

高艳明 李利 杨志刚 景宁 编著

精通 AutoCAD

三维设计与开发

本书特色

- ◆ 全书分为设计篇和开发篇两部分，由浅入深、循序渐进
- ◆ 设计篇主要包括三维设计基础知识（三维设计的基本理论、AutoCAD的三维坐标系变换和视图变换）、三维建模（线框、表面、实体模型）、三维编辑和修改、着色和渲染、工程图纸输出等内容
- ◆ 开发篇主要包括复杂工程项目的建模和组织、应用VBA、Visual LISP和ObjectARX进行的实体造型技术等内容
- ◆ 涵盖了AutoCAD在三维设计和开发方面的所有技术方法
- ◆ 本书适用于应用AutoCAD进行产品设计与开发的技术人员，也可作为计算机辅助设计等相关课程的教材或教学参考书



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

精通 AutoCAD 三维设计与开发

高艳明 李利
杨志刚 景宁 编著



中国铁道出版社

2002年·北京

(京)新登字 063 号

内 容 简 介

本书主要介绍应用 AutoCAD 2000 进行三维设计的基本理论、技术方法、应用技巧,以及开发手段,言简意赅地讲解了 AutoCAD 2000 用于三维设计的所有命令和工具,深入浅出地阐述了实际应用和二次开发中常用的方法和技术。

全书分为设计篇和开发篇两部分,设计篇主要包括三维设计基础知识(三维设计的基本理论、AutoCAD 的三维坐标系变换和视图变换)、三维建模(线框、表面、实体模型)、三维编辑和修改、着色和渲染、工程图纸输出等内容;开发篇主要包括复杂工程项目的建模和组织、应用 VBA、Visual LISP 和 ObjectARX 进行的实体造型技术等内容。基本上涵盖了 AutoCAD 在三维设计和开发方面的所有技术方法。

图书在版编目(CIP)数据

精通 AutoCAD 三维设计与开发/高艳明等编著. —北京:中国铁道出版社, 2002. 1

ISBN 7-113-04505-9

I. 精… II. 高… III. 计算机辅助设计-应用构件, AutoCAD IV. TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 096762 号

书 名: 精通 AutoCAD 三维设计与开发
作 者: 高艳明 李利 杨志刚 景宁
出版发行: 中国铁道出版社(100054, 北京市宣武区右安门西街 8 号)
策划编辑: 严晓舟
特邀编辑: 李富颖
封面设计: 孙天昭
印 刷: 北京化工印刷厂
开 本: 787×1092 1/16 印张: 20.25 字数: 482 千
版 本: 2002 年 1 月第 1 版 2002 年 1 月第 1 次印刷
印 数: 1~5000 册
书 号: ISBN 7-113-04504-9/TP·664
定 价: 28.00 元

版权所有 盗版必究

凡购买铁道版的图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社计算机图书批销部调换。

編 要 會

主编：高艳明 李 利 杨志刚 景 宁

编委：袁 博 马 洁 田林浩 王 静 曾 飞
索双有 许定杰 洪 磊 关 宁 陈海量
陈国华 杨志军 张 洁 陈 飞 叶 剑
康通博 黎 骅 黄振华 张 戈 郭燕婷
苏 瑞 文 锋 姜俊杰 姜仁武 陈江龙
裘伟力 陈贤淑 廖康良



前言

CAD 技术最早可以追溯到 20 世纪 40 年代，它是 20 世纪最杰出的科技成果之一。近年来，CAD 技术从最初的平面辅助绘图工具，迅速向智能化、三维化、集成化和网络化的方向发展。其中，三维技术以其突出的优越性，迅速成为 CAD 业界的发展主流。三维技术使工程设计实现了技术上的巨大飞跃，给工程技术人员带来了强烈的震撼，为工程师们的创意和想象力提供了最为广阔的空间，并从设计中得到无穷的乐趣。三维技术的应用，是 CAD 技术向纵深发展的必由之路。我们提起三维 CAD 的普及应用，就不能不提 AutoCAD。

AutoCAD 是当今最流行的 CAD 软件之一，在建筑和机械等工程设计中得到了极为广泛的应用。AutoCAD 2000 版本中，增加了支持多文档绘图、自动追踪 (AutoTrack)、新的对象捕捉、设计中心 (DesignCenter)、三维实时显示 (3D Orbit)、多视图区的多坐标系、实体的体、面和线编辑 (Solidedit) 等许多新功能，可以更方便地进行图形的绘制和设计，尤其使得三维绘图功能大大增强，可以进行实际的三维设计。它将用户和设计信息与外部世界联系起来，在强大的技术平台框架上，集成了许多用户一直追求的特性，构成了充满活力而又轻松易用的设计环境。通过创新的智能化轻松设计环境，使 AutoCAD 2000 在设计过程中变得更加透明，使用户能将精力更集中于设计而不是软件本身。

