CAD/CAM 技能型人才培养系列教材

三维造型技术基础

(第 2 版)(NX 2406)

单 岩　吴立军　蔡 娥　主　编

清華大學出版社

北　京

内 容 简 介

本书以 NX 2406 版本为基础，系统介绍三维造型技术的基本知识、软件操作与工程应用。本书共 11 章，分为 3 个教学单元：三维建模基础知识(第 1 章)、NX 软件操作(第 2～10 章)、综合实例(第 11 章)，构建了“知识—技能—思路—实践”相结合的教学体系。

本书首版被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，并入选 SIEMENS GO PLM 推荐书目；修订版获评浙江省“十四五”普通高等教育本科规划教材，2024 年入选浙江大学经典教材目录。本次新版在内容结构、案例更新与资源支持方面全面升级，更契合制造业数字化转型对工程人才的培养需求。

本书内容兼顾理论与实践，结构清晰、案例丰富，并配套提供 PPT 课件、操作视频、源文件、题库系统和知识图谱，可满足教学与自学双重场景需求。

本书可作为高等院校机械类、工业设计类及智能制造相关专业的课程教材，也可供相关领域工程技术人员自学与参考使用。

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。举报：010-62782989，beiqinquan@tup.tsinghua.edu.cn

图书在版编目(CIP)数据

三维造型技术基础 : NX 2406 / 单岩, 吴立军, 蔡娥主编. -- 2 版. -- 北京 : 清华大学出版社, 2026. 3.
(CAD/CAM 技能型人才培养系列教材). -- ISBN 978-7-302-71092-9

Ⅰ. TP391.72

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2026QK0198 号

责任编辑：刘金喜
封面设计：范惠英
版式设计：妙思品位
责任校对：成凤进
责任印制：沈 露

出版发行：清华大学出版社
网 址：https：//www.tup.com.cn，https：//www.wqxuetang.com
地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084
社 总 机：010-83470000 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：涿州市般润文化传播有限公司
经 销：全国新华书店
开 本：185mm×260mm **印 张：**20.25 **字 数：**532 千字
版 次：2008 年 12 月第 1 版 2026 年 5 月第 2 版 **印 次：**2026 年 5 月第 1 次印刷
定 价：78.00 元

产品编号：110658-01

前　言

在现代制造业中，曾被称为“工程师语言”的工程制图，其地位正在被一种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转变为制造业工程师的必备技能，成为工程师日常设计和交流的工具。三维模型作为三维造型技术的直接成果，不仅是产品设计的直观表达，更是现代数字化技术生态中的关键要素，是 CAM、CAE、数字孪生、元宇宙产品等现代数字化技术的基础构件，也是构建现代工程数字生态的起点。

本书自 2008 年首次出版以来，广受高校师生和业界人士好评，并入选“普通高等教育‘十一五’国家级规划教材”，成为 SIEMENS PLM SOFTWARE 公司 GO PLM 项目推荐教材。其后，本书分别于 2014 年、2020 年进行两次改版。2024 年，本书修订版《UG NX 12 三维造型技术基础》(ISBN 978-7-302-53426-6)被列入浙江大学经典教材目录，获评“浙江省‘十四五’普通高等教育本科规划教材”。本次再版将沿用首版书名，以减少对具体软件版本的依赖。

本书为满足普通高等院校机械类、工业设计类及智能制造相关专业三维造型课程的教学需求而编写，凝聚了浙江大学团队在三维建模教学、培训及工程实践中的丰富经验。本书共 11 章，分为 3 个教学单元：三维建模基础知识(第 1 章)、NX 三维造型软件操作技能(第 2～10 章，基于 NX 2406 版本)、三维建模的设计思路与综合应用(第 11 章)。本书通过系统的内容构建了“基础知识—操作技能—设计思路—实战应用”的四位一体教学体系，兼顾系统性与实用性，既适用于课堂教学，也可作为机械类工程技术人员的自学参考书。

本书由单岩(浙江大学)、吴立军(浙江科技大学)、蔡娥(浙江大学)主编。由于编写时间有限，书中难免存在不足之处，敬请广大读者批评指正。我们诚挚欢迎您通过以下方式与我们交流反馈：

