

CAD/CAM技能型 人才培养规划教材

本书第1版被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材

UG NX 12 三维造型



技术基础

(第3版)

单岩 吴立军 蔡娥 编著

- 三维建模基础知识
- UG NX 12基本操作
- 草图绘制及实体建模
- 曲线绘制及编辑
- 曲面建模、编辑及分析
- 装配功能
- 工程制图
- 同步建模
- 三维造型思路及应用案例

清华大学出版社

CAD/CAM 技能型人才培养规划教材

UG NX 12 三维造型技术基础

(第 3 版)

单岩 吴立军 蔡娥 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以 UG NX 12 为蓝本,详细介绍了三维造型技术的基础知识和相关技巧,全书共分 11 章,按三维造型技术构成划分为 3 个教学单元,即三维建模基础知识(第 1 章)、主流三维造型软件 UG NX 功能操作(第 2~第 10 章)、三维造型基本思路与应用实例(第 11 章)。

本书第 1 版被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,也是 SIEMENS PLM SOFTWARE 公司 GO PLM 项目推荐教材。本书理论联系实际,可操作性强,可用于高等院校机械及相关专业三维造型课程教学,也可供机械行业技术人员自学三维造型技术使用。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

UG NX 12 三维造型技术基础 / 单岩, 吴立军, 蔡娥 编著. —3 版. —北京: 清华大学出版社, 2020
CAD/CAM 技能型人才培养规划教材
ISBN 978-7-302-53426-6

I. ①U… II. ①单… ②吴… ③蔡… III. ①计算机辅助设计—应用软件—教材 IV. ①TP391.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2019)第 179418 号

责任编辑: 刘金喜

封面设计: 范惠英

版式设计: 思创景

责任校对: 成凤进

责任印制: 李红英

出版发行: 清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编: 100084

社 总 机: 010-62770175 邮 购: 010-62786544

投稿与读者服务: 010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈: 010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者: 三河市铭诚印务有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185mm×260mm 印 张: 21.75 字 数: 529 千字

版 次: 2008 年 11 月第 1 版 2020 年 1 月第 3 版 印 次: 2020 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 59.80 元

产品编号: 074927-01

前 言

作为制造业工程师最常用的、必备的基本技术，工程制图曾被称为是“工程师的语言”，也是所有高校机械及相关专业的必修基础课程。然而，在现代制造业中，工程制图的地位正在被一个全新的设计手段所取代，那就是三维造型技术。

随着信息化技术在现代制造业中的普及和发展，三维造型技术已经从一种稀缺的高级技术变成制造业工程师的必备技能，并替代传统的工程制图技术，成为工程师们的日常设计和交流工具。与此同时，各高等院校相关课程的教学重点也正逐步由工程制图向三维造型技术转变。

本书专为高等院校机械及相关专业三维造型课程教学编写，集成了浙江大学多年来在三维造型应用技术方面的教学、培训及工程项目经验。全书共分 11 章，划分为 3 个教学单元，即三维建模基础知识(第 1 章)、主流三维造型软件 UG NX(本书以 12.0 版为蓝本)功能操作(第 2~第 10 章)、三维造型基本思路与应用实例(第 11 章)。这种由“基础知识、操作技能、应用思路、实战经验”构成的四位一体教学内容，充分体现了三维造型技术的有机组成。

本书第 1 版被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，也是 SIEMENS PLM SOFTWARE 公司 GO PLM 项目推荐教材。本书可用于高等学校机械及相关专业课程的教学，也可供机械行业技术人员自学三维造型技术使用。

本书由单岩(浙江大学)、吴立军(浙江科技学院)、蔡娥(浙江大学)编著，杭州浙大旭日科技开发有限公司的卢俊、李加文、潘常春、吴中林等也参与了本书的编写。杭州浙大旭日科技开发有限公司为本书提供配套案例源文件、PPT 教学课件等立体化教学资源，在此表示衷心的感谢。

限于编写时间和编者的水平，书中会存在需要进一步改进和提高自己的地方，我们非常期望读者及专业人士提出宝贵意见与建议，以便今后不断加以完善。读者可通过以下方式与我们交流。

- 网站: <http://www.walkclass.com>
- 致电: 010-62784096
- 服务邮箱: 476371891@qq.com

本书配套提供试题库、PPT 教学课件、实例的源文件与结果文件等学习资源。读者可以关注“学呗课堂”微信公众号，注册并以学生身份输入邀请码 XBKT-3XQU3UZD，即可免费获得学生版资源库。



任课老师可来电获取教师版资源库。PPT 教学课件和实例源文件也可通过 www.tupwk.com.cn/downpage 免费下载。

最后,感谢清华大学出版社为本书的出版所提供的机遇和帮助。

编者
2019 年 6 月

目 录

第 1 章 了解三维建模基础知识	1
1.1 设计的飞跃——从二维到三维	1
1.2 什么是三维建模	2
1.3 三维建模——CAX 的基石	4
1.4 无处不在的三维建模	6
1.5 三维建模的历史、现状和未来	7
1.5.1 三维建模技术的发展史	7
1.5.2 三维建模系统的未来	7
1.6 如何学好三维建模技术	8
1.7 三维建模相关的基本概念	9
1.7.1 什么是维	9
1.7.2 图形与图像	9
1.7.3 图形对象	10
1.7.4 视图变换与物体变换	11
1.7.5 人机交互	11
1.8 三维建模种类	12
1.8.1 特征建模	12
1.8.2 参数化建模	13
1.8.3 变量化建模	13
1.9 图形交换标准	13
1.9.1 二维图形交换标准(DXF)	14
1.9.2 初始图形信息交换 规范(IGES)	14
1.9.3 产品模型数据交换 标准(STEP)	14
1.9.4 3D 模型文件格式(STL)	15
1.9.5 其他图形格式转换	15
1.10 三维建模系统的组成	16
1.11 CAD/CAM/CAE 软件分类	16
1.12 常用 CAD/CAM/CAE 软件 简介	17
1.12.1 CATIA	17
1.12.2 I-DEAS	17

1.12.3 Pro/ENGINEER	18
1.12.4 UG NX	18
1.12.5 SolidEdge	18
1.12.6 SolidWorks	18
1.12.7 Cimatron	18
1.12.8 Mastercam	18
1.13 如何选用合适的软件	19
1.14 本章小结	19
1.15 思考与练习	20
第 2 章 UG NX 软件概述	21
2.1 UG NX 软件简介	21
2.2 UG NX 软件的技术特点	21
2.3 UG NX 软件的常用功能模块	22
2.4 UG NX 工作流程	23
2.5 基于 UG NX 的产品设计流程	24
2.6 本章小结	24
2.7 思考与练习	25
第 3 章 UG NX 基本操作	26
3.1 UG NX 工作环境	26
3.1.1 UG NX 用户界面	26
3.1.2 功能区	28
3.1.3 鼠标操作	29
3.1.4 菜单	30
3.1.5 快捷菜单	37
3.2 定制工作环境	39
3.2.1 切换中英文界面	39
3.2.2 定制选项卡	39
3.2.3 用户默认设置	42
3.2.4 模板	42
3.2.5 角色	43
3.3 快捷键	45
3.3.1 常用快捷键	45



3.3.2	快捷键定制	45	4.3	内部草图与外部草图	77
3.4	对象选择	46	4.3.1	内部草图与外部草图的基本概念	77
3.4.1	直接选择	46	4.3.2	内部草图和外部草图之间的区别	77
3.4.2	取消选择对象	46	4.3.3	使草图成为内部的或外部的	78
3.4.3	类选择器	46	4.4	创建草图对象	78
3.4.4	上边框条	47	4.4.1	自由手绘草图曲线	78
3.4.5	快速拾取	48	4.4.2	投影曲线	79
3.4.6	选择首选项	48	4.5	约束草图	79
3.5	图层与组	49	4.5.1	自由度	80
3.5.1	图层	49	4.5.2	几何约束	80
3.5.2	组	51	4.5.3	尺寸约束	84
3.5.3	特征分组	51	4.5.4	约束技巧与提示	85
3.6	坐标系	52	4.6	草图操作	86
3.6.1	动态	53	4.6.1	编辑曲线	86
3.6.2	原点	54	4.6.2	编辑定义截面	87
3.6.3	旋转	54	4.6.3	偏置曲线	87
3.6.4	定向	54	4.6.4	镜像曲线	87
3.6.5	显示	57	4.7	草图管理	88
3.6.6	保存	57	4.7.1	完成草图	88
3.7	基本元素的创建	58	4.7.2	草图名	88
3.7.1	点	58	4.7.3	定向到草图	88
3.7.2	矢量	60	4.7.4	定向到模型	88
3.7.3	基准平面及平面	62	4.7.5	重新附着	88
3.8	几何变换	65	4.7.6	创建定位尺寸	89
3.8.1	变换	65	4.7.7	评估草图	89
3.8.2	移动对象	68	4.7.8	更新模型	89
3.9	本章小结	72	4.8	草图实例	89
3.10	思考与练习	72	4.8.1	垫片零件草图的绘制	89
第4章	草图	73	4.8.2	吊钩零件草图的绘制	92
4.1	草图概述	73	4.9	本章小结	93
4.1.1	草图与特征	73	4.10	思考与练习	93
4.1.2	草图与层	73	第5章	实体建模	95
4.1.3	草图功能简介	74	5.1	实体建模概述	95
4.1.4	草图参数预设置	74	5.1.1	基本术语	95
4.1.5	创建草图的一般步骤	75	5.1.2	UG NX 特征的分类	96
4.2	创建草图	75	5.1.3	UG NX 实体特征工具	96
4.2.1	在平面上	76			
4.2.2	基于路径	76			

