Series 7 中文版为平台,介绍 Autodesk Inventor 的功能和使用技巧。书中从计算机辅助设计的基本概念入手,着重阐述三维零部件设计的基本流程,并通过一系列具体的实例和操作强化了参数化设计的方法。全书内容包括 CAD 技术及外延技术概述、Autodesk Inventor 基础知识、草图和三维草图、特征和零件造型、钣金设计、焊接件设计、部件装配、表驱动零件和设计元素、表达视图、自适应技术、创建工程图和 Inventor 的二次开发共十二章。本书同时向广大读者普及 CAD/CAE/CAM/PDM 一体化生产制造等先进概念,以增加读者对现代工程设计理念的理解和应用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

Inventor(中文版)基础教程/隋丽,宋荣昌,刘东主编. —北京:
北京理工大学出版社,2004. 5
ISBN 7-5640-0261-1

I. I… II. ①隋… ②宋… ③刘… III. 机械设计:计算机辅助
设计-应用软件, Inventor-教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 025774 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010)68914775(办公室) 68912824(发行部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

电子邮箱 / chiefedit@bitpress.com.cn

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地质印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 17.75

字 数 / 420 千字

版 次 / 2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷

印 数 / 1~4000 册

定 价 / 31.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 刘京凤

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前 言

Autodesk Inventor 是美国 Autodesk 公司推出的三维计算机辅助设计与绘图软件, 包含 17 项核心专利技术和并行工程思想。Inventor 自发布两年以来, 已经获得很多享有盛誉的工业奖项, 被认为是领先的中端设计解决方案。利用其向导、工具、帮助和内置设计支持系统(使用可视化设计辅助工具和右键关联菜单), 可以帮助 AutoCAD 用户轻松实现三维转换, 使用户从一开始就可以进行真正的设计。

Autodesk Inventor 采用的自适应技术是自参数化特征造型技术诞生后在 CAD 领域第一个全新的突破, 具有自适应建模、大型部件装配、将概念设计与详细结构相结合等先进功能。自适应建模的出现表明基于 Windows 平台的中价位三维 CAD 软件已经在传统的参数化建模的基础上脱胎换骨, 其技术档次甚至已经超过传统的高价位三维 CAD 系统; 分段式数据库引擎则使 Inventor 大幅度提升了对大型部件的装配建模能力; 顺应时代潮流的设计重用、并行设计功能可以进一步提高用户的设计效率; 而精美流畅的用户界面及全新的设计支持和帮助系统更使得用户可以在最短的时间内完全掌握软件的使用方法。

本书以 Autodesk Inventor Series 7 中文版为平台, 介绍 Autodesk Inventor 的功能和使用技巧。书中从计算机辅助设计的基本概念入手, 着重阐述三维零部件设计的基本流程, 并通过一系列具体的实例和操作强化了参数化设计的方法。全书内容包括 CAD 技术及外延技术概述、Autodesk Inventor 基础知识、草图和三维草图、特征和零件造型、钣金设计、焊接件设计、部件装配、表驱动零件和设计元素、表达视图、自适应技术、创建工程图和 Inventor 的二次开发共十二章, 本书同时向广大读者普及 CAD/CAE/CAM/PDM 一体化生产制造等先进概念, 以增加读者对现代工程设计理念的理解和应用。

本书有以下特点:

1. 内容全面, 结构严谨, 重点突出。
2. 实用性强, 书中具有较多的应用技巧和实例。
3. 每章安排多个上机实验, 通过实际操作即时掌握所学的内容。
4. 本书随书附有光盘。光盘提供了主要章节中重要实例的模型。

本书适用于从事计算机辅助设计与绘图的工程技术人员和高校师生, 可作为相关课程的教材或培训教材。

本书文字部分由隋丽、宋荣昌等执笔编写, 由刘东负责统稿工作。此外, 张菁华、李华、郭福生、柳晴、贺伟、张计恒、马艳妮、谭毅等负责整理材料。

在这里, 特别感谢北京理工大学 82 教研室的石庚辰、刘明杰教授, 为本书的组稿和顺利出版所做的无私帮助。

本书限于作者水平, 难免在内容选材和叙述上有不当之处。竭诚欢迎广大读者对本书提出批评和建议。

编 者

2004 年 2 月

目 录

第1章 CAD 技术及外延技术概述	1
1.1 CAD 技术发展历程	1
1.2 CAD 系统的构成及分类	4
1.3 当前主流三维 CAD 软件	6
1.4 CAD 外延系统技术的发展	8
1.5 逆向工程 CAD 技术	13
1.6 CAD 技术发展趋势	15
习题	16
第2章 Autodesk Inventor 基础知识 与基本操作	17
2.1 Autodesk Inventor 的发展与应用	17
2.2 Autodesk Inventor 的用户界面	20
2.3 基本操作技能	28
2.4 项目文件系统	34
2.5 输入输出数据	37
2.6 设计支持系统	38
2.7 上机实验	41
习题	42
第3章 草图和三维草图	43
3.1 草图的绘制和修改	43
3.2 添加或删除几何约束	55
3.3 放置尺寸	58
3.4 投影几何图元	65
3.5 草图绘制的基本原则	65
3.6 三维草图	67
3.7 设置草图环境	69
3.8 草图应用综合举例	71
3.9 上机实验	76
习题	77
第4章 特征和零件造型	78
4.1 零件设计过程	78
4.2 草图特征	83