电话：010-62784096；邮箱：476371891@qq.com

杭州绪日科技有限公司、杭州万维镜像科技有限公司为本书提供了丰富的辅助资源，包括 PPT 课件、实例源文件与结果文件、操作演示视频等。操作演示视频可通过扫描书中二维码观看，课件及源文件可通过扫描下方二维码获取。

杭州学呗科技有限公司为本书提供了立体化教学资源平台“学呗课堂”，该平台涵盖教学视频、实例资源、知识图谱、练考宝典等内容。读者可通过扫描下方二维码，按照相关步骤免费获取学生版资源库。任课教师可通过电话或邮箱与作者联系，申请获取教师版资源库并使用教学管理平台，以发布导学、作业、考试任务，实现成绩分析等功能。

最后，谨向为本书出版提供大力支持的清华大学出版社表示衷心感谢！

服务邮箱：476371891@qq.com。

PPT 课件

实例源文件与结果文件

学生版资源库

教师版资源库

编者

2026 年 1 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……3
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……8
1.6　如何学好三维建模技术……9
1.7　三维建模相关的基本概念……9
1.7.1　什么是维……10
1.7.2　图形与图像……10
1.7.3　图形对象……11
1.7.4　视图变换与物体变换……12
1.7.5　人机交互……12
1.8　三维建模种类……13
1.8.1　特征建模……13
1.8.2　参数化建模……14
1.8.3　变量化建模……14
1.9　图形交换标准……14
1.9.1　二维图形交换标准(DXF)……15
1.9.2　初始图形交换规范(IGES)……15
1.9.3　产品模型数据交换标准(STEP)…15
1.9.4　3D模型文件格式(STL)……16
1.9.5　其他图形格式转换……16
1.10　三维建模系统的组成……17
1.11　CAD/CAM/CAE软件分类……17
1.12　常用CAD/CAM/CAE软件简介……18
1.12.1　CATIA……18
1.12.2　NX……18
1.12.3　Creo……18
1.12.4　I-DEAS……19
1.12.5　SolidWorks……19
1.12.6　Cimatron……19
1.12.7　Mastercam……19
1.13　本章小结……19
1.14　思考与练习……20

第 2 章　NX 软件概述……21
2.1　NX 软件简介……21
2.2　NX 软件的技术特点……21
2.3　NX 软件的常用功能模块……22
2.4　NX 软件的工作流程……23
2.5　基于NX 的产品设计流程……24
2.6　本章小结……24
2.7　思考与练习……24

第 3 章　NX 基本操作……25
3.1　NX 工作环境……25
3.1.1　NX用户界面……25
3.1.2　功能区……27
3.1.3　鼠标操作……28
3.1.4　菜单……29
3.1.5　快捷菜单……35
3.2　定制工作环境……37
3.2.1　切换语言界面……37
3.2.2　定制选项卡……38
3.2.3　用户默认设置……40
3.2.4　模板……41
3.2.5　角色……41

3.3 快捷键……43
3.3.1 常用快捷键……43
3.3.2 自定义快捷键……43
3.4 对象选择……44
3.4.1 直接选择……44
3.4.2 取消选择对象……44
3.4.3 类选择器……44
3.4.4 上边框条……45
3.4.5 快速拾取……46
3.4.6 选择首选项……46
3.5 图层与组……47
3.5.1 图层……47
3.5.2 组……48
3.5.3 特征分组……49
3.6 坐标系……49
3.6.1 动态……50
3.6.2 原点……50
3.6.3 旋转……51
3.6.4 定向……51
3.6.5 显示……54
3.6.6 保存……54
3.7 基本元素的创建……54
3.7.1 点……54
3.7.2 矢量……56
3.7.3 基准平面及平面……58
3.8 几何变换……61
3.8.1 变换……61
3.8.2 移动对象……64
3.9 本章小结……68
3.10 思考与练习……68