5.1.4 建模流程	97	5.8 实体建模实例	146
5.2 体素特征与布尔操作	97	5.8.1 实体建模	146
5.2.1 体素特征	97	5.8.2 轴零件	150
5.2.2 布尔操作	102	5.9 本章小结	154
5.3 基准特征	103	5.10 思考与练习	154
5.3.1 基准轴	103	第6章 曲线	155
5.3.2 基准平面	104	6.1 曲线概述	155
5.3.3 基准坐标系	104	6.2 创建曲线	156
5.4 扫掠特征	106	6.2.1 直接草图	156
5.4.1 拉伸	106	6.2.2 直线和圆弧	159
5.4.2 旋转	109	6.2.3 一般二次曲线	161
5.4.3 沿引导线扫掠	111	6.2.4 点集	163
5.4.4 管道	111	6.2.5 艺术样条	165
5.5 设计特征	112	6.2.6 基本曲线	167
5.5.1 设计特征概述	112	6.3 派生曲线	173
5.5.2 孔	114	6.3.1 偏置曲线	173
5.5.3 凸起	117	6.3.2 桥接曲线	175
5.5.4 槽	117	6.3.3 复合曲线	177
5.5.5 凸台	119	6.3.4 投影曲线	178
5.5.6 腔	120	6.3.5 相交曲线	180
5.5.7 垫块	123	6.3.6 组合投影	180
5.5.8 键槽	124	6.3.7 截面曲线	181
5.6 细节特征	127	6.3.8 在面上偏置曲线	183
5.6.1 拔模	127	6.3.9 抽取曲线	183
5.6.2 倒斜角	130	6.4 编辑曲线	184
5.6.3 边倒圆	131	6.4.1 编辑曲线参数	184
5.6.4 面倒圆	135	6.4.2 修剪曲线	185
5.6.5 美学面倒圆	138	6.4.3 分割曲线	185
5.6.6 镜像体和镜像特征	139	6.4.4 曲线长度	186
5.6.7 修剪体	140	6.4.5 修剪拐角	187
5.6.8 缝合	140	6.4.6 编辑圆角	187
5.6.9 螺纹	141	6.5 曲线分析	187
5.6.10 抽壳	141	6.5.1 曲线、曲面间的连续关系	188
5.6.11 偏置面	142	6.5.2 曲率梳分析	189
5.7 编辑特征	143	6.5.3 峰值分析	190
5.7.1 编辑特征参数	143	6.5.4 拐点分析	190
5.7.2 移除参数	144	6.6 本章小结	190
5.7.3 抑制特征	145	6.7 思考与练习	191
5.7.4 取消抑制特征	146		



第7章 曲面建模	192
7.1 曲线(面)建模原理	192
7.1.1 自由曲线与自由曲面的基本原理	192
7.1.2 理解曲面建模功能	200
7.2 曲面功能概述	206
7.2.1 自由曲面构造方法	206
7.2.2 自由曲面工具条	206
7.2.3 基本概念	207
7.2.4 基本原则与技巧	208
7.3 由点构建曲面	209
7.3.1 通过点	209
7.3.2 从极点	210
7.3.3 拟合曲面	210
7.4 由线构建曲面	211
7.4.1 直纹面	212
7.4.2 通过曲线组	213
7.4.3 通过曲线网格	215
7.4.4 扫掠	216
7.4.5 界面曲面	220
7.5 基于已有曲面构成新曲面	222
7.5.1 延伸片体	222
7.5.2 N 边曲面	223
7.5.3 偏置曲面	224
7.5.4 修剪片体	225
7.5.5 修剪和延伸	226
7.6 编辑曲面	227
7.6.1 扩大	227
7.6.2 局部取消修剪和延伸	228
7.7 曲面分析	229
7.7.1 截面分析	229
7.7.2 高亮线分析	230
7.7.3 曲面连续性分析	231
7.7.4 半径分析	232
7.7.5 反射分析	233
7.7.6 斜率分析	234
7.7.7 距离分析	234
7.7.8 拔模分析	235
7.8 手机外壳底板建模	236

7.9 本章小结	240
7.10 思考与练习	240
第8章 装配功能	242
8.1 装配功能简介	242
8.1.1 概述	242
8.1.2 装配模块调用	242
8.1.3 装配术语	243
8.1.4 装配中部件的不同状态	244
8.1.5 装配的一般思路	245
8.2 装配导航器	245
8.2.1 概述	245
8.2.2 装配导航器的设置	245
8.3 从底向上装配	247
8.3.1 概念	247
8.3.2 装配约束	248
8.3.3 移动组件	252
8.3.4 引用集	257
8.4 组件的删除、隐藏与抑制	260
8.5 自顶向下装配	260
8.6 部件间建模	261
8.7 爆炸视图	264
8.7.1 爆炸视图的概念	264
8.7.2 爆炸视图的创建	265
8.7.3 爆炸视图的操作	266
8.8 脚轮装配实例	267
8.9 本章小结	270
8.10 思考与练习	270
第9章 工程制图	271
9.1 工程制图概述	271
9.1.1 UG NX 工程图的特点	271
9.1.2 制图模块的调用方法	271
9.1.3 UG NX 出图的一般流程	272
9.2 工程图纸的创建与编辑	272
9.2.1 创建工程图纸	272
9.2.2 打开工程图纸	273
9.2.3 编辑工程图纸	274
9.2.4 删除工程图纸	274
9.3 视图的创建	274

9.3.1 基本视图	275	10.2.1 移动面	302
9.3.2 投影视图	276	10.2.2 偏置区域	303
9.3.3 局部放大图	277	10.2.3 替换面	304
9.3.4 剖视图	278	10.2.4 删除面	304
9.4 视图编辑	283	10.2.5 调整圆角大小	305
9.4.1 移动与复制视图	283	10.2.6 调整面的大小	305
9.4.2 视图对齐	283	10.2.7 复制面	306
9.4.3 移除视图	285	10.2.8 关联	308
9.4.4 自定义视图边界	285	10.3 同步建模实例	312
9.4.5 视图相关编辑	286	10.4 本章小结	313
9.4.6 更新视图	287	10.5 思考与练习	314
9.5 标注尺寸	287	第 11 章 三维造型思路及应用实例	315
9.5.1 尺寸标注的类型	287	11.1 实体建模的基本思路	315
9.5.2 标注尺寸的一般步骤	288	11.1.1 建模树法	315
9.6 参数预设置	288	11.1.2 三维建模软件的使用	317
9.6.1 制图首选项	289	11.1.3 实体建模	317
9.6.2 视图参数预设置	289	11.2 简单实例解析	317
9.6.3 标注参数预设置	290	11.2.1 方案一	318
9.7 数据转换	292	11.2.2 方案二	319
9.8 法兰轴工程图实例	292	11.3 曲面建模的基本思路	320
9.9 本章小结	300	11.4 小家电外壳实例解析	320
9.10 思考与练习	300	11.4.1 分析阶段	321
第 10 章 同步建模	301	11.4.2 实现阶段	322
10.1 同步建模概述	301	11.4.3 软件的具体实现过程	325
10.1.1 同步建模技术	301	11.5 本章小结	336
10.1.2 同步建模工具	301	11.6 思考与练习	337
10.2 同步建模功能	302		

第1章 了解三维建模基础知识

人们生活在三维世界中，如果采用二维图纸来表达几何形体，就显得不够形象、逼真。三维建模技术的发展和成熟应用改变了这种现状，使得产品设计实现了从二维到三维的飞跃，且必将越来越多地替代二维图纸，最终成为工程领域的通用语言。因此，三维建模技术也成为工程技术人员必须具备的基本技能之一。

学习三维建模技术，应首先了解三维建模技术的基础知识，包括相关概念、三维建模的种类、建模原理、图形交换标准等。本章涉及三维建模的背景知识很多，读者应重点理解三维建模的基本概念和相关知识，这些知识是所有三维建模软件共用的基础。

本章学习目标

- 了解三维建模技术的基本概貌；
- 了解三维建模技术的发展历程、价值和种类；
- 了解三维建模技术及其与 CAD/CAE/CAM 等计算机辅助设计技术之间的关系；
- 了解常用的 CAD/CAM/CAE 软件；
- 掌握三维建模的方法。