4.3	放置特征	94
4.4	阵列特征	101
4.5	定位特征	104
4.6	编辑特征	108
4.7	零件造型综合举例	110
4.8	上机实验	121
	习题	122
第5章	钣金设计	124
5.1	钣金设计环境	124
5.2	设置钣金参数	125
5.3	草图特征	128
5.4	放置特征	130
5.5	展开模式	134
5.6	钣金设计综合举例	135
5.7	上机实验	141
	习题	142
第6章	焊接件设计	143
6.1	焊接件环境	143
6.2	创建焊道特征	147
6.3	使用焊接件符号	151
6.4	焊接件设计综合举例	153
6.5	上机实验	158
	习题	159
第7章	部件装配	160
7.1	部件装配基础	160
7.2	部件中的约束条件	164
7.3	在部件中创建零部件	178
7.4	使用 iMate 和零部件替换	179
7.5	衍生零部件	181
7.6	部件装配设计综合举例	182
7.7	上机实验	190
	习题	192
第8章	表驱动零件和设计元素	193
8.1	表驱动零件	193
8.2	设计元素	196

8.3 上机实验	202
习题	203
第9章 表达视图	204
9.1 创建表达视图	204
9.2 制作分解动画	207
9.3 表达视图综合举例	209
9.4 上机实验	212
习题	213
第10章 自适应技术	214
10.1 自适应介绍	214
10.2 使用参考草图创建自适应零件	217
10.3 使有欠约束特征的零件自适应	219
10.4 部件自适应	222
10.5 综合实例：设计一个自适应连杆	223
10.6 上机实验	225
习题	226
第11章 创建工程图	227
11.1 工程图基础知识	227
11.2 自定义工程图模板	231
11.3 创建零件工程图	235
11.4 工程图标注	243
11.5 创建部件工程图	251
11.6 工程图综合举例	254
11.7 上机实验	263
习题	264
第12章 Inventor 的二次开发	265
12.1 如何访问 Inventor API	265
12.2 VBA 使用实例	267
12.3 Add-Ins 使用实例	270

第1章 CAD 技术及外延技术概述

CAD（计算机辅助设计）技术是以计算机、外围设备及其系统软件为基础，包括二维绘图设计、三维几何造型设计、有限元分析及优化设计、数控加工编程、仿真模拟及产品数据管理等内容的一种技术。CAD 技术已被广泛地应用在机械、电子、航天、化工、建筑等行业。利用 CAD 技术可使工程设计人员从繁重的设计计算和绘图工作中解放出来，从而起到了缩短设计周期、加强设计的标准化等作用。

本章简要地介绍 CAD 技术及其外延技术，内容包括 CAD 技术的发展历程、当前主流 CAD 软件的功能和特点、CAD 外延系统技术的发展。

1.1 CAD 技术发展历程

在 CAD 软件发展初期，CAD 的含义仅仅是图板的替代品，意指 Computer Aided Drawing（or Drafting），而非现在经常讨论的 CAD（Computer Aided Design）所包含的全部内容。CAD 技术以二维绘图为主要目标的算法一直持续到 20 世纪 70 年代末期，以后作为 CAD 技术的一个分支而相对单独、平稳地发展。但二维 CAD 系统与传统的手工绘图一样，对减少产品设计错误、设计更改和返工现象并无重大影响，对企业最需要的设计质量并没有多大的提高。

目前，CAD 技术已经由二维 CAD 时代发展到三维 CAD 时代。当今的三维 CAD 系统，可方便地设计出所见即所得的三维实体产品模型。有了三维实体模型，可以进行装配和干涉检查；可以对重要零部件进行有限元分析与优化设计；可以进行工艺规程生成；可以进行数控加工；可以进行快速成型，在做模具之前就可以拿到实物零件进行装配及测试；可以启动三维、二维关联功能，由三维直接自动生成二维工程图纸；可以进行产品数据共享与集成等等。这是二维绘图无法比拟的。

1.1.1 曲面造型技术

曲面造型是计算机图形学和计算机辅助几何设计（Computer Aided Geometric Design）的一项重要内容，主要研究在计算机图形系统的环境下对曲面的表示、设计、显示和分析。它起源于飞机、船舶、汽车、叶轮等的外形放样工艺，由 Coons、Bezier 等大师于 20 世纪 60 年代奠定理论基础，经三十多年发展，现在已经形成了以 Bezier 和 B 样条方法为代表的参数化特征设计和隐式代数曲面表示这两类方法为主体，以插值、拟合、逼近这三种手段为骨架的几何理论体系。

60 年代出现的三维 CAD 系统只是极为简单的线框式系统。这种初期的线框造型系统只能表达基本的几何信息，不能有效表达几何数据间的拓扑关系。由于缺乏形体的表面信息，CAM（计算机辅助制造）及 CAE（计算机辅助工程）技术均无法实现。

进入 70 年代，正值飞机和汽车工业的蓬勃发展时期。此间飞机及汽车制造中遇到了大

量的自由曲面问题,当时只能采用多截面视图、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象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,所以还经常按比例制作油泥模型,作为设计评审或方案比较的依据。既慢且繁的制作过程大大拖延了产品的研发时间,要求更新设计手段的呼声越来越高。