同时，AutoCAD 采用开放式的体系结构允许用户或二次开发商扩充新的功能和设计各种应用程序，随着系统功能的逐渐增强和版本的不断升级，提供了一系列开发环境和工具。AutoCAD 2000 提供了完整、高性能且面向对象的 CAD 程序开发环境，从菜单和工具栏直到每一个图形对象，都可以精确地定制，为用户和开发者提供了多种选择。这些选择包括基于 C++ 的 ObjectARX、基于 ActiveX Automation (AutoCAD 的 COM 接口) 的 VBA 和 Visual LISP，所有这些开发接口都能与 AutoCAD 的 ActiveX Automation 或 COM 接口对象协同工作。正是由于这些第三代的开发环境和工具的支持，使 AutoCAD 本身不仅是一个轻松的设计环境，而且是一个强大的开放式的面向对象的 CAD 技术平台。

因此，作为一名工程技术人员，掌握 AutoCAD 的设计技术已经成为一项基本技能；能够精通 AutoCAD 特别是在三维方面的设计和开发技术更是提高工作效率、进行创新设计的必备能力。本书的写作目的正是要帮助读者掌握应用 AutoCAD 重点是在三维方面的设计技术和二次开发方法，希望读者通过本书的指导，达到熟练乃至精通的程度。

本书以中、高级用户为读者对象，假设读者具有较强的自学能力，有一定的编程基础，已经能够熟练地使用 AutoCAD 进行一般的绘图操作。因此，本书主要介绍应用 AutoCAD 2000 进行三维设计的基本理论、技术方法、应用技巧以及开发手段，言简意赅地讲解了 AutoCAD 2000 用于三维设计的所有命令和工具，深入浅出地阐述了实际应用和二次开发中常用的方法和技术。目前市场上介绍 AutoCAD 的书籍已经很多，所以本书不再对所有的命令进行详细地讲解，而是简明扼要地列举出相关的命令、工具和系统变量，具体操作用户可以自己在

AutoCAD 上练习。另外需要指出的是,充分了解 AutoCAD 的相关系统变量是十分有必要的,因为不仅在设计时要控制这些变量,而且在开发阶段可以使用程序调整相应的系统变量以得到理想的显示。

全书分为设计篇和开发篇两部分,设计篇主要包括三维设计的基础知识(三维设计的基本理论、AutoCAD 的三维坐标系变换和视图变换)、三维建模(线框、表面、实体模型)、三维编辑和修改、着色和渲染、工程图纸输出等内容;开发篇主要包括复杂工程项目的建模和组织、应用 VBA、Visual LISP 和 ObjectARX 进行的实体造型技术等内容。基本上涵盖了 AutoCAD 在三维设计和开发方面的所有技术方法。

作者长期从事机械产品 CAD 的教学和科研工作,较长时间以来使用 AutoCAD 进行产品设计和基于 AutoCAD 平台的应用软件开发,对该软件的特点、功能及应用有较深入的理解和体会。本书不仅向读者介绍了 AutoCAD 的设计方法和开发技术,还引用了作者在开发工作中的大量实例,并且给出了应用 AutoCAD 进行二次开发的经验和体会,相信这些会给读者以有益的帮助。

本书由大连理工大学高艳明、李利,大连铁道学院杨志刚、景宁编写,参加编写和排版工作的还有张永利、马自勤、何敏、黄文丽、冯毅、苏春燕、廖康良、陈贤淑、陈小娟等同志。该书由大连理工大学机械学院博士生导师田树军教授主审。此外,本书在编写过程中得到了领导和同事的大力支持,中国铁道出版社计算机图书项目中心的领导和编辑为本书的顺利出版给予了热情帮助和具体指导,在此谨向他们表示由衷的谢意。