1.1 设计的飞跃——从二维到三维

目前我们能够看到的几乎所有印刷资料，包括各种图书、图片、图纸，都是平面的，是二维的。而现实世界是一个三维的世界，任何物体都具有三个维度，要完整地表述现实世界的物体，需要用 X 、 Y 、 Z 三个量来度量。所以这些二维资料只能反映三维世界的部分信息，只有通过抽象思维才能在人脑中形成三维影像。

工程界也是如此。多年来，二维的工程图纸一直作为工程界的通用语言，在设计、加工等所有相关人员之间传递产品的信息。由于单个平面图形不能完全反映产品的三维信息，人们就约定一些制图规则，如将三维产品向不同方向投影、剖切等，形成若干由二维视图组成的图纸，从而表达完整的产品信息，如图 1-1 所示。图中是用四个视图来表达产品的。

图纸上的所有视图，包括反映产品三维形状的轴测图(正等轴测图、斜二测视图或者其他视角形成的轴测图)，都以二维平面图的形式展现从某个视点、方向投影过去的物体的情况。根据这些视图及既定的制图规则，借助人脑的抽象思维，就可以在人脑中重构物体的三维空间几何结构。因此，不掌握工程制图规则，就无法制图、读图，也就无法进行产品的设计、制造，从而无法与其他技术人员沟通。

毋庸置疑，二维工程图在人们进行技术交流等方面起到了重要的作用。但用二维工程图形来表达三维世界中的物体，需要把三维物体按制图规则绘制成二维图形(即制图过程)，其他技术人员再根据这些二维图形和制图规则，借助抽象思维在人脑中重构三维模型(即



读图过程),这一过程复杂且易出错。因此以二维图纸作为传递信息的媒介,实属不得已而为之。

那么,有没有办法可以直接反映人脑中三维的、具有真实感的物体,而不用经历三维投影到二维、二维再抽象到三维的过程呢?答案是肯定的,这就是三维建模技术,它可以直接建立产品的三维模型,如图 1-2 所示。

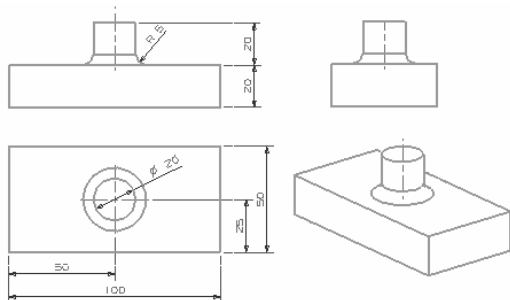


图 1-1

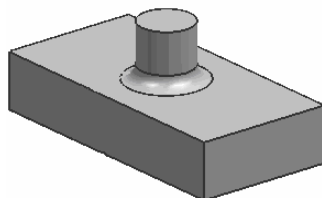


图 1-2

三维建模技术直接将人脑中设计的产品通过三维模型来表现,无须借助二维图纸、制图规范及人脑抽象就可获得产品的三维空间结构,因此直观、有效、无二义性。三维模型还可直接用于工程分析,尽早发现设计的不合理之处,大大提高设计效率和可靠性。

但是,过去由于受计算机软、硬件技术水平的限制,三维建模技术在很长一段时间内不能实用化,人们仍不得不借助二维图纸来设计和制造产品。而今,微机性能大幅提高,微机 CPU 的运算速度、内存和硬盘的容量、显卡技术等硬件条件足以支撑三维建模软件的硬件需求,而三维建模软件也日益实用化,因此,三维建模技术在人类生活的各个领域开始发挥着越来越重要的作用。

正是三维建模技术的实用化,推动了 CAD/CAM/CAE(计算机辅助设计/计算机辅助制造/计算辅助工程分析技术,统称 CAX 技术)的蓬勃发展,使得数字化设计、分析、虚拟制造成为现实,极大地缩短了产品设计制造周期。

毫无疑问,三维建模必将取代二维图纸,成为现代产品设计与制造的必备工具;三维建模技术必将成为工程人员必备的基本技能,替代机械制图课程,成为高校理工科类学生的必修课程。

由于基于二维图纸的产品设计、制造流程已沿用多年,数字化加工目前也还不能完全取代传统的加工方式,因此,二维图纸及计算机二维绘图技术现在还不可能完全退出企业的产品设计、制造环节。但是只要建立了产品的三维数字模型,生成产品的二维图纸就是一件非常容易的事情(参见本书 UG NX 制图部分的内容)。

事实上,三维建模并非一个陌生的概念,接下来先让我们深入理解什么是三维建模。

1.2 什么是三维建模

什么是三维建模呢?

设想这样一个画面:孩子在炉火前拥着父亲,父亲左一刀、右一刀地切削一块木块;在

孩子出神的眼中,木块逐渐成为一把精致的木手枪或者弹弓。木手枪或弹弓形成的过程,就是直观的三维建模过程。三维建模在现实中非常常见,如孩子们堆沙丘城堡、搭积木的过程是三维建模的过程;雕刻、制作陶瓷艺术品等,也是三维建模的过程。三维建模是如此的形象和直观——人脑中的物体形貌在真实空间再现出来的过程,就是三维建模的过程。

广义地讲,所有产品制造的过程,无论手工制作还是机器加工,都是将人们头脑中设计的产品转化为真实产品的过程,都可称为产品的三维建模过程。

计算机在不到一百年的发展时间里,几乎彻底改变了人类的生产、生活和生存方式,人脑里想象的物体,几乎都能够通过“电脑”来复现了。本书所说的“三维建模”,是指在计算机上建立完整的产品三维数字几何模型的过程,与广义的三维建模概念有所不同。

计算机中通过三维建模建立的三维数字形体,称为三维数字模型,简称三维模型。在三维模型的基础上,方便后续工作任务的实施,如CAD、CAM、CAE等。

虽然三维模型显示在二维的平面显示器上,与真实世界中可以触摸的三维物体有所不同,但是这个模型具有完整的三维几何信息,还可以有材料、颜色、纹理等其他非几何信息。人们可以通过旋转模型来模拟现实世界中观察物体的不同视角,通过放大/缩小模型,来模拟现实中观察物体的距离远近,仿佛物体就位于自己眼前一样。除了不可触摸,三维数字模型与现实世界中的物体没有什么不同,只不过它们是虚拟的物体。

计算机中的三维数字模型,对应着人脑中想象的物体,构造这样的数字模型的过程,就是计算机三维建模,简称三维建模。在计算机上利用三维造型技术建立的三维数字形体,称为三维数字模型,简称三维模型。

三维建模必须借助软件来完成,这些软件常被称为三维建模系统。三维建模系统提供在计算机上完成三维模型的环境和工具,而三维模型是CAX系统的基础和核心,因此CAX软件必须包含三维建模系统,三维建模系统也由此被广泛应用于几乎所有的工业设计与制造领域。

本书以世界著名的CAX软件——UG NX为例,介绍三维建模技术的基本原理、建模的基本思路和方法,其他CAX软件系统虽然功能、操作方式等不完全相同,但基本原理类似,学会使用一种建模软件后,向其他软件迁移将非常容易。

三维建模系统的主要功能是提供三维建模的环境和工具,帮助人们实现物体的三维数字模型,即用计算机来表示、控制、分析和输出三维形体,实现形体表示上的几何完整性,使所设计的对象生成真实感图形和动态图形,并能够进行物性(面积、体积、惯性矩、强度、刚度、振动等)计算、颜色和纹理仿真及切削与装配过程的模拟等。其具体包括以下功能。

- 形体输入:在计算机上构造三维形体的过程。
- 形体控制:如对形体进行平移、缩放、旋转等变换。
- 信息查询:如查询形体的几何参数、物理参数等。
- 形体分析:如容差分析、物质特性分析、干涉量的检测等。
- 形体修改:对形体的局部或整体进行修改。
- 显示输出:如消除形体的隐藏线、隐藏面,显示、改变形体明暗度、颜色等。
- 数据管理:三维图形数据的存储和管理。

1.3 三维建模——CAX 的基石

CAX 技术包括 CAD(Computer Aided Design, 计算机辅助设计)、CAM(Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造)、CAPP(Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺规划)、CAE(Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程分析)等计算机辅助技术; 其中, CAD 技术是实现 CAM、CAPP、CAE 等技术的先决条件, 而 CAD 技术的核心和基础是三维建模技术。

这里以模制产品的开发流程为例, 来考察 CAX 技术的应用背景及三维建模技术在其中的地位。通常, 模制产品的开发分为产品设计、模具设计、模具制造和产品制造四个阶段, 如图 1-3 所示。