此时法国人提出了贝赛尔算法,使得人们在用计算机处理曲线及曲面问题时变得可以操作,同时也使得法国的达索飞机制造公司的开发者们,能在二维绘图系统 CADAM 的基础上,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。它的出现,标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图纸的三视图模式中解放出来,首次实现以计算机完整描述产品零件的主要信息,同时也使得 CAM 技术的开发有了现实的基础。曲面造型系统 CATIA 为人类带来了第一次 CAD 技术革命,改变了以往只能借助油泥模型来近似准确表达曲面的落后的工作方式。

随着计算机图形显示对于真实性、实时性和交互性要求的日益增强,随着几何设计对象向着多样性、特殊性和拓扑结构复杂性靠拢这一趋势的日益明显,随着图形工业和制造业迈向一体化、集成化和网络化步伐的日益加快,随着激光测距扫描等三维数据采集技术和硬件设备的日益完善,曲面造型近几年得到了长足的发展,这主要表现在研究领域的急剧扩展和表示方法的开拓创新。

(1) 从研究领域来看,曲面造型技术已从传统的研究曲面表示、曲面求交和曲面拼接,扩充到曲面变形、曲面重建、曲面简化、曲面转换和曲面等距性。

(2) 从表示方法来看,以网格细分为特征的离散造型与传统的连续造型相比,大有后来居上的创新之势。这种曲面造型方法在生动逼真的特征动画和雕塑曲面的设计加工中如鱼得水,得到了高度的运用。

1.1.2 实体造型技术

实体造型是一个构造对象的过程,该对象具有一个实际实体的所有属性。例如,如果绘制一个轴衬的线框或表面模型,它可以定义对象的形状与大小。但是在工程中,仅有形状与大小是不足以描述对象的。对于工程分析,需要更多的信息,如体积、质量、惯性矩和材料特性等。当知道了对象的这些物理属性后,则可进行各种测试以确保它达到产品说明书的要求,这可省掉构造原型的昂贵花费,并使产品设计周期缩短。实体模型也使想像对象变得容易,因为,可以认为看见了对应的实体。随着计算机技术的发展,且软件系统越来越复杂和使用性的提高,实体造型正成为机械制造过程的核心。

20 世纪 80 年代初,CAD 系统价格依然令一般企业望而却步,这使得 CAD 技术无法拥有更广阔的市场。为使自己的产品更具特色,在有限的市场中获得更大的市场份额,以 CV、SDRC、UG 为代表的系统开始朝各自的发展方向前进。70 年代末到 80 年代初,由于计算机技术的大跨步前进,CAE、CAM 技术也开始有了较大发展。SDRC 公司在当时星球大战计划的背景下,由美国宇航局支持及合作,开发出了许多专用分析模块,用以降低巨大的太空实验费用,同时在 CAD 技术方面也进行了许多开拓;UG 则着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 CALMA 则将主要精力都放在 CAD 市场份额的争夺上。

有了表面模型,实现 CAM 时遇到的问题可以基本解决。但由于表面模型技术只能表达形体的表面信息,难以准确表达零件的其他特性,如质量、重心、惯性矩等,对 CAE 十分不利,最大的问题在于分析的前处理特别困难。基于对于 CAD/CAE 一体化技术发展的探索,SDRC 公司于 1979 年发布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。由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性,在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达,给设计带来了惊人的方便性。它代表着未来 CAD 技术的发展方向。基于这样的共识,各软件纷纷仿效。一时间,实体造型技术呼声满天下。可以说,实体造型技术的普及应用标志着 CAD 发展史上的第二次技术革命。

1.1.3 参数化技术

正当实体造型技术逐渐普及之时,CAD 技术的研究又有了重大进展。如果说在此之前的造型技术都属于无约束自由造型的话,进入 20 世纪 80 年代中期,CV 公司内部以高级副总裁为首的一批人提出了一种比无约束自由造型更新颖、更好的算法——参数化实体造型方法。从算法上来说,这是一种很好的设想。它的主要特点是:基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。当时的参数化技术方案还处于一种发展的初级阶段,很多技术难点有待于攻克。参数技术公司(Parametric Technology Corporation,简称 PTC),开始研制命名为 Pro/E 的参数化软件。早期的 Pro/E 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,使人们看到了它今后将给设计者带来的方便性。

参数化技术不仅可使 CAD 系统具有交互式绘图功能,还具有自动绘图的功能。利用参数化设计手段开发的专用产品设计系统,可使设计人员从大量繁重而琐碎的绘图工作中解脱出来,可以大大提高设计速度,并减少信息的存储量。

进入 90 年代,参数化技术变得比较成熟起来,充分体现出其在许多通用件、零部件设计上存在的简便易行的优势。踌躇满志的 PTC 先行挤占低端的 AutoCAD 市场,致使在几乎所有的 CAD 公司营业额都呈上升趋势的情况下,Autodesk 公司营业额却增长缓慢,市场排名连续下挫;继而 PTC 又试图进入高端 CAD 市场,与 CATIA、I-DEAS、CV、UG 等群雄逐鹿,一直打算进入汽车及飞机制造业市场。目前,PTC 在 CAD 市场份额排名上已名列前茅。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。