虽然作者长期从事 AutoCAD 的使用和开发,但限于时间和著者写作水平,疏漏在所难免,不当之处,恳请读者提出宝贵意见。

编者

2001 年 7 月

目 录

第 1 章	AutoCAD 三维设计基础知识	1
1-1	三维 CAD 技术基础	1
1-1-1	设计方法发展历程	1
1-1-2	三维设计的基本概念	2
1-1-3	三维 CAD 的先进设计技术	4
1-1-4	三维设计的优点和局限性	6
1-2	AutoCAD 2000 的三维设计功能简介	7
1-2-1	AutoCAD 2000 简介	7
1-2-2	AutoCAD 的三维能力	10
1-2-3	AutoCAD 的局限	10
1-2-4	AutoCAD 2000 的 3D 命令	11
1-3	三维坐标系	14
1-3-1	世界坐标系和右手定则	14
1-3-2	坐标格式	15
1-3-3	使用对象捕捉	16
1-3-4	使用点过滤器	18
1-4	三维空间的坐标系变换	18
1-4-1	用户坐标系的变换命令 (UCS)	19
1-4-2	坐标系图标的含义和控制 (UCSICON)	21
1-4-3	坐标系的管理 (UCSMAN)	21
1-4-4	UCS 下绘制 3D 图形	22
1-5	三维空间的视图变换	27
1-5-1	设置观察点 (VPOINT 命令)	27
1-5-2	保存和恢复已命名的视图 (VIEW 命令)	29
1-5-3	观察 UCS 的平面视图 (PLAN 命令)	29
1-5-4	视口的分割 (VPORTS 命令)	30
1-5-5	三维动态观察器 (3DORBIT 命令)	32
1-5-6	三维动态视图 (DVIEW 命令)	33
第 2 章	AutoCAD 三维线面模型的建立	37
2-1	三维线框模型的建立	37
2-1-1	在三维空间中的二维对象	37
2-1-2	在三维空间编辑二维对象	39

2-1-3	三维多段线 (3DPOLY 命令)	41
2-1-4	三维多段线的编辑 (PEDIT 命令)	41
2-1-5	样条曲线 (SPLINE 命令)	42
2-1-6	样条曲线的编辑 (SPLINEDIT 命令)	47
2-1-7	三维线框模型实例: 弹簧	52
2-2	三维表面模型的建立	53
2-2-1	2.5D 模型	54
2-2-2	三维平面	57
2-2-3	创建预定义三维曲面网格 (3D 命令)	63
2-2-4	创建矩形网格 (3DMESH 命令)	65
2-2-5	创建直纹曲面网格 (RULESURF 命令)	66
2-2-6	创建平移曲面网格 (TABSURF 命令)	67
2-2-7	创建旋转曲面网格 (REVSURF 命令)	69
2-2-8	创建边界定义曲面网格 (EDGESURF 命令)	71
2-2-9	三维表面模型实例: 灯座和灯罩	73
2-3	三维表面模型的编辑	75
2-3-1	用 EDGE 命令修改三维面	75
2-3-2	用 PEDIT 命令编辑曲面	76
2-3-3	用夹点编辑网格顶点	78
2-3-4	用 STRETCH 命令编辑网格	78
2-3-5	用 DDMODIFY 或 PROPERTIES 命令编辑网格	79
2-3-6	三维网格的分解	79
第 3 章	AutoCAD 三维实面模型的建立	81
3-1	三维实体造型技术	81
3-1-1	基本体素造型	82
3-1-2	基于母线生成实体	86
3-1-3	创建复合实体——布尔运算	90
3-2	通用三维编辑命令	94
3-2-1	旋转三维对象 (ROTATE3D 命令)	94
3-2-2	创建三维对象的阵列 (3DARRAY 命令)	95
3-2-3	创建三维对象的镜像 (MIRROR3D 命令)	95
3-2-4	三维对象的对齐 (ALIGN 命令)	95
3-3	三维实体的编辑	96
3-3-1	为实体圆角 (FILLET 命令)	97
3-3-2	为实体倒角 (CHAMFER 命令)	98
3-3-3	剖切实体 (SLICE 命令)	98
3-3-4	切割实体 (SECTION 命令)	99
3-3-5	三维实体面编辑	100