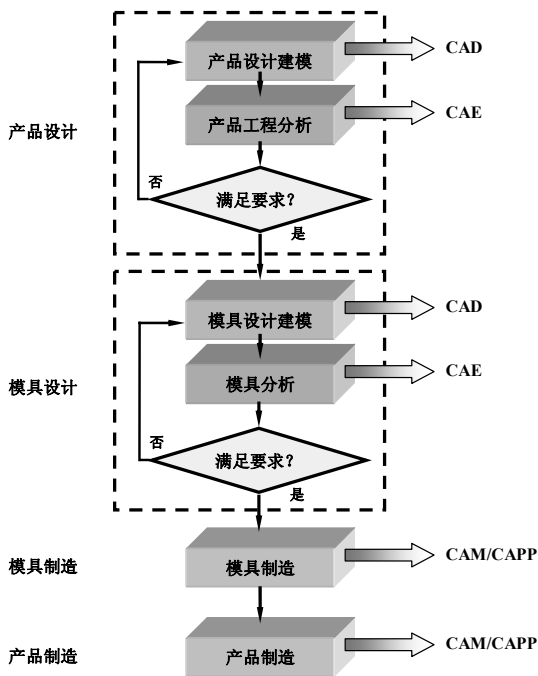


图 1-3

1. 产品设计阶段

首先建立产品的三维模型。建模的过程实际就是产品设计的过程, 这个过程属于 CAD 领域。设计与分析是一个交互过程, 设计好的产品需要进行工程分析(CAE), 如强度分析、刚度分析、机构运动分析、热力学分析等, 分析结果再反馈到设计阶段(CAD), 根据需要修改结构, 修改后继续进行分析, 直到满足设计要求为止。

2. 模具设计阶段

根据产品模型, 设计相应的模具, 如凸模、凹模及其他附属结构, 建立模具的三维模型。这个过程也属于 CAD 领域。设计完成的模具, 同样需要经过 CAE 分析, 分析结果用于检验、指导和修正设计阶段的工作。例如对于塑料制品, 注射成型分析可预测产品成型的各种缺陷(如熔接痕、缩痕、变形等), 从而优化产品设计和模具设计, 避免因设计问题造成的模具返修

甚至报废。模具的设计分析过程类似于产品的设计分析过程，直到满足模具设计要求后，才能最后确定模具的三维模型。

3. 模具制造阶段

由于模具是用来制造产品的模板，其质量直接决定了最终产品的质量，所以通常采用数控加工方式，这个过程属于 CAM 领域。制造过程不可避免地与工艺有关，需要借助 CAPP 领域的技术。

4. 产品制造阶段

此阶段根据加工好的模具批量生产产品，可能会用到 CAM/CAPP 领域的技术。

可以看出，模制品设计制造过程中，贯穿了 CAD/CAM/CAE/CAPP 等 CAX 技术，而这些技术都必须以三维建模为基础。

例如要设计生产如图 1-4 和图 1-5 所示的产品，必须首先建立其三维模型。没有三维建模技术的支持，CAD 技术无从谈起。

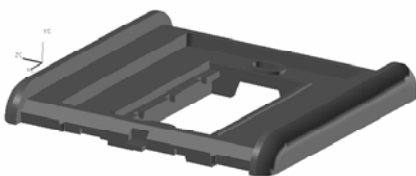


图 1-4



图 1-5

产品和模具的 CAE，不论分析前的模型网格划分，还是分析后的结果显示，也都必须借助三维建模技术才能完成，如图 1-6 和图 1-7 所示。



图 1-6

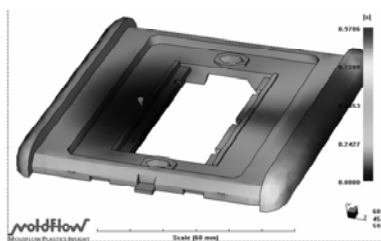


图 1-7

对于 CAM，同样需要在模具三维模型的基础上，进行数控(Numerical Control, NC)编程与仿真加工。图 1-8 显示了模具加工的数控刀路，即加工模具时，刀具所走的路线。刀具按照这样的路线进行加工，去除材料余量，加工结果就是模具。图 1-9 显示了模具的加工刀轨和加工仿真的情况。可以看出，CAM 同样以三维模型为基础，没有三维建模技术，虚拟制造和加工是不可想象的。

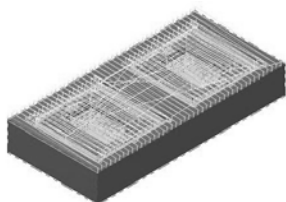


图 1-8

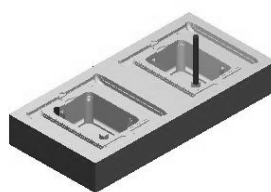


图 1-9



上述模制产品的设计制造过程充分表明, 三维建模技术是 CAD/CAE/CAM 等 CAX 技术的核心和基础, 没有三维建模技术, CAX 技术将无从谈起。

事实上, 不仅模制产品, 其他产品的 CAD/CAM/CAE 也都离不开三维建模技术, 例如: 从产品的零部件结构设计, 到产品的外观、人体美学设计; 从正向设计制造到逆向工程、快速原型; 等等, 如图 1-10 所示。



图 1-10

1.4 无处不在的三维建模

目前, 三维建模技术已广泛应用于人类生活的各个领域, 从工业产品(如飞机、机械、电子、汽车、模具、仪表、轻工)的零件造型、装配造型和焊接设计、模具设计、电极设计、钣金设计等, 到日常生活用品、服装、珠宝、鞋业、玩具、塑料制品、医疗设施、铭牌、包装、艺术品雕刻、考古等。

近年来, 三维建模还广泛用于电影制作、三维动画、广告、各种模拟器及景物的实时漫游、娱乐游戏等领域。电影特技制作、布景制作等利用 CAD 技术, 已有十余年的历史, 如《星球大战》《外星人》《侏罗纪公园》《黑客帝国》等科幻片, 以及完全用三维电脑动画制作的影片《玩具总动员》等。三维电脑动画可以营造出编剧人员想象出的各种特技, 设计出人工不可能做到的布景, 为观众营造一种新奇、古怪和难以想象的环境, 如《阿凡达》中用大量三维动画模拟了潘多拉星球上的奇异美景, 让人仿佛身临其境。这些技术不仅节省了大量的人力、物力, 降

低了拍摄成本，而且还为现代科技研制新产品提供了思路，如“007”系列电影中出现的间谍与反间谍虚拟设施，启发了新的影像监视产品的开发，促进了该领域的工业进展。

1.5 三维建模的历史、现状和未来

长久以来，工程设计与加工都基于二维工程图纸。计算机三维建模技术成熟，相关建模软件实用化后，这种局面被彻底改变了。

1.5.1 三维建模技术的发展史

在 CAD 技术发展初期，几何建模的目的仅限于计算机辅助绘图。随着计算机软、硬件技术的飞速发展，CAD 技术也从二维平面绘图向三维产品建模发展，由此推动了三维建模技术的发展，产生了三维线框建模、曲面建模及实体建模等三维几何建模技术，以及在实体建模基础上发展起来的特征建模、参数化建模技术。

图 1-11 显示了产品三维建模技术的发展历程。曲面建模和实体建模的出现，使得描述单一零件的基本信息有了基础，基于统一的产品数字化模型，可进行分析和数控加工，从而实现了 CAD/CAM 集成。

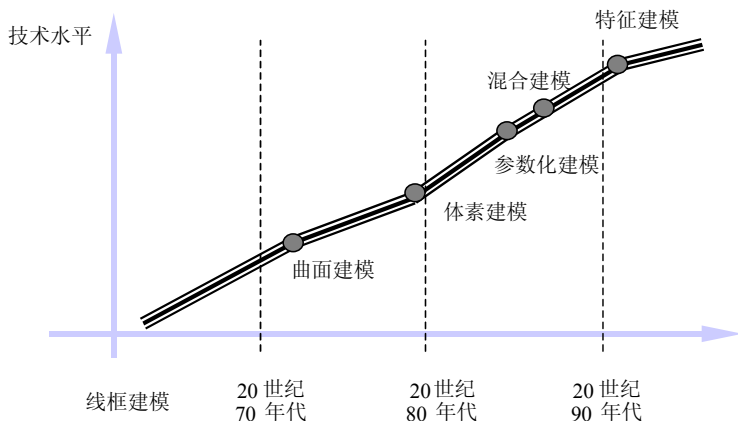


图 1-11

目前，CAX 软件系统大多支持曲面建模、实体建模、参数化建模、混合建模等建模技术。这些软件经过四十年的发展、融合和消亡，形成了三大高端主流系统，即法国达索公司的 CATIA、德国 SIEMENS 公司的 Unigraphics(简称 UG NX)和美国 PTC 公司的 Pro/Engineer(简称 Pro/E)。

1.5.2 三维建模系统的未来

三维建模是现代设计的主要技术工具，必将取代工程制图成为工程业界的“世界语”。如前所述，三维建模比二维图纸更加方便、直观，包含的信息更加完整、丰富，能轻松胜任许多二维图纸不能完成的工作，对于提升产品的创新、开发能力非常重要。