由于上述背景,国内外对参数化设计做了大量的研究,目前参数化技术大致可分为三种方法:基于几何约束的数学方法、基于几何原理的人工智能方法、基于特征模型的造型方法,其中数学方法又分为初等方法和代数方法。初等方法利用预先设定的算法,求解一些特定的几何约束。这种方法简单、易于实现,但仅适用于只有水平和垂直方向约束的场合;代数法则将几何约束转换成代数方程,形成一个非线性方程组。该方程组求解较困难,因此实际应用受到限制;人工智能方法是利用专家系统,对图形中的几何关系和约束进行理解,运用几何原理推导出新的约束,这种方法的速度较慢,交互性不好;特征造型方法是三维实体造型技术的发展,目前正在探讨之中。

1.1.4 变量化技术

参数化技术的成功应用,使得它在 20 世纪 90 年代前后几乎成为 CAD 业界的标准,许多软件厂商纷纷起步追赶,但是技术理论上的认可并非意味着实践上的可行性。

VGX 的全称为 Variational Geometry Extended, 即超变量化几何, 它是由 SDRC 公司独家推出的一种 CAD 软件的核心技术。工程人员进行机械设计和工艺设计时, 总是希望零部件能够让设计者随心所欲地构建, 可以随意拆卸, 能够让设计者在平面的显示器上, 构造出三维立体的设计作品, 而且希望保留每一个中间结果, 以备反复设计和优化设计时使用。VGX 实现的就是这样一种思想。VGX 技术扩展了变量化产品结构, 允许用户对一个完整的三维数字产品从几何造型、设计过程、特征, 到设计约束, 都可以进行实时直接操作。对设计人员而言, 采用 VGX, 就像拿捏一个真实的零部件面团一样, 可以随意塑造其形状, 而且, 随着设计的深化, VGX 可以保留每一个中间设计过程的产品信息。VGX 为用户提出了一种交互操作模型的三维环境, 设计人员在零部件上定义关系时, 不再关心二维设计信息如何变成三维, 从而简化了设计建模的过程。采用 VGX 的长处在于, 原有的参数化基于特征的实体模型, 在可编辑性及易编辑性方面得到极大的改善和提高。当用户准备作预期的模型修改时, 不必深入理解和查询设计过程。与传统二维变量化技术相比, VGX 的技术突破主要表现在以下两个方面。

(1) VGX 提供了前所未有的三维变量化控制技术。这一技术可望成为解决长期悬而未决的尺寸标注问题的首选技术。因为传统面向设计的实体建模软件, 无论是变量化的、参数化的, 还是基于特征的或尺寸驱动的, 其尺寸标注方式通常并不是根据实际加工需要而设, 往往是根据软件的规则来确定。显然, 这在用户主宰技术的时代势必不能令用户满意。采用 VGX 的三维变量化控制技术, 在不必重新生成几何模型的前提下, 能够任意改变三维尺寸标注方式, 这也为寻求面向制造的设计(DFM)解决方案提供了一条有效的途径。

(2) VGX 将两种最佳的造型技术即直接几何描述和历史树描述结合起来, 从而提供了更为易学易用的特性。设计人员可以针对零件上的任意特征直接进行图形化的编辑、修改, 这就使得用户对其三维产品的设计更为直观和实时。用户在一个主模型中, 就可以实现动态地捕捉设计、分析和制造的意图。

在 SDRC 公司 1997 年 6 月 20 日宣布的新版软件 I-DEAS Master Series 5 中, 已经用到了这一技术。而且, 这一产品自在美国宣布之日起, 就已经在北美、欧洲和亚太等地区引起了不小的冲击波。

变量化技术既保持了参数化技术的原有的优点, 同时又克服了它的许多不足之处。它的成功应用, 为 CAD 技术的发展提供了更大的空间和机遇。而且 SDRC 这几年业务的快速增长, 也证明了它走的这条当时看起来是充满风险的研发道路是绝对正确的。无疑, 变量化技术成就了 SDRC, 也驱动了 CAD 发展的第四次技术革命。

1.2 CAD 系统的构成及分类

CAD 技术集中体现在 CAD 系统上。CAD 系统是最终用户用来实现设计思想、加速产品和工程设计的信息化工具。

CAD 系统是由硬件及软件组成的。一般地说, 硬件是 CAD 系统的基础, 软件是 CAD 系统的核心。在硬件上进行的设计与计算工作是通过软件来实现的。CAD 系统硬件构成如图 1-1 所示, 可以由计算机、存储设备、输入设备、输出设备、图形显示器等组成。