3-3-6	三维实体编辑	103
3-3-7	三维实体边编辑	104
3-3-8	三维实体的显示控制	105
3-3-9	实体分析	108
3-3-10	实体的组合编辑	109
3-4	实体建模实例	109
第4章	三维模型的着色和渲染	113
4-1	三维模型的消隐 (HIDE 命令)	114
4-2	维模型的着色 (SHADEMODE 命令)	115
4-3	三维模型的渲染 (RENDER 命令)	116
4-3-1	渲染类型 (RPREF 命令)	117
4-3-2	渲染质量	118
4-3-3	渲染目标	120
4-3-4	渲染背景 (BACKGROUND 命令)	120
4-3-5	渲染窗口	121
4-3-6	进行渲染 (RENDER 命令)	121
4-4	设置光源 (LIGHT 命令)	121
4-4-1	光源的类型	121
4-4-2	用光原则	123
4-4-3	添加光源	124
4-4-4	删除和修改光源	126
4-4-5	使用阴影	126
4-5	设置渲染场景 (SCENE 命令)	127
4-6	材质及材质库	127
4-6-1	材质信息	128
4-6-2	材质贴图	129
4-6-3	设置材质 (RMAT 命令)	131
4-6-4	显示对象材质类型 (SHOWMAT 命令)	134
4-6-5	管理材质库 (MATLIB 命令)	134
4-6-6	设置渲染对象几何特性 (SETUV 命令)	136
4-7	配景对象	137
4-7-1	新建配景 (LSNEW 命令)	137
4-7-2	编辑配景 (LSEEDIT 命令)	138
4-7-3	配景对象库 (LSLIB 命令)	138
4-8	雾化和深度效果 (FOG 命令)	139
4-9	渲染参数统计信息 (STATS 命令)	140
4-10	相关命令	140
4-11	AutoCAD 与 3DS MAX 的配合使用	140

4-11-1 使用 3DS MAX 渲染 AutoCAD 的模型	141
4-11-2 AutoCAD 与 3DS MAX 的数据交换	141
第 5 章 图纸空间和图形输出	143
5-1 模型空间和图纸空间	144
5-2 使用布局 (LAYOUT 命令)	146
5-2-1 布局向导 (LAYOUTWIZARD 命令)	146
5-2-2 布局设置 (PAGESETUP 命令)	146
5-2-3 使用布局模板	148
5-3 标题栏的建立和插入	148
5-4 建立视口 (MVIEW 命令)	149
5-5 视图的布局	151
5-6 图纸设置	151
5-6-1 图纸设置的一般步骤	151
5-6-2 使用 MVSETUP 命令进行图纸设置	154
5-7 对实体模型进行图纸设置	155
5-7-1 使用 SOLVIEW 命令设置实体的视图	156
5-7-2 使用 SOLDRAW 命令绘制浮动视口中的实体轮廓图	158
5-7-3 使用 SOLPROF 命令生成实体轮廓	159
5-7-4 获得彻底的平面图形	160
5-7-5 通过输入输出 WMF 文件获得三维模型的平面轮廓图	160
5-8 配置打印机和绘图仪 (CONFIG 命令)	161
5-8-1 打印机管理器	161
5-8-2 打印机配置编辑器	161
5-9 打印图形	163
5-9-1 理解打印	163
5-9-2 打印图形 (PLOT 命令)	164
5-9-3 打印样式	167
5-9-4 电子打印 (ePlot)	169
5-9-5 批处理打印	169
5-9-6 使用脚本文件	169
5-10 AutoCAD 2000 的其他输入文件格式 (IMPORT 命令)	169
5-11 AutoCAD 2000 的其他输出文件格式 (EXPORT 命令)	170
第 6 章 复杂工程项目的建模和组织	173
6-1 复杂工程项目的组织和管理	173
6-1-1 为项目创建专门的目录	174
6-1-2 图层、颜色和线型的组织和管理	174
6-1-3 使用图块功能	174
6-1-4 使用外部参照功能	175