三维建模系统的主要发展方向如下。



- 标准化：主要体现在不同软件系统间的接口和数据格式标准化，以及行业标准零件数据库、非标准零件数据库和模具参数数据库等方面。
- 集成化：产品各种信息(如材质等)与三维建模系统的集成。
- 智能化：三维建模更人性化、智能化，如建模过程中的导航、推断、容错能力等。
- 网络化：包括硬件与软件的网络集成实现、各种通信协议及制造自动化协议、信息通信接口、系统操作控制策略等，是实现各种制造系统自动化的基础。目前，许多大的 CAD/CAM 软件已具备基于 Internet 实现跨国界协同设计的能力。
- 专业化：从通用设计平台向专业设计转化，结合行业经验，实现知识熔接。
- 真实感：在外观形状上更趋真实化，外观感受、物理特性上更加真实。

不论从技术发展方向还是政策导向上看，三维建模都将在现代设计制造业中占据举足轻重的地位，成为设计人员必备的技能之一。

1.6 如何学好三维建模技术

学好三维建模技术，首先要掌握三维建模的基础知识、基本原理、建模思路与基本技巧，其次要学会熟练使用至少一个三维建模软件，包括各种建模功能的使用原理、应用方法和操作方法。

基础知识、基本原理与建模思路是三维建模技术学习的重点，它是评价一个 CAD 工程师三维建模水平的主要依据。目前，常用 CAD 软件的基本功能大同小异，因此对于一般产品的三维建模，只要掌握了正确的建模方法、思路 and 技巧，采用何种 CAD 软件并不重要。掌握了三维建模的基本原理与正确思路，就如同学会了捕鱼的方法，学会了“渔”而不仅仅是得到一条“鱼”。

在学习三维建模软件时，也应避免只重视学习功能及操作方法的倾向，而应着重理解软件功能的整体组成结构、功能原理和应用背景，纲举而目张，这样才能真正掌握并灵活使用软件的各种功能。

同其他知识和技能的学习一样，掌握正确的学习方法对提高三维建模技术的学习效率和质量有非常重要的作用。那么，什么学习方法是正确的呢？我们给出如下几点建议。

- 集中精力打歼灭战。在较短的时间内集中完成一个学习目标，并及时加以应用，避免马拉松式的学习。
- 正确把握学习重点。其包括两方面含义：一是将基本原理、思路和应用技巧作为学习的重点；二是在学习软件建模功能时也应注重原理。对于一个高水平的 CAD 工程师而言，产品的建模过程实际上首先要在头脑中完成，其后的工作只是借助某种 CAD 软件将这一过程表现出来。
- 有选择地学习。CAD 软件功能相当丰富，学习时切忌面面俱到，应首先学习最基本、最常用的建模功能，尽快达到初步应用水平，然后再通过实践及后续的学习加以提高。
- 对软件建模功能进行合理的分类。这样不仅能提高记忆效率，而且有助于从整体上把握软件功能的应用。
- 从一开始就注重培养规范的操作习惯，在操作学习中始终使用效率最高的操作方式。同时，应培养严谨、细致的工作作风，这一点往往比单纯学习技术更为重要。
- 将平时所遇到的问题、失误和学习要点记录下来，这种积累的过程就是水平不断提高的过程。

学习三维建模技术与学习其他技术一样，要做到“在战略上藐视敌人，在战术上重视敌人”，既要完成学习目标树立坚定的信心，又要脚踏实地地对待每一个学习环节。

1.7 三维建模相关的基本概念

三维造型建模是计算机绘图的一种方式。本节主要介绍与三维建模相关的一些基本概念。

1.7.1 什么是维

“二维”“三维”的“维”，究竟是什么意思？简单地说，“维”就是用来描述物体的自由度，点是零维物体，线是一维物体，面是二维物体，体是三维物体。

可以这样理解形体的“维”：想象一个蚂蚁沿着曲线爬行，无论曲线是直线、平面曲线还是空间曲线，蚂蚁都只能前进或者后退，即曲线的自由度是一维的。如果蚂蚁在一个面上爬行，则无论面是平面还是曲面，蚂蚁可以有前后、左右两个方向可以选择，即曲面的自由度是二维的。如果一只蜜蜂在封闭的体空间内飞行，则它可以选上下、左右、前后三个方向飞，即体的自由度是三维的。

那么，“二维绘图”“三维建模”中的“维”，与图形对象的“维”是一回事吗？答案是否定的。二维绘图和三维建模中“维”的概念是指绘制图形所在的空间的维数，而非图形对象的维数。例如，二维绘图只能在二维空间制图，图形对象只能是零维的点、一维的直线、一维的平面曲线等，二维图形对象只有区域填充，没有空间曲线、曲面、体等图形对象；而三维建模在三维空间建立模型，图形对象可以是任何维度的图形对象，包括点、线、面、体。

1.7.2 图形与图像

什么是图形？计算机图形学中研究的图形是从客观世界物体中抽象出来的带有灰度或色彩及形状的图或形，由点、线、面、体等几何要素和明暗、灰度、色彩等非几何要素构成，与数学中研究的图形有所区别。

计算机技术中，根据对图和形表达方式的不同，衍生出了计算机图形学和计算机图像处理技术两个学科，它们分别对图形和图像进行研究。

表 1-1 列出了图形与图像的区别。

表 1-1

比较项目	图 形	图 像
表达方式	矢量，方程	光栅，点阵，像素
理论基础	计算机图形学	计算机图像处理
原理	以图形的形状参数与属性参数来表示；形状参数可以是描述图形形状的方程的系数、线段的起止点等；属性参数则包括灰度、色彩、线型等非几何属性	用具有灰度或色彩的点阵来表示，每个点有各自的灰度或色彩，可以理解为色块拼合而成的图形



(续表)

比 较 项 目	图 形	图 像
维数	任意维形体，包括零维的点、一维的线、二维的面、三维的体	平面图像，色块拼合而成，没有点、线、面、体的形体概念
直观的理解	数学方程描述的形体	所有印刷品、绘画作品、照片等
原始效果		
放大后的效果		
进一步放大后的局部效果		
旋转	可以绕任意轴、任意点旋转	只能在图像平面内旋转
软件	FreeHand、所有的 CAD 软件等	Painter、Photoshop 等

了解图像与图形的意义非常重要。图像表达的对象可以是三维的，但是表达方式只能是二维的；图形则完整地表达了对象的所有三维信息，可以对图形做变换视点、绕任意轴旋转等操作。

计算机图形学的主要研究对象是图形，研究计算机对图形的输入、生成、显示、输出、变换及图形的组合、分解和运算等处理，是开发 CAD 软件平台的重要基础。使用 CAD 软件完成工作时，虽然不需要关注 CAD 软件本身的实现方法，但是理解其实现的机理对充分使用软件、合理规划任务还是很有帮助的。更多的相关技术知识可以参考计算机图形学方面的书籍。

1.7.3 图形对象

CAD 软件中涉及的图形对象主要有点、线、面、体。

1. 点

点是零维的几何形体。CAD 中的点一般可分为两类，一类是真实的“点”对象，可以对它执行建立、编辑、删除等操作；另一类是指图形对象的“控制点”，如线段的端点、中点，圆弧的圆心、四分点等，这些“点”虽然可以用鼠标选中，但并不是真实的点对象，无须专门建立，也无法删除。这两类点初学者很容易混淆。

2. 线

线是一维的几何形体，一般分为直线和曲线。

直线一般用二元一次方程 $Ax+By+C=0$ 表达。可以通过指定两个端点(鼠标点选或者输入两个端点坐标)、一个端点和一个斜率等方式确定直线。

曲线包括二维平面曲线和三维空间曲线。二维平面曲线又有基本曲线和自由曲线之分。基本曲线是可用二元二次方程 $Ax^2+By^2+Cxy+Dx+Ey+F=0$ 表达的曲线，曲线上的点严格满足曲线方程，圆、椭圆、抛物线、双曲线都是基本曲线的特例。自由形状曲线是一种解析表达的曲线，通过给定的若干离散的控制点控制曲线的形状。控制点可以是曲线的通过点，也可以是构成控制曲线形状的控制多边形的控制点，还可以是拟合线上的点。常见的自由形状曲

线有 Ferguson 曲线、Bezier 曲线、B 样条曲线和 NURBS 曲线等。

3. 面

面是二维的几何形体，分为平面和曲面。

平面的表达和生成比较容易理解，需要注意的是，平面(Plane)是二维对象，与物体表面(Surface)不是同一概念，如长方体的六个表面并不是平面对象，不能创建、编辑或删除，建立六个平面并不等于一个长方体。

曲面常被称为片体(Sheet)，是没有厚度的二维几何体。曲面功能是否丰富是衡量 CAD 软件功能的重要依据之一。与曲线类似，曲面也分为基本曲面和自由曲面。基本曲面通过确定的方程描述，如圆柱面、圆锥面、双曲面等。自由曲面没有严格的方程，通过解析法表达，常见的有 Coons 曲面、Bezier 曲面、B 样条曲面和 NURBS 曲面等。

4. 体

体是三维的几何形体。三维造型的目的就是建立三维形体。

建立三维形体时，通常在基本形体或者它们的布尔操作的基础上，增加材料(如加凸台、凸垫等)或减去材料(如开孔、槽等)，然后进行一些细节处理(如倒角、抽壳等)，最终形成最后的形状。