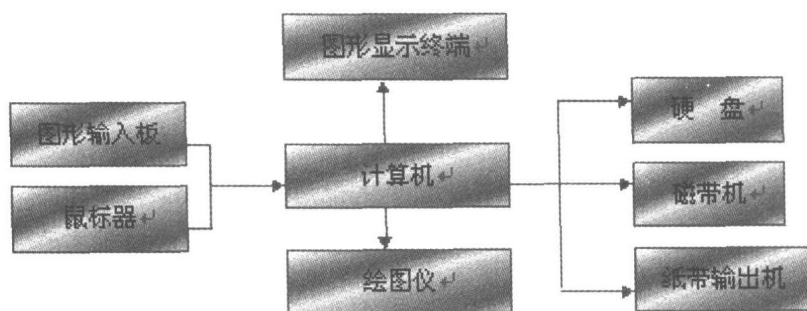


图 1-1 CAD 系统的硬件基本组成

CAD 系统从其体系结构讲可分为三个层次，如图 1-2 所示。基础层由计算机、外围设备和系统软件组成。系统软件还包括支撑软件、系统开发和维护的工具软件。随着网络的广泛使用，异地协同虚拟 CAD 环境将是 CAD 支撑层的重要发展趋势。应用层针对不同应用领域的需求有各自的 CAD 专用软件来支持相应的 CAD 工作。

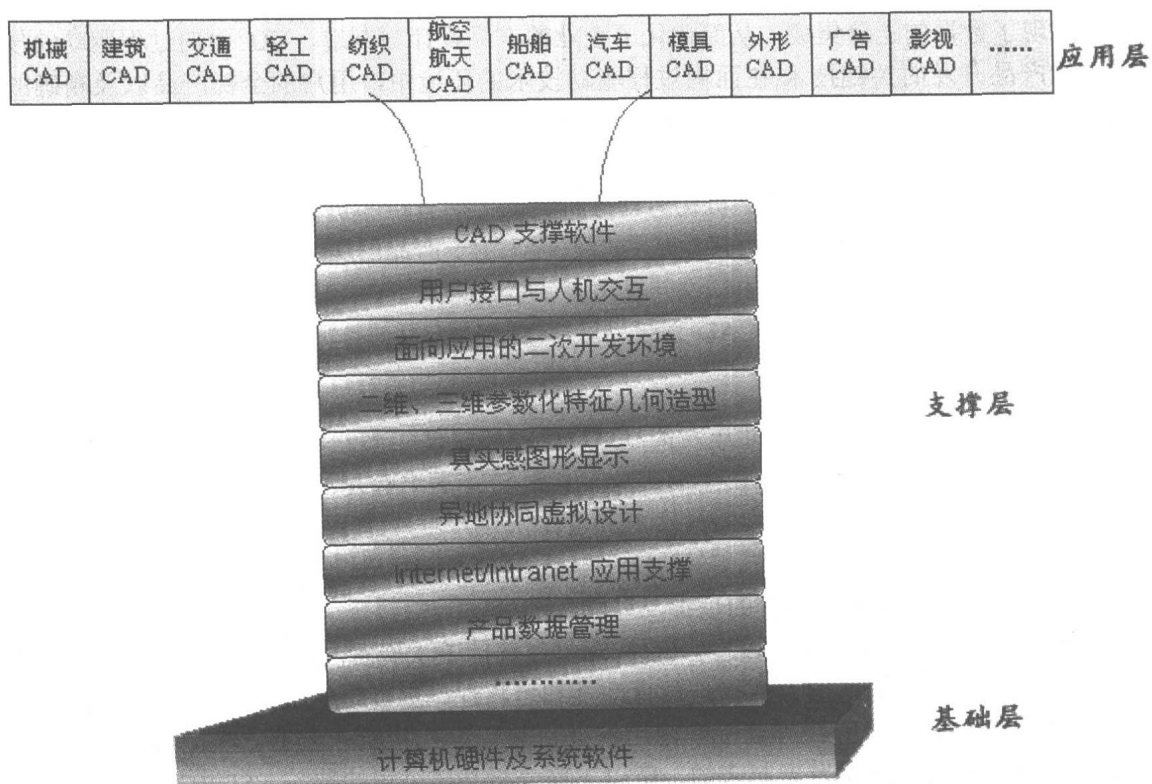


图 1-2 CAD 系统的三层结构

CAD 系统作为计算机应用系统的重要分支，经历了三个发展阶段，即：多用户共享一台计算机；一个用户使用一台计算机；一个用户共享多台计算机。从系统结构上看，CAD 系统大致可分为两类，即集中式系统和网络系统。集中式系统要求有功能较强的计算机，一次投资大，使用起来不灵活，在 20 世纪 80 年代中期以前应用比较广泛。自工作站和高性能微机问世以后，大多数用户采用工作站和微机网络系统来代替这类集中式 CAD 系统，形成网络化的系统。

1.3 当前主流三维 CAD 软件

20 世纪 80 年代以来,国际上已经推出了一大批通用的 CAD 集成软件,它们大多具有功能强大的 CAD、CAM 和 CAE 等功能,并提供集成化的环境,对企业从产品设计到加工的各种技术活动提供强有力的支持。除了本书将要为读者介绍的 Autodesk Inventor 外,下面我们将介绍另外一些流行的三维 CAD 软件。

1. Unigraphics (UG)

UG 是 UGS 公司的拳头产品。该公司是全球著名的 MCAD 供应商,主要为汽车与交通、航空航天、日用消费品、通用机械以及电子工业等领域通过其虚拟产品开发(VPD)的理念提供多级化的、集成的、企业级的包括软件产品与服务在内的完整的 MCAD 解决方案。

UG CAD/CAM/CAE 系统提供了一个基于过程的产品设计环境,使产品开发从设计到加工真正实现了数据的无缝集成,从而优化了企业的产品设计与制造。UG 面向过程驱动的技术是虚拟产品开发的关键技术,在面向过程驱动技术的环境中,用户的全部产品以及精确的数据模型能够在产品开发全过程的各个环节保持相关,从而有效地实现了并行工程。