6-1-5	清除图形中多余的图块、线型、图层等 (PURGE 命令)	177
6-2	多文档环境 (MDE)	177
6-2-1	在不同图形之间拷贝实体对象或实体对象的特性	177
6-2-2	控制多个图形的显示	178
6-2-3	关闭多文档环境	178
6-3	使用 AutoCAD 设计中心 (ADC)	178
6-3-1	查看图形及图形中的元素	179
6-3-2	使用控制板	179
6-3-3	使用 AutoCAD 设计中心打开图形	180
6-3-4	使用 AutoCAD 设计中心的查找功能	180
6-3-5	将图形元素插入打开的图形	180
6-4	使用特性窗口和对象特性工具栏 (PROPERTIES)	182
6-4-1	对象特性工具栏 (Object Properties)	182
6-4-2	对象特性 (Properties) 窗口	182
6-4-3	对象特性匹配 (MATCHPROP 命令)	183
6-5	访问外部数据库 (DBC)	183
6-5-1	AutoCAD 数据库的连通性	183
6-5-2	数据库的配置	184
6-5-3	数据库链接管理器 (DBCONNECT 命令)	184
6-6	定制和扩展 AutoCAD	185
6-6-1	定制简化命令	186
6-6-2	定制工具栏	186
6-6-3	定制菜单	188
6-6-4	定制线型和填充图案	192
6-6-5	使用 DIESEL 宏语言来扩展 AutoCAD	193
6-6-6	使用第三方开发的软件来扩展 AutoCAD	197
6-7	提高系统运行速度的几项措施	198
第 7 章	AutoCAD 2000 开发工具	199
7-1	命令脚本	200
7-1-1	命令脚本的编写方式	200
7-1-2	命令脚本的执行方式	201
7-1-3	用命令脚本实现幻灯片的放映	202
7-2	ActiveX Automation	203
7-2-1	理解 ActiveX Automation	203
7-2-2	AutoCAD 对象模型	205
7-2-3	ActiveX Automation 运行实例	209
7-3	VBA for AutoCAD	210
7-3-1	VBA 应用程序开发环境	211

7-3-2	VBA 在 AutoCAD 三维设计中的应用	216
7-4	Visual LISP	227
7-4-1	Visual LISP 简介	227
7-4-2	Visual LISP 集成开发环境	227
7-4-3	Visual LISP 中的 ActiveX 对象	231
7-4-4	将反应器附着到 AutoCAD 图形上	235
7-4-5	Visual LISP 在三维设计中的应用	239
7-5	ObjectARX	244
7-5-1	ARX 能力强	245
7-6	JAVA 的支持	245
第 8 章	ObjectARX 程序中的实体造型技术	249
8-1	ObjectARX 应用程序设计概述	249
8-1-1	ARX 应用程序	249
8-1-2	ObjectARX 程序设计技术应用	250
8-1-3	ObjectARX 程序开发环境	250
8-1-4	ObjectARX 类库	253
8-1-5	ARX 应用程序的基本结构	254
8-1-6	ARX 应用程序的装载和运行	258
8-2	AutoCAD 数据库入门	259
8-2-1	AutoCAD 数据库概述	259
8-2-2	基本的数据库对象	260
8-2-3	在 AutoCAD 中创建对象	261
8-3	基本三维实体生成方法	263
8-3-1	基本三维实体生成方法	263
8-3-2	生成基本三维实体的成员函数介绍	263
8-3-3	生成基本三维实体程序实例	265
8-4	基于二维对象生成三维实体的程序设计方法	268
8-4-1	将二维对象挤出成三维实体	268
8-4-2	将二维对象旋转成三维实体	268
8-5	复杂零件的三维实体造型方法	269
8-5-1	三维实体的布尔运算及布尔运算函数	269
8-5-2	三维实体的查询	269
8-5-3	复杂零件的三维实体造型实例	270
8-6	三维实体参数化绘图程序设计实例	278
8-6-1	尺寸驱动法设计实例	279
8-6-2	程序驱动法设计实例	304

AutoCAD 三维设计基础知识

本章将介绍三维设计的基本概念和AutoCAD 2000的三维特性,阐述在三维空间操作时如何使用AutoCAD的工具。读完本章后,你将会:

- ⊕ 理解三维设计基本概念和设计技术、三维设计的优点和局限性。
- ⊕ 熟悉计算机辅助造型(线框、表面、实体、特征、产品、仿生模型)的理论基础。
- ⊕ 了解 AutoCAD 2000 在三维设计方面的综合能力。
- ⊕ 理解 AutoCAD 世界坐标系(WCS)的特性,熟悉如何设置坐标系的位置和三维模型在坐标系中的方向。
- ⊕ 掌握如何管理和操作 AutoCAD 用户坐标系(UCS)。
- ⊕ 熟悉多视图与多视口的设置和操作。
- ⊕ 能够在三维空间移动和设置在任意方向观察的视点以及创建逼真的透视图。

1-1 三维 CAD 技术基础

1-1-1 设计方法发展历程

设计方法随着科学技术的不断发展经历了几个不同的发展阶段。在工业革命初期,设计过程是:首先由工程师在作坊中直接指挥工匠进行加工和修改,直至得到满意的产品后,再请绘图师测绘产品,来获得设计图纸。到20世纪初,人们逐渐认识到,如果先在设计图纸上进行设计和修改,直到满意后,再进行加工,将会大大缩短设计周期、提高设计质量、降低设计成本,并开始采用这种设计方法,同时称这种设计方法为图纸设计方法,一直沿用至今。