基本形体可以是基本体素，如块(Block)、柱(Cylinder)、锥(Cone)、球(Sphere)等；也可以是二维形体经过扫描操作而形成的三维形体。

1.7.4 视图变换与物体变换

任何 CAD 软件都提供在屏幕上缩放、平移、旋转所绘制的图形对象的功能。正如工程制图中的局部放大图，物体的细节被放大了，但是其真实尺寸并没有放大一样，缩放、平移、旋转操作也不会改变物体本身的形状大小和相对位置，只是从视觉上对物体进行不同的观察。在屏幕上缩放物体，相当于改变观察点与物体间的距离，模拟了视点距离物体远近的观察效果；旋转屏幕中的物体，相当于改变视点与物体的相对方位，或者视点不变旋转物体，或者物体不动转动观察点。这些操作都不会改变物体的真实情况，称为视图变换。

那么如果要改变物体的真实形状、尺寸，又该如何操作呢？

通常，CAD 软件都提供坐标变换(Transform)功能，以实现物体的缩放、旋转、平移、拷贝、移动、阵列等操作。这些操作真实作用于物体，会改变物体的真实形状，称为物体变换，它与视图变换有本质区别。

视图变换与物体变换虽然本质上不同，但是实现方法是相同的，都是坐标变换。视图变换是基于显示坐标系的变换，相当于改变观察物体的视点(距离或方位)；物体变换则是基于物体在真实世界中的世界坐标系进行变换，真实改变了物体的尺寸和形状。

1.7.5 人机交互

设计意图必须借助某种方式传递到计算机，计算机反馈的信息也必须借助某种方式被人类理解，这种方式就是人机交互，其实现必须借助于交互技术。



人机交互实际上是计算机的输入/输出技术。计算机的输入设备通常有键盘、鼠标、扫描仪、光笔/数字化仪等,输出设备主要有图形显示器和图形绘制设备(如打印机、绘图仪等)。

人机交互的主要工具是鼠标、键盘和显示器,对应的交互操作有拾取、输入和显示。

- 拾取:用鼠标选取计算机显示器上的对象,如菜单选择、对话框选择、工具栏及其工具选择、图形对象选择等。
- 输入:用键盘输入各种文字数据,如命令输入、文档书写、参数输入等。
- 显示:显示器显示操作的结果。所有交互操作,如拾取和输入,在屏幕上都应有反应,如命令提示、对象高亮、输入回显、操作结果显示等。

交互操作的手段虽然只有三种,但是可以衍生出很多交互功能,包括功能交互选择、图形交互操作等。图形交互操作如选择图形对象、定位图形对象、定向图形对象、显示图形对象等,这些交互功能往往是拾取、输入和显示操作的组合。

1.8 三维建模种类

根据三维建模在计算机上的实现技术不同,三维建模可以分为线框建模(见图 1-12(a))、曲面建模(见图 1-12(b))、实体建模(见图 1-12(c))等类型。其中,实体建模在完成几何建模的基础上,又衍生出一些建模类型,如特征建模、参数化建模等。

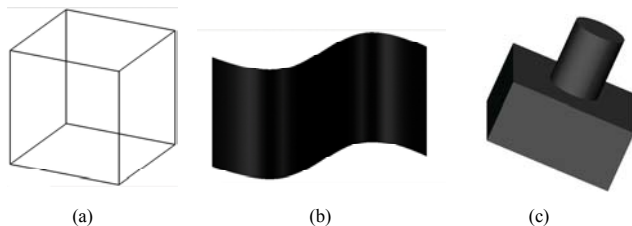


图 1-12

1.8.1 特征建模

特征建模从实体建模技术发展而来,是根据产品的特征进行建模的技术。特征的概念在很长一段时间都没有非常明确的定义。一般认为,特征是指描述产品的信息集合,主要包括产品的形状特征、精度特征、技术特征、材料特征等,兼有形状和功能两种属性。例如,“孔”和“圆台”的形状都是圆柱形,建模时加入“孔”将减去目标体的材料,加入“圆台”则在目标体上增加材料,它们都不仅仅包含形状信息,因而属于特征。

线框模型、曲面模型和实体模型都只能描述产品的几何形状信息,难以在模型中表达特征及公差、精度、表面粗糙度和材料热处理等工艺信息,也不能表达设计意图。要进行后续的计算机辅助分析与加工,必须借助另外的工具。而特征模型不仅可以提供产品的几何信息,而且还可以提供产品的各种功能性信息,使得 CAX 各应用系统可以直接从特征模型中抽取所需的信息。

特征建模技术使得产品的设计工作在更高的层次上进行,设计人员的操作对象不再是原始的线条和体素,而是产品的功能要素。例如,“孔”特征不仅描述了孔的大小、定位等几何

信息,还包含了与父几何体之间安放表面、去除材料等信息,特征的引用直接体现了设计意图,使得建立的产品模型更容易理解,便于组织生产,为开发新一代、基于统一产品信息模型的 CAD/CAM/CAPP 集成系统创造了条件。

以特征为基础的建模方法是 CAD 建模方法的一个里程碑,它可以充分提供制造所需要的几何数据,从而可用于对制造可行性方案的评价、功能分析、过程选择、工艺过程设计等。因此可以说,把设计和生产过程紧密结合,有良好的发展前景。

由于线框建模功能有限,而特征建模尚处于进一步的研究当中,因此,现有的 CAD/CAM 软件均主要采用曲面建模和实体建模两种方式,有时也称为“混合建模”。

1.8.2 参数化建模

参数化设计(Parametric Design)和变量化设计(Variational Design)是基于约束的设计方法的两种主要形式。其共同点在于:它们都能处理设计人员通过交互方式添加到零件模型中的约束关系,并具有在约束参数变动时自动更新图形的能力,使得设计人员不用自己考虑如何更新几何模型以符合设计上要求的约束关系。

目前,参数化建模能处理的几何约束类型基本上是组成产品形体的几何实体公称尺寸关系和尺寸之间的工程关系,因此,参数化建模技术又称尺寸驱动几何技术。如图 1-13 所示的螺帽属于标准化系列产品,主要尺寸都依赖于模数 m ,当 m 改变时,其他尺寸相关变化,模型也跟着变化。这类系列化、结构类似的产品,采用参数化建模很有优势,一般最常用于系列化标准件的建模。

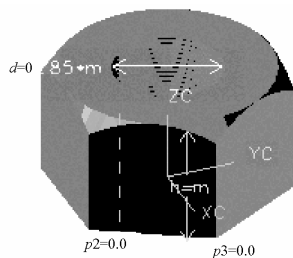


图 1-13

1.8.3 变量化建模

与此相关的技术还有变量化设计技术,它为设计对象的修改提供更大的自由度,允许存在尺寸欠约束,即建模之初可以不用每个结构尺寸、几何约束都非常明确,这种方式更加接近人们的设计思维习惯,因为设计新产品时,人们脑海中首先考虑的是产品形状、结构和功能,具体尺寸在设计深入展开时才会逐步细化,因此变量化设计过程相对参数化设计过程宽松。

变量驱动进一步扩展了尺寸驱动技术,使设计对象的修改更加自由,为 CAD 技术带来新的革命。目前,流行的 CAD/CAM 软件,如 CATIA、UG、Pro/E 都采用变量化建模。

1.9 图形交换标准

不同的 CAD 软件各有优势,企业通常同时采用多种 CAD 软件完成不同的工作,如在 UG NX 中完成部分造型工作,然后再在 CATIA 中完成另外一部分造型工作;或者在 UG NX 中完成产品三维造型,然后导入 ANSYS 等分析软件中进行分析等,这些都涉及不同软件间的数据交换问题。



不同的 CAD 系统产生不同数据格式的数据文件。为了在不同的 CAD 平台上进行数据交换,规定了图形数据交换标准。常用的图形数据交换标准分为二维图形交换标准和三维图形交换标准,二维图形交换标准有基于二维图纸的 DXF 数据文件格式,三维图形交换标准有基于曲面的 IGES 图形数据交换标准、基于实体的 STEP 标准及基于小平面的 STL 标准等。

1.9.1 二维图形交换标准(DXF)

DXF(Data Exchange File)是二维 CAD 软件 AutoCAD 系统的图形数据文件格式。DXF 虽然不是标准,但由于 AutoCAD 系统在二维绘图领域的普遍应用,使得 DXF 成为事实上的二维数据交换标准。DXF 是具有专门格式的 ASCII 码文本文件,它易于被其他程序处理,主要用于实现高级语言编写的程序与 AutoCAD 系统的连接,或其他 CAD 系统与 AutoCAD 系统交换图形文件。

1.9.2 初始图形信息交换规范(IGES)

IGES(Initial Graphics Exchange Specification,初始图形信息交换规范)是基于曲面的图形交换标准,1980 年由美国国家标准化协会(ANSI)发布,目前在工业界应用最广泛,是不同的 CAD/CAM 系统之间图形信息交换的一种重要规范。