该软件不仅具有强大的实体造型、曲面造型、虚拟装配和产生工程图等设计功能;而且,在设计过程中可进行有限元分析、机构运动分析、动力学分析和仿真模拟,提高设计的可靠性;同时,可用建立的三维模型直接生成数控代码,用于产品的加工,其后处理程序支持多种类型数控机床。另外它所提供的二次开发语言 UG/open GRIP, UG/open API 简单易学,实现功能多,便于用户开发专用 CAD 系统。

2. I-DEAS

I-DEAS 是美国 SDRC 公司开发的 CAD/CAM 软件。该公司是国际上著名的机械 CAD/CAE/CAM 公司,在全球范围享有盛誉,国外许多著名公司,如波音、索尼、三星、现代、福特等公司均是 SDRC 公司的大客户和合作伙伴。

I-DEAS 地位显赫,技术领先,在机械、电子、航空、航天、邮电、兵工、纺织等各行各业都有应用,是 CAD 领域少有的顶尖“人物”。

I-DEAS Master Series5 于 1997 年 6 月 20 日在美国首次展示,其最大的突破在于 VGX 技术的面市,极大地改进了交互式操作的直观性和可靠性。另外,该版本还增强了复杂零件设计、高级曲面造型以及有限元建模和耐用性分析等模块的功能。由于 SDRC 公司早期是以工程与结构分析为主逐步发展起来的,所以工程分析是该公司的特长。SDRC 公司近期还集中了优势力量大力加强数控加工功能的开发。

3. Unigraphics NX

EDS 于 2002 年 5 月发布了 Unigraphics NX 2,该软件是 EDS 下一代计算机辅助设计、制造和工程分析软件(CAD/CAM/CAE)的最新版本,也是 EDS 公司 NX 战略意义重大的里程碑。EDS 公司于 2001 年并购了 UGS 公司和 SDRC 公司,Unigraphics NX 也象征着世界两大领先的产品 Unigraphics 和 I-deas 的统一。

NX 功能增强的目标在于减少产品决策复杂性和使用户能在开发过程中使用数字化决

策。除了传统的减少产品投放市场的时间和费用, NX 能使制造业者利用知识捕获和重用来提高质量和进行改革。

4. Pro/Engineer

Pro/Engineer 系统是 PTC 公司的产品。PTC 公司提出的单一数据库、参数化、基于特征、全相关的概念改变了机械 CAD/CAE/CAM 的传统观念。利用该概念开发出来的第三代机械 CAD/CAE/CAM 产品 Pro/Engineer 软件将能把从设计至生产的全过程集成到一起, 让所有用户能够同时进行同一产品的设计制造, 即实现所谓的并行工程。

Pro/Engineer 系统主要功能如下:

- (1) 真正的全相关性, 任何地方的修改都会自动反映到所有相关地方。
- (2) 具有真正管理并发进程、实现并行工程的能力。
- (3) 具有强大的装配功能, 能够始终保持设计者的设计意图。

行为建模技术是从 Pro/Engineer 2000 i 开始推广的新技术。这种行为建模技术被业界作为第五代 CAD 技术。它通过把导出值 (比如容积) 包含到参数特征中, 再反过来使用它们生成和控制其他模型的几何图形。

2003 年 4 月 14 日, PTC 公司在上海举行新闻发布会, 宣布推出 Pro/Engineer Wildfire 野火版。作为用于产品开发领域的“全方位”一体化系统, Pro/ENGINEER Wildfire 野火版是 PTC 产品生命周期管理 (PLM) 解决方案的核心, 它主要的用户群是中小型的制造企业。在野火版中, PTC 公司更改了很多地方, 使得 Pro/E 的操作界面更加人性化。

5. MDT

MDT 的全称是 Mechanical Desktop, 是美国 Autodesk 公司于 1996 年推出的在 Windows 98/2000 或 Windows NT/XP 环境下的融二维绘图和三维造型为一体的全参数化机械设计软件系统, 2001 年推出了 MDT 6.0 中文版本。

MDT6 主要功能特点如下:

- (1) 基于特征的参数化实体造型。用户可以十分方便地完成复杂的三维实体造型, 可以对模型进行灵活的编辑和修改。
- (2) 基于 NURBS 的曲面造型。用户可以构造各种各样的复杂曲面, 以满足模具设计等对复杂曲面的要求。
- (3) 可以比较方便地完成几百甚至上千个零件的大型装配。
- (4) MDT 提供相关联的绘图和草图功能, 提供完整的模型和绘图的双向联结。

该软件的推出受到广大用户的普遍欢迎。至今为止, 全世界累计销售已达 7 万套, 国内已销售近千套。由于该软件与 AutoCAD 同时出自 Autodesk 公司, 因此两者完全融为一体, 用户可以方便地实现三维向二维的转换。MDT 为 AutoCAD 用户向三维升级提供了一个较好的选择。

6. CATIA

CATIA 是由法国著名飞机制造公司达索开发并由 IBM 公司负责销售的 CAD/CAM/CAE/PDM 应用系统。CATIA 起源于航空工业, 其最大的标志客户即美国波音公司, 波音公司通过 CATIA 建立起了一整套无纸飞机生产系统, 取得了重大的成功。