尽管相对于先前在作坊中的设计方法,图纸设计方法有很大进步,但仍然存在许多不足。其中最大的不足是,要进行三维和二维的转换。虽然实际产品是三维立体的,但是,由于纸张是二维平面的,出于表达的需要,设计时,设计师不仅要构思产品的形状,而且还要在脑海中把构思的产品的立体形状,转化为便于在纸张上表达的二维视图。直到目前,仍然把这种三维和二维之间的转化作为设计师必须掌握的一项基本技术,并把机械制图称为工程语言。设计的本质在于创新。这种三维和二维之间的转换往往会打断设计师的创新意识流,干扰设

计思维进程。不仅如此,这种转换还大大增加了设计师的脑力劳动量,并且成为把没有受到机械制图训练的人拒之设计大门之外的拦路虎,成为设计师和不懂机械制图的人们相互交流的障碍。因而,直接进行三维设计已成为人们的迫切需要。

近年来,由于计算机技术、三维彩色图像仿真技术和软件编程技术的飞速发展,计算机绘图也从二维平面发展到三维立体图,计算机辅助设计也已从二维设计发展到三维设计。比尔·盖茨在《未来之路》一书中提到,在波音 777 喷气式飞机的设计中,波音公司不再使用蓝图和模型,而直接使用数字三维模型。设计师不仅可以在计算机屏幕上看到设计结果,还可看到其内容的各种不同形式,并能用在纸张上无法进行的方式对设计中的任意部分进行修改。使用数字文件,波音公司节省了近 10 万张图纸,以及复制所需的人力和时间。三维设计已成为现实。目前,三维设计不仅可以在工作站上进行,而且还可以在微机上进行。近年来已经推出多种在微机上进行三维设计的软件,AutoCAD 绘图软件就是优秀的三维设计软件之一。

从产品构思、概念表达、结构设计、性能分析,到最终的技术要求和制造工艺的编制等,设计中的各个环节均需要利用设计师运用设计知识,经过计算、分析、综合等创造性思维过程,将设计要求转化为对产品结构、组成、性能参数、制造工艺等的定义和表示。设计结果以一定的标准形式表达,如二维工程图或产品三维模型。由于设计过程的这种复杂性,CAD 技术随着计算机技术的发展,在从二维绘图向三维设计发展的基础上,逐渐增加了如装配设计、机构设计与分析、有限元分析、数控加工与仿真等许多功能,发展成为由 CAD/CAE/CAM/PDM 等组成的 C3P 综合设计系统。

随着网络技术、Internet 技术和可视化技术的进步,CAD/CAM 系统广泛采用了更加开放的体系结构、基于 Web 的信息管理和智能化设计等技术,从单纯的辅助设计发展成为集辅助设计、分析计算、智能决策、产品可视化、数据交换等为一体的综合设计体系,CAD/CAM 的应用从专业的设计领域发展成为产品全生命周期的设计与管理,并走向更多普通设计师的桌面。

多媒体技术的崛起和各种传感技术的高速发展极大地推动了虚拟现实(Virtual Reality-VR)技术的迅速成熟,市场上支持 VR 技术的软硬件越来越多。这种技术已经在许多行业找到了应用的领域,并已被用于产品设计之中。虚拟设计是以虚拟现实技术为基础,以机械产品和建筑物为对象的设计手段。借助这样的设计手段,设计人员可以通过多种传感器与多维的信息环境进行自然地交互,实现从定性和定量综合集成环境中得到感性和理性的认识,从而帮助深化概念和萌发新意。实践证明:虚拟设计在产品的概念设计、装配设计、人机工程学评价等方面有着特别重要的意义。

1-1-2 三维设计的基本概念

在 AutoCAD 中建立的三维对象一般称为模型(model),建立一个模型的过程称为造型(modeling)。从根本上说,在 CAD/CAM 系统中只有两种模型,即内部模型和外部模型。通常将在计算机内部按某种数据结构形式表示、并能以数据文件或图形方式显示或输出的模型称为内部模型;而在计算机外部,即在设计者头脑中存在的模型,则称为外部模型。对设计和加工一体化的要求而言,使内、外两种模型完全一致是最理想的情况。但在目前的技术条件下,由于受软硬件环境的限制,实现这一点还有点困难。