IGES 定义了一种“中性格式”文件,这种文件相当于一个翻译。在要转换的 CAX 软件系统中,把文件转换成 IGES 格式文件导出,其他 CAX 软件通过读入这种 IGES 格式的文件,翻成本系统的文件格式,由此实现数据交换。这种结构方法非常适合在异种机之间或不同的 CAX 系统间进行数据交换,因此目前绝大多数 CAX 系统都提供读、写 IGES 文件的接口。

由于 IGES 定义的实体主要是几何图形信息,输出形式面向人们理解而非面向计算机,因此不利于系统集成。更为致命的缺陷是,IGES 数据转换过程中,经常出现信息丢失与畸变问题。另外,IGES 文件占用存储空间较大,虽然如今硬盘容量的限制不是很大的问题,但会影响数据传输和处理的效率。

尽管如此,IGES 仍然是目前各国广泛使用的事实上的国际标准数据交换格式,我国于 1993 年 9 月起将 IGES 3.0 作为国家推荐标准。

IGES 无法转换实体信息,只能转换三维形体的表面信息,例如,一个立方体经 IGES 转换后,不再是立方体,而是只包含立方体的六个面。

1.9.3 产品模型数据交换标准(STEP)

STEP(Standard for the Exchange of Product Model Data,产品模型数据交换标准)是三维实体图形交换标准,是一个产品模型数据的表达和交换的标准体系,1992 年由 ISO 制定并颁布。产品在各过程产生的信息量大,数据关系复杂,而且分散在不同的部门和地方。这就要求这些产品信息以计算机能理解的形式表示,而且在不同的计算机系统之间进行交换时保持一致和完整。产品数据的表达和交换,构成了 STEP 标准。STEP 把产品信息的表达和用于数据交换的实现方法区分开来。

STEP 采用统一的产品数据模型,为产品数据的表示与通信提供一种中性数据格式,能

够描述产品整个生命周期中的所有产品数据,因而 STEP 标准的产品模型完整地表达了产品的设计、制造、使用、维护、报废等信息,为下达生产任务、直接质量控制、测试和进行产品支持等功能提供全面的信息,并独立于处理这种数据格式的应用软件。

STEP 较好地解决了 IGES 的不足,能满足 CAX 集成和 CIMS 的需要,将广泛地应用于工业、工程等各个领域,有望成为 CAX 系统及其集成的数据交换主流标准。

STEP 标准存在的问题是整个体系极其庞大,标准的制订过程进展缓慢,数据文件比 IGES 更大。

1.9.4 3D 模型文件格式(STL)

STL 文件格式最早是快速成型(RP)领域中的接口标准,现已被广泛应用于各种三维造型软件中,很多主流的商用三维造型软件都支持 STL 文件的输入输出。STL 模型将原来的模型转化为三角面片的形式,以三角面片的集合来逼近表示物体外轮廓形状,其中,每个三角形面片由四个数据项表示,即三角形的三个顶点坐标和三角形面片的外法线矢量。STL 文件即为多个三角形面片的集合。目前 STL 文件格式在逆向工程(RE)中也非常常用,如实物经三维数字化测量扫描所得的数据文件常常是 STL 格式。

1.9.5 其他图形格式转换

在使用三维造型软件时,还经常遇见 Parasolid、CGM 和 VRML 等图形文件格式,它们有各自的图形核心标准。图形核心标准是计算机绘图的图形库,相关内容请参见有关书籍。

很多大型 CAD/CAX 软件不仅提供标准格式的导入/导出,还直接提供输入/输出其他 CAD 软件的文件格式。如图 1-14 所示是 UG NX 中导入/导出其他文件格式的菜单。UG NX 除了直接支持一些常用的 CAD/CAM 软件的文件格式(如 CATIA、Pro/E)外,还支持 Parasolid、CGM 和 VRML 等。



图 1-14



- Parasolid 是 UG NX 的图形核心库, 包含了绘制和处理各种图形的库函数。有关图形核心库及其相关标准, 读者可参见其他有关书籍及资料。
- CGM(Computer Graphics Metafile, 计算机图形图元文件)包含矢量信息和位图信息, 是许多组织和政府机构(包括英国标准协会(BSI)、美国国家标准化协会(ANSI)和美国国防部等)使用的国际性标准化文件格式。CGM 能处理所有的三维编码, 并解释和支持所有元素, 完全支持三维线框模型、尺寸、图形块等输出。目前, 所有的 Word 软件都能支持这种格式。
- VRML(Virtual Reality Modeling Language, 虚拟现实造型语言)定义了一种把三维图形和多媒体集成在一起的文件格式。从语法角度看, VRML 文件显式地定义已组织起来的三维多媒体对象集合; 从语义角度看, VRML 文件描述的是基于时间的交互式三维多媒体信息的抽象功能行为。VRML 文件的解释、执行和呈现通过浏览器实现。

1.10 三维建模系统的组成

三维建模系统是 CAX 软件的基础和核心, 常常通过 CAX 软件体现其价值。图 1-15 显示了 CAD 系统的组成。

三维建模系统的组成与此类似, 主要由计算机硬件与软件组成, 硬件包括网络、计算机、绘图仪、打印机等平台; 软件包括系统软件、支撑软件和应用软件等, 主要有操作系统、网络协议、数据库管理系统(DBMS)、CAD 工具软件(包括三维建模软件), 以及在 CAD 软件基础上开发的各种工程应用软件系统。图 1-15 不仅体现了三维建模系统的组成, 也体现了三维建模系统在整个系统中所处的位置。

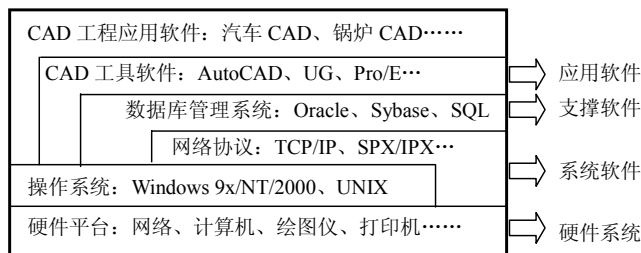


图 1-15

1.11 CAD/CAM/CAE 软件分类

CAD/CAM/CAE 软件种类众多, 功能丰富, 按照软件的应用领域, 可以分为工业造型设计、机械设计与制造、行业专用软件等。

- 工业造型设计软件(包括电影动画制作软件): 3ds max、Rhino、Maya 等。
- 机械设计与制造软件(包括模具设计制造软件): 此类软件数量众多, 如 UG NX、Pro/E、CATIA、SolidEdge、SolidWorks、Delcom 系列、Cimatron、Inventor 等。

- 行业专用软件: 针对行业的专用 CAD/CAM 软件, 如服装面料设计、款式设计软件(如 ET、格柏、PGM、富怡等); 鞋类设计软件(如 DIMENSIONS、SHOECAM、FORMA、SHOEMAGIC、SHOE-MAKER 等); 雕刻软件(如 Type3、ARTCAM 等)。
- 其中, 机械设计与制造类软件应用最广。

1.12 常用 CAD/CAM/CAE 软件简介

CAX 软件通常起源于工程应用, 一般最初都是一些大型企业为了自身产品设计需要而研制的, 以后逐渐发展为独立的信息系统公司, 软件逐步商品化。例如, UG NX 软件最初由美国麦道(MD)公司开发, CATIA 由法国达索(Dassault)公司开发, I-DEAS 软件由美国国家航空航天局(NASA)支持。这些软件经过近 40 年的不断融合与发展, 逐渐形成了以下几个主流软件。

1.12.1 CATIA

CATIA 软件是法国达索公司的 CAD/CAM/CAE 一体化软件, 居世界 CAD/CAM/CAE 领域的领导地位, 其强大的曲面设计功能在飞机、汽车、轮船等行业享有很高的声誉。

CATIA V5 版本基于微机平台, 曲面设计能力强大, 功能丰富, 可对产品开发过程中的概念设计、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等各个方面进行仿真, 并能够实现工程人员间的电子通信。

CATIA 包括机械设计、工业造型设计、分析仿真、厂矿设计、产品总成、加工制造、设计与系统工程等功能模块, 可以供用户选择购买, 如创成式工程绘图系统 GDR、交互式工程绘图系统 ID1、装配设计 ASD、零件设计 PDG、线架和曲面造型 WSF 等, 这些模块组合成不同的软件包, 如机械设计包 P1、混合设计包 P2 和机械工程包 P3 等。P3 功能最强, 适合航空、航天、汽车整车厂等用户, 一般企业通常选 P2 软件包。

CATIA 源于航空航天业, 但其强大的功能得到各行业的认可, 例如, 在欧洲汽车业, CATIA 已成为事实上的标准。目前, CATIA 广泛应用于航空航天、汽车制造、造船、机械制造、电子/电器、消费品行业, 几乎涵盖了所有的制造业产品。