围绕数字化产品和电子商务集成概念进行系统结构设计的 CATIA V5 版本, 可为数字化企

业建立一个针对产品整个开发过程的工作环境。在这个环境中,可以对产品开发过程的各个方面进行仿真,并能够实现工程人员和非工程人员之间的电子通信。整个产品开发过程包括概念设计、详细设计、工程分析、成品定义和制造乃至成品在整个生命周期中的使用和维护。

作为世界领先的 CAD/CAM 软件, CATIA 可以帮助用户完成大到飞机小到螺丝刀的设计及制造,它提供了完备的设计能力:从二维到三维到技术指标化建模,同时,作为一个完全集成化的软件系统, CATIA 将机械设计、工程分析及仿真和加工等功能有机地结合,为用户提供严密的无纸工作环境从而达到缩短设计生产时间、提高加工质量及降低费用的效果。

7. SolidWorks

SolidWoks 公司的 SolidWoks 系列软件是一套功能相当强大的三维造型软件。三维造型是该软件的主要优势。该软件从最早的 SolidWoks 98 版开始,完全采用 Windows 的窗口界面,支持各种运算功能,可以进行实时的全相关性的参数化尺寸驱动。该软件的最新版本是新近推出的 SolidWoks2001Plus,它秉承了 SolidWoks 原有特征,如碰撞检查、智能装配等,又新增了如动态运动模拟、直观的干涉检查、照片级的产品处理效果、符合 GB 的二维图纸等功能,使得该软件的功能日益强大。

8. SolidEdge

机械 CAD 软件 SolidEdge,是美国 EDS 公司的一款中端机械 CAD 应用软件,适合于有自主设计产品的企业(公司),如:机械制造、模具(模型)设计、薄壁箱体设计制造、船舶设计制造、飞机设计、汽车设计、三维效果设计等方面。

SolidEdge 是基于 Windows 操作系统开发的,采用最新的 STREAM 技术,完全与 Microsoft 产品相兼容的真正技术指标化的三维实体造型系统。采用 Unigraphics Solutions 的 Parasolid V10 造型内核作为强大的软件核心,全面将中档 CAD 系统与世界上最具领先地位的实体造型引擎 Parasolid 融为一体。SolidEdge 是特别为机械设计专业人员开发的,全面应用 STREAM 技术,其强大的造型工具能帮助用户更快地将高质量的产品推入市场。STREAM 技术通过改善用户交互速度和效率从而全面优化工作效率。

1.4 CAD 外延系统技术的发展

1.4.1 计算机辅助工程分析技术

计算机辅助工程分析(CAE, Computer Aided Engineering)技术主要是实现结构分析和结构优化。采用 CAE 技术,即使在进行复杂的工程分析时也无须作很多简化,并且计算速度快、精度高。常见的工程分析包括:对质量、体积、惯性力矩、强度等的计算分析;对产品的运动精度,动、静态特征等的性能分析;对产品的应力、变形等的结构分析。

虽然 CAE 的方法有多种,但应用最广泛、最成熟的是有限元法,又称有限单元法。有限元法从 20 世纪 60 年代初开始在工程上应用到今天,已经历了 40 多年的发展历史,其理论和算法都经历了从蓬勃发展到日趋成熟的过程,现已成为工程和产品结构分析中(如航空、航天、机械、土木结构等领域)必不可少的数值计算工具,同时也是分析连续力学各类问题的一种重要手段。随着计算机技术的普及和不断提高,有限元分析系统的功能和计算精度都有很

大提高, 各种基于几何造型系统的有限元分析系统应运而生, 计算机辅助有限元分析 (CAFEA, Computer Aided Finite Element Analysis) 已成为 CAE 的重要组成部分, 是结构分析和结构优化的重要工具, 同时也是计算机辅助 4C 系统 (CAD/CAE/CAPP/CAM) 的重要环节。

有限元方法的基本思想是将结构离散化, 用有限个容易分析的单元来表示复杂的对象, 单元之间通过有限个节点相互连接, 然后根据变形协调条件综合求解。由于单元的数目是有限的, 节点的数目也是有限的, 所以称为有限元法。这种方法灵活性很大, 只要改变单元的数目, 就可以使求解的精确度改变, 得到与真实情况无限接近的解。有限元方法的基本理论要用到数学、力学等各学科的知识。

对于一个应用工程师来说, 他的目的是应用有限元方法去求解各种工程问题, 目前市场上各种功能强大的有限元程序包很多, 这些程序包使用方便, 不需要对有限元法进行很深入的了解, 即可应用这些程序求解工程问题。因此, 对于一般的工程技术人员来说, 只需要了解一些有限元的基本知识即可, 不需要对它的理论背景做更深入的研究。用有限元法进行工程分析的一般过程如图 1-3 所示。