内部模型按所构造对象的不同,总起来可以分为规则性体模型和非规则形体模型两大



类。规则形体模型可以用欧氏几何进行描述,如平面多面体、二次曲面体、雕塑曲面体等,统称为几何模型。它是由几何信息和拓扑结构两部分组成,通常可以分为线框(Wireframe)、表面(Surface)和实体(Solid)三种模型形式。对此已经有了一整套的理论和方法,并有许多商品化的几何造型系统供用户使用。非规则形体模型如山水、草木、云烟等则不能用欧氏几何加以描述,因此需通过有别于构造几何模型的方法才能在计算机内表示它们的模型。

当然,现实世界中的客观对象往往会更精彩,很难完全真实地用计算机内部的数据结构表达其所有的信息。而且,点、线、面形式的几何表达已远远难以满足设计和修改的方便性以及CAD/CAPP/CAM的集成所需。近年来发展起来的特征模型、产品模型以及尚在探索中的仿生模型等新技术,皆是出于这方面的努力。完全可以相信,随着人们的认知能力、知识表达手段以及计算机硬、软件实现等技术的进一步提高,计算机中展示的模拟世界必将越来越直观和完整。

1. 线框模型

线框模型是CAD技术发展过程中最早应用的一种三维模型。这种模型由一系列空间直线、圆弧和点组合而成,用来描述产品轮廓外形,具有数据结构简单,模型数据量小及易于处理等特点。曾广泛应用于厂房布局、管路布设、机构模拟、干涉检验、产品几何形貌的粗略设计、机床加工刀具轨迹分析和有限元网络的自动生成等。但线框模型中线之间缺少表示面的数据,而且分不清物体的内部和外部。线框模型显示速度快,但不能进行消隐、着色或渲染等操作。

2. 表面模型

若把线框模型中棱线包围的部分定义为面,所形成的模型就是表面模型了。它比线框模型高级,其数据结构是在线框模型的基础上再附加一些指针,使棱线有序地连接。采用表面模型,形体的边界可以全部定义了,但是形体的实心部分在边界的哪一侧是不明确的。表面模型由于比线框模型更高级、更优越,以及易于在微机上实现等特点,在工程领域有广泛的应用场合,特别是进行类似汽车外形设计这种有复杂表面设计的工作。

AutoCAD提供的表面模型是使用多边形网格来定义的,它可以是完整的平面,也可以是无数小平面对组合起来的近似曲面。表面模型可以消隐、着色和渲染。

3. 实体模型

几何模型发展到实体模型阶段,封闭的几何表面构成了一定的体积,形成了几何形状的体的概念,如同在几何体的中间填充了一定的物质,使之不仅具有表面的信息,可以进行消隐、着色和渲染,而且还存储了模型的质量、体积、重心、转动惯量等信息,用户可以对它进行钻孔、挖槽、倒角以及布尔运算等操作,还可以进行强度、稳定性甚至有限元的分析。使用实体模型的优点可以概括为:

- ⊕ 完整地定义了立体图形,能区分内外部。
- ⊕ 能进行消隐和碰撞干涉校验。
- ⊕ 能提供清晰的剖面图。
- ⊕ 能准确计算质量特性和有限元网格。
- ⊕ 可以加入颜色选择和色调浓淡控制。

⊕ 方便了机械运动的模拟。

4. 特征模型

所谓“特征”，指的是所有与产品设计制造乃至整个产品生命周期有关的工程概念。一般分为形体特征（Form Feature）、精度特征（Precision Feature）、材料特征（Material Feature）和技术特征（Technological Feature）四部分来表示。所谓形体特征，是具有工程意义的几何抽象，它是“面”的概念，而不是“体”的信息，如螺纹、圆孔、键槽等。精度特征指产品的名义几何（Nominal Geometry）所允许的偏差，主要包括尺寸误差、形状公差及表面粗糙度等，它决定加工产品时的切削速度、工艺流程等参数。材料特征是那些与产品的材料型号、等级、热处理要求等有关的参数。目前，形体特征技术在 CAD 中的应用已初见成效。

基于特征的产品模型可以采用各种特征来进行产品设计，除了可以提高设计效率外，还可以通过特征表达各种设计约束和关联，从而在产品模型中更好地表达设计者的设计意图。

5. 产品模型

产品在生命周期的不同阶段，如设计、分析、修改、规划、制造及装配等，所涉及到的产品特征和参数不尽相同，使得信息的自动传递和交换难以进行，这只有通过产品模型的方式才能予以解决。产品模型应满足以下要求：完整性、唯一性、通用性、逻辑性、并行性。