1.12.2 I-DEAS

I-DEAS 软件最初由美国 SDRC 公司研制, 目前属于德国西门子公司。

I-DEAS 最初从结构化分析起家, 后来逐步形成了涵盖 CAD/CAM/CAE/PDM 全过程的集成软件系统, 以动态导引器和 VGX(超变量几何)技术著名, 分析功能尤其卓越, 能解决大部分工程问题。I-DEAS 界面友好, 导航功能操作方便, VGX 技术对建模技术产生较大影响。

I-DEAS Master Series 9 版本是工业界最完善的机械 CAD/CAM/CAE 系统之一, 由 70 多个紧密集成的模块组成, 覆盖产品设计、绘图、仿真、测试、加工制造的整个产品开发过程, 功能强大且易于使用。其主要功能模块包括核心功能(如实体造型和建模、曲面造型、装配等)、工程设计、项目组管理、工程分析和加工。

I-DEAS 软件主要应用于航空航天、汽车、家电产品及工业制造业。



1.12.3 Pro/ENGINEER

Pro/ENGINEER(简称 Pro/E)是美国 Parametric Technology Corporation(PTC)公司的产品。Pro/E 以其参数化、基于特征、全相关等概念闻名于 CAD 界,操作较简单,功能丰富。

Pro/E 基本功能包括三维实体建模和曲面建模、钣金设计、装配设计、基本曲面设计、焊接设计、二维工程图绘制、机构设计、标准模型检查及渲染造型等,并提供大量的工业标准及直接转换接口,可进行零件设计、产品装配、数控加工、钣金件设计、铸造件设计、模具设计、机构分析、有限元分析和产品数据管理、应力分析、逆向工程设计等。

Pro/E 广泛应用于汽车、机械及模具、消费品、高科技电子等领域,在我国应用较广。Pro/E 的主要客户有空客、三菱汽车、施耐德电气、现代起亚、大长江集团、龙记集团、大众汽车、丰田汽车、阿尔卡特等。

1.12.4 UG NX

UG(Unigraphics 的简称)NX,起源于美国麦道航空公司,目前属于德国西门子公司(具体请参看本书“第2章 UG NX 软件概述”,此处不再赘述)。

1.12.5 SolidEdge

SolidEdge 是 UGS 公司的中档 CAD 软件产品,目前归属德国西门子公司。SolidEdge 基于 Windows 操作系统,主要包括实体造型、装配、模塑加强、钣金及绘图等模块,在汽车、电子等企业的零配件设计方面拥有广泛的用户团体,客户包括 Alcoa、NEC Engineering、Volvo 等。

1.12.6 SolidWorks

SolidWorks 与 SolidEdge 软件属于同等档次的软件,原属于 SolidWorks 公司,1997 年被达索公司收购。SolidWorks 软件是基于 Windows 的微机版特征造型软件,能完成造型、装配、制图等功能,用户界面友好,易学易用,价格适中,适合中小型工业企业选购。

1.12.7 Cimatron

Cimatron 软件是以色列 Cimatron 公司的产品,是工模具行业中非常有竞争实力的 CAD/CAM 软件,也是全球最强的电极设计和加工软件之一,其微铣削功能较有特色。Cimatron 主要应用于汽车、航空航天、计算机、电子、消费类商品、医药、军事、光学仪器、通信产品和玩具等领域,主要客户包括福特、尼桑、三菱、通用、一汽大众、长春客车、海尔集团、春兰空调等著名企业。

1.12.8 Mastercam

Mastercam 软件是美国 CNC 公司的产品。Mastercam 基于 PC 平台,可以完成形体几何造

型、曲面加工编程、刀具路径校验、后处理等工作，在模具加工行业拥有众多客户。

1.13 如何选用合适的软件

CAD/CAM/CAE 软件由于应用广泛，呈现出百花齐放的局面，一方面为不同特色的软件提供了应用“土壤”，另一方面也为企业选用合适的软件产品带来了一定的困惑。在一个企业中，存在多种 CAD 软件是非常常见的。

目前，市场上流行的 CAD/CAM/CAE 软件是经历了无数次兼并融合发展的结果，每个软件都有其特点，功能非常丰富。但是，软件只是工具，如同手绘图纸中的笔和尺，最终要应用到各个领域才能体现价值。企业必须选择合适的软件，并能用软件解决实际问题。

如何选择软件呢？CAD/CAM/CAE 软件通常价格较高，一旦选定后不可能经常更换，因此，选择软件是比较慎重的事情。一般来说，选择软件首先必须以适用为原则，同时考虑软件的价格、扩充性、配套和售后服务等因素。具体地，主要应从以下几个方面考虑。

- 考虑软件功能、硬件要求、使用起点等因素，选择适合本行业产品的特点和需求的软件，不唯软件论。例如，汽车、摩托车等产品对曲面造型、数控加工要求较高，因此，该类产品的生产企业和配套企业大多选用 UG NX 或 CATIA 软件；而对一些系列化、标准化的通用产品开发，Pro/E 也是常见的选择。
- 考虑企业应用需求扩充的可能性，选择软件应有前瞻性。例如，原先主要做加工的企业，以后可能涉及一部分设计工作，选择软件时就不能只选择面向加工的软件。
- 考虑软件的行业普及性。为大型企业提供外包和配套生产的企业，常常被要求采用与其相同的 CAD/CAM 软件，选择软件时应特别注意。另外，应用面较广的软件在配套资料、软件培训、售后服务等方面通常也有较大的优势。
- 注意软件的发展趋势，考虑软件提供商软件开发、升级方面的投入，尽量选择发展前景好、可持续性发展的软件。
- 考虑价格因素。应根据自身的经济能力，综合考虑软件的性价比来选择合适的软件。

值得注意的是，各种软件的核心功能往往大同小异，而这些功能已经能够满足大多数产品的建模要求。掌握三维建模技术的关键并不在于软件的功能及其操作是否熟练，而在于是否能够掌握正确的建模思路 and 技巧，灵活运用这些功能进行建模。因此，软件的使用人员要不断提高自己使用软件的水平，灵活运用软件提供的功能解决实际问题。

1.14 本章小结

本章介绍了三维建模中容易混淆的一些基本概念，这些概念对于理解三维建模的原理非常重要。

为了在计算机中建立物体的三维数字模型，先后产生了线框建模、曲面建模、实体建模方法。在实体建模方法基础上又发展了特征建模、参数化建模和变量化建模方法，这些方法各有特点，现有的 CAD/CAM 软件大多采用实体建模和曲面建模为主的混合建模技术。

三维模型建立之后，还存在数据交换的问题。不同的建模软件有不同的数据格式，通过



图形交换标准实现相互间的数据传递。DXF、IGES、STEP、STL 等是常用的图形交换标准。

本章对常见的 CAD/CAM/CAE 三维建模软件进行了简要介绍,使读者对目前 CAD/CAM/CAE 软件有一个概貌性的了解,然后给出了软件选用的基本原则。选择软件必须以适用为原则,同时综合考虑软件的功能、扩充性、行业普及性、发展趋势、价格、配套和售后服务等因素。

三维建模是在计算机上借助三维建模软件建立产品的三维数字模型的过程;在计算机上利用三维建模技术建立的三维数字形体,称为三维数字模型,简称三维模型。

同二维图纸相比,三维模型能够直观、无二义性地表达现实世界的物体,优越性显而易见。在目前计算机软、硬件发展完全可以支撑三维建模系统的情况下,三维模型必将取代二维图纸成为工程界的通用语言,三维建模技术必将取代二维工程制图,成为工程技术人员必备的基本技能,二维图纸的功能则将慢慢退化,主要供加工过程中校核之用。

三维建模技术是现代设计、制造技术的核心,计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机辅助分析(CAE)等技术必须建立在三维建模的基础上。目前,建立在三维建模上的产品涉及人类生活的方方面面,从航空航天、汽车、船舶等大工业,到家用电器、玩具、珠宝首饰、电影制作、游戏等领域,无处不在,渗透到人们的日常生活中。

为了掌握三维建模技术,必须掌握三维建模技术的基础知识、基本原理与造型思路,至少熟悉一个三维建模软件。本章给出了一些学习三维建模技术的建议。

1.15 思考与练习

1. 什么是三维建模技术?
2. 在现代工程技术中,为什么说三维建模技术是工程技术人员所必须具备的技能?
3. 三维建模技术与 CAD/CAM/CAE 等计算机辅助技术之间是什么关系?
4. 如何学好三维建模技术?
5. 什么是形体的“维”?为什么空间曲线是一维图形对象,而曲面是二维图形对象?
6. 三维建模系统由哪些部分组成?
7. 图形与图像有什么区别?
8. 在计算机屏幕上缩放图形会改变形体的大小吗?怎样才能真正改变形体的大小?
9. 三维建模与二维制图是什么关系?
10. 三维建模技术有哪些流派?
11. 在一个 CAD 软件上建立的三维模型能够被另外的 CAD 软件识别吗?怎样识别?
12. 常用的 CAD/CAM 软件有哪些?各有什么特点?主要应用于哪些领域?
13. 选择 CAD/CAM 软件应考虑哪些因素?