第 4 章 草图……69

4.1 草图概述……69
4.1.1 草图与特征……69
4.1.2 草图与层……69
4.1.3 草图功能简介……70
4.1.4 草图参数预设置……70
4.1.5 创建草图的一般步骤……71
4.2 创建草图……71
4.2.1 基于平面……71
4.2.2 基于路径……72
4.3 内部草图与外部草图……72
4.3.1 内部草图与外部草图的基本概念……72
4.3.2 内部草图和外部草图之间的区别……73
4.3.3 使草图外部化或内部化……73
4.4 创建草图对象……73
4.4.1 自由手绘草图曲线……73
4.4.2 投影曲线……74
4.5 约束草图……74
4.5.1 自由度……74
4.5.2 几何约束……75
4.5.3 尺寸约束……77
4.5.4 约束技巧与提示……78
4.6 草图操作……79
4.6.1 编辑曲线……79
4.6.2 编辑定义截面……79
4.6.3 偏置曲线……80
4.6.4 镜像曲线……80
4.7 草图管理……80
4.7.1 完成草图……80
4.7.2 草图名……81
4.7.3 定向到草图……81
4.7.4 定向到模型……81
4.7.5 重新附着……81
4.7.6 创建定位尺寸……81
4.7.7 草图评估……81
4.7.8 更新模型……82
4.8 草图实例……82
4.8.1 垫片零件草图的绘制……82
4.8.2 吊钩零件草图的绘制……84
4.9 本章小结……85
4.10 思考与练习……86

第 5 章　实体建模……87
5.1　实体建模概述……87
5.1.1　基本术语……87
5.1.2　NX 特征的分类……88
5.1.3　NX 实体特征工具……88
5.1.4　建模流程……89
5.2　体素特征与布尔操作……89
5.2.1　体素特征……89
5.2.2　布尔操作……93
5.3　基准特征……95
5.3.1　基准轴……95
5.3.2　基准平面……95
5.3.3　基准坐标系……95
5.4　扫掠特征……97
5.4.1　拉伸……97
5.4.2　旋转……100
5.4.3　沿引导线扫掠……102
5.4.4　管道……103
5.5　设计特征……103
5.5.1　设计特征概述……104
5.5.2　孔……106
5.5.3　凸起……108
5.5.4　槽……108
5.5.5　凸台……110
5.5.6　腔……111
5.5.7　垫块……113
5.5.8　键槽……114
5.6　细节特征……117
5.6.1　拔模……117
5.6.2　倒斜角……120
5.6.3　边倒圆……120
5.6.4　面倒圆……125
5.6.5　美学面倒圆……128
5.6.6　镜像体和镜像特征……128
5.6.7　修剪体……129
5.6.8　缝合……130
5.6.9　螺纹……131
5.6.10　抽壳……131
5.6.11　偏置面……132
5.7　编辑特征……133
5.7.1　编辑特征参数……133
5.7.2　移除参数……134
5.7.3　抑制特征……135
5.7.4　取消抑制特征……136
5.8　实体建模实例……136
5.8.1　实体建模……136
5.8.2　轴零件……140
5.9　本章小结……143
5.10　思考与练习……144
第 6 章　曲线……145
6.1　曲线工具概述……145
6.2　创建曲线……146
6.2.1　草图……146
6.2.2　一般二次曲线……149
6.2.3　点集……151
6.2.4　艺术样条……153
6.2.5　基本曲线……155
6.3　派生曲线……161
6.3.1　偏置曲线……161
6.3.2　桥接曲线……162
6.3.3　复合曲线……164
6.3.4　投影曲线……165
6.3.5　相交曲线……166
6.3.6　组合投影……167
6.3.7　截面曲线……168
6.3.8　在面上偏置曲线……170
6.3.9　抽取曲线……170
6.4　编辑曲线……171
6.4.1　编辑曲线参数……171
6.4.2　修剪曲线……171
6.4.3　分割曲线……172
6.4.4　曲线长度……173
6.4.5　修剪拐角……173
6.4.6　编辑圆角……174

6.5 曲线分析……174
6.5.1 曲线、曲面间的连续关系……174
6.5.2 曲率梳分析……175
6.5.3 峰值分析……177
6.5.4 拐点分析……177
6.6 本章小结……177
6.7 思考与练习……177