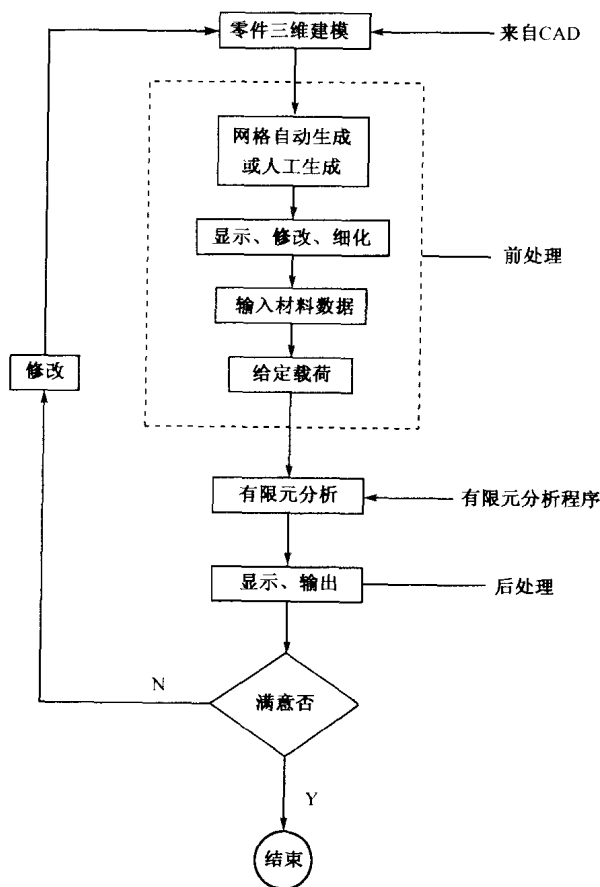


图 1-3 有限元法工作流程

根据经验, 有限元分析各阶段所用的时间为: 40%~45%用于模型的建立和数据输入, 50%~55%用于分析结果的判读和评定, 而分析计算只占 5%左右。针对这种情况采用计算机辅助设计技术来建立有限元分析的几何模型和物理模型, 完成分析数据的输入, 通常称这一过程为有限元分析的前处理。同样, 对有限元分析的结果也需要用 CAD 技术生成形象的

图形输出,如生成位移图、应力、温度、压力分布的等值线图,表示应力、温度、压力分布的彩色明暗图,以及随机载荷和温度载荷变化生成位移、应力、温度、压力等分布的动态显示图,通常称这一过程为有限元的后处理。在计算机辅助有限元分析的过程中,前、后处理是最主要的工作。

1.4.2 计算机辅助工艺设计技术

工艺设计是连接产品设计和产品制造的桥梁,对产品质量和制造成本有着重要的影响。20 世纪 60 年代末,人们开始计算机辅助工艺设计(CAPP, Computer Aided Process Planning)的研究开发,但由于工艺设计对千差万别的实际生产环境具有很强的依赖性和技术复杂性,CAPP 技术仍然是计算机辅助技术中的薄弱环节。

从 60 年代末到目前的三十年间,先后出现了在设计方式上不同的两类系统,即派生式系统和创成式系统。派生式系统已从单纯的检索式发展成为今天具有不同程序的修改、编辑和自动筛选功能的系统,融合了部分创成式的原则和方法。创成式系统的研究与开发始于 70 年代中期,而且很快得到普遍重视,被认为是很有前途的方法,但实践的结果并不理想。近年来,这两类系统都在发展中不断改进提高和互相渗透,从 80 年代开始探索将人工智能、专家系统技术等应用于 CAPP 系统的研究和开发,研制成功了基于知识的创成式 CAPP 系统或 CAPP 专家系统。近几年来,有人将人工神经网络技术、模糊推理以及基于实例的推理等用于 CAPP 之中,也有人提出了 CAPP 系统构造工具的思路,并进行了卓有成效的实践。还有人将传统派生法、传统创成法与人工智能结合在一起,综合它们的优点,构造了混合式 CAPP 系统。

CAPP 系统功能包括:

(1) 零件信息的输入:零件信息是系统进行工艺设计的对象和依据,计算机目前还不能像人一样识别零件图上的所有信息,所以在计算机内部必须有一个专门的数据结构来对零件信息进行描述,如何输入和描述零件信息是 CAPP 能否实用化的关键问题之一。

(2) 工艺决策:工艺决策是系统的控制指挥中心,它的作用是:以零件信息为依据,按预先规定的顺序或逻辑,调用有关工艺数据或规则,进行必要的比较、计算和决策,生成零件的工艺规程。

(3) 工艺数据/知识库:工艺数据/知识库是系统的支撑工具,它包含了工艺设计所要求的所有工艺数据(如加工方法、余量、切削用量、机床、刀具、夹具、量具、辅具以及材料、工时、成本核算等多方面的信息)和规则(包括工艺决策逻辑、决策习惯、经验等众多内容,如加工方法选择、排序规则等)。

(4) 人机界面:人机界面是用户的工作平台,包括系统菜单、工艺设计的界面、工艺数据/知识的输入和管理界面,以及工艺文件的显示、编辑与管理界面等。

(5) 工艺文件管理与输出:一个系统可能有成百上千个工艺文件,如何管理和维护这些文件,既是 CAPP 系统的重要内容,也是整个 CAD/CAPP/CAM 集成系统的重要组成部分。输出部分包括工艺文件格式化显示、存储、打印等。

1.4.3 计算机辅助装配工艺设计技术

在一个产品的寿命循环中,装配是个很重要的环节。装配的工作效率和工作质量对产品