为适应以上需要，一个新的国际标准正由 ISO 加紧制订和具体实现中，这就是所谓的产品模型数据表达与交换标准（Standard for the Exchange of Product Model Data——STEP）。它是由初始图形交换规范（Initial Graphics Exchange Specification——IGES）、产品定义数据接口（Product Definition Data Interface——PDDI）、产品数据交换规范（Product Data Exchange Specification——PDES）等标准进一步发展的结果，对于 CAD/CAPP/CAM，特别是 CIMS 中的信息集成具有及其重要的意义。

6. 仿生模型

我们知道，零件的设计需结合它的功能和使用场合进行。例如设计一个阀芯，就得考虑与之对应的阀套相匹配，而阀套的设计尚需进一步考虑置身其外的阀体的情况。如此这般，就好像生物体结构，环环相扣，牵一发而动全身。因此，所设计产品的模型若能具备互约束性、自决策性、分散管理性和柔性，则将大大简化再设计的工作量。

这种建模新技术目前正处于探索阶段，尚无详细的技术文献报道，但无疑具有很好的应用前景。

1-1-3 三维 CAD 的先进设计技术

1. 变量化、参数化技术

由于设计过程的创造性和复杂性的特点，现在的 CAD 系统都不仅仅只是一个二维绘图或三维造型的工具，而都或多或少地采用了一些智能技术，以更好地辅助设计过程。变量化、参数化技术就是其中之一。



变量化、参数化技术简单地讲就是在不同的几何元素或特征之间建立各种尺寸关联或几何约束关系，使设计者可以更好地表达设计意图，更加灵活方便地对模型进行修改。

零件上的特征主要通过参数和几何约束相互关联。参数化技术允许设计者在创建特征时灵活地定义特征尺寸标注，并在特征尺寸间通过方程式建立数学关联。设计者可以通过修改驱动尺寸来修改模型，由系统自动求解其他尺寸的值，这种技术又被称为尺寸驱动技术。特征间的几何约束关系是指特征上的几何元素间具有的二维或三维的约束关系，例如平行、垂直、相切、水平、竖直、同心、共线、重合等。当模型被修改时，可以自动保持设计者的设计意图不变。

2. 动态引导技术

在产品的三维设计中也提供了用户交互操作中的动态引导技术。例如系统可以随鼠标的移动自动显示当前选中的几何体；系统自动提示图形中的一些特殊位置；当几何图形间形成一定位置关系时，系统自动加入几何约束；在标注特征尺寸时自动根据所选的几何元素的位置关系自动推导出尺寸类型和数值。利用动态引导技术，设计者可以很方便地找到特定位置，提高作图效率。

3. 装配设计

利用已经定义好的零件进行装配部件的设计过程成为装配设计，这样的设计过程也称为自底向上的装配设计。装配设计的主要步骤包括添加零件或部件实例、建立零件和部件间的装配关系、管理装配的零部件和装配分析。

在装配体中的零部件是通过配合关系相互关联的。常用的配合关系包括插入、对齐、配合、相切等。通过配合关系可以约束零件间的相对位置关系。

4. 机构设计

利用 CAD 系统的机构设计模块可以进行产品的运动学和动力学分析和仿真。在产品的装配模型基础上，加入运动关系式，就可以表示产品的机构运动关系。通过设置主动件的运动形式，可以对产品进行运动分析和仿真，求解各个零部件的位置、速度和加速度，同时检查在运动过程中的干涉和间隙。如同时加入各个零部件的载荷，就可以进行一些动力学特性的分析，求解各运动部件的受力、加速度等。产品的机构设计是进行产品的运动性能和动力学性能分析计算的有效手段。

5. 曲面造型基础

在工业应用的许多领域还需要对具有复杂曲面外形的产品进行设计，因此，大多数的三维 CAD 系统都具有一定的复杂曲面造型能力，一般都采用基于 NURBS 曲面的曲面描述，曲面模型与实体模型相互兼容。

在复杂曲面的造型过程中也可以利用尺寸、几何约束和变量化技术对曲面进行灵活控制，并采用各种曲面编辑工具进行曲面的编辑和修改。在曲面造型中还可以利用各种曲面分析工具对曲面质量进行评价，如分析曲面上任意处的曲率、高斯参线、平均曲率、主曲率、切矢、法矢等，并检查曲面的连接、拼合等。