第 7 章 曲面建模……179
7.1 曲线(面)建模原理……179
7.1.1 自由曲线与自由曲面的基本原理……179
7.1.2 理解曲面建模功能……186
7.2 曲面功能概述……192
7.2.1 自由曲面构造方法……192
7.2.2 自由曲面工具条……192
7.2.3 基本概念……193
7.2.4 基本原则与技巧……194
7.3 由点构建曲面……195
7.3.1 通过点……195
7.3.2 从极点……196
7.3.3 拟合曲面……196
7.4 由线构建曲面……197
7.4.1 直纹面……197
7.4.2 通过曲线组……199
7.4.3 通过曲线网格……200
7.4.4 扫掠……201
7.4.5 截面曲面……205
7.5 基于已有曲面构成新曲面……207
7.5.1 延伸片体……207
7.5.2 *N* 边曲面……208
7.5.3 偏置曲面……209
7.5.4 修剪片体……209
7.5.5 修剪和延伸……211
7.6 编辑曲面……212
7.6.1 扩大……212
7.6.2 局部取消修剪和延伸……213
7.7 曲面分析……213
7.7.1 截面分析……213
7.7.2 高亮线分析……214
7.7.3 曲面连续性分析……215
7.7.4 半径分析……216
7.7.5 反射分析……217
7.7.6 斜率分析……218
7.7.7 距离分析……218
7.7.8 拔模分析……219
7.8 手机外壳底板建模……220
7.9 本章小结……224
7.10 思考与练习……224

第 8 章 装配功能……225
8.1 装配功能简介……225
8.1.1 概述……225
8.1.2 装配模块调用……226
8.1.3 装配术语……226
8.1.4 装配中部件的不同状态……227
8.1.5 装配的一般思路……228
8.2 装配导航器……228
8.2.1 概述……228
8.2.2 装配导航器的设置……229
8.3 从底向上装配……230
8.3.1 概念……230
8.3.2 装配约束……231
8.3.3 移动组件……235
8.3.4 引用集……239
8.4 组件的删除、隐藏与抑制……242
8.5 自顶向下装配……242
8.6 部件间建模……243
8.7 爆炸视图……246
8.7.1 爆炸视图的概念……246
8.7.2 爆炸视图的创建……246
8.7.3 爆炸视图的操作……248
8.8 脚轮装配实例……249
8.9 本章小结……251
8.10 思考与练习……252

第 9 章　工程制图……253
9.1　工程制图概述……253
9.1.1　NX工程图的特点……253
9.1.2　制图模块的调用方法……253
9.1.3　NX出图的一般流程……254
9.2　工程图纸的创建与编辑……254
9.2.1　创建工程图纸……254
9.2.2　打开工程图纸……255
9.2.3　编辑工程图纸……256
9.2.4　删除工程图纸……256
9.3　视图的创建……256
9.3.1　基本视图……257
9.3.2　投影视图……258
9.3.3　局部放大图……259
9.3.4　剖视图……260
9.4　视图编辑……264
9.4.1　移动与复制视图……264
9.4.2　视图对齐……265
9.4.3　移除视图……266
9.4.4　自定义视图边界……266
9.4.5　视图相关编辑……267
9.4.6　更新视图……268
9.5　标注尺寸……268
9.5.1　尺寸标注的类型……269
9.5.2　标注尺寸的一般步骤……269
9.6　参数预设置……270
9.6.1　制图首选项……270
9.6.2　视图参数预设置……270
9.6.3　标注参数预设置……271
9.7　数据转换……273
9.8　法兰轴工程图实例……273
9.9　本章小结……280
9.10　思考与练习……280
第 10 章　同步建模……281
10.1　同步建模概述……281
10.1.1　同步建模技术……281
10.1.2　同步建模工具……281
10.2　同步建模功能……282
10.2.1　移动面……282
10.2.2　偏置区域……283
10.2.3　替换面……284
10.2.4　删除面……284
10.2.5　调整圆角大小……285
10.2.6　调整面的大小……285
10.2.7　复制面……286
10.2.8　尺寸与关联……288
10.3　同步建模实例……291
10.4　本章小结……293
10.5　思考与练习……293
第 11 章　三维造型思路及应用实例……294
11.1　实体建模的基本思路……294
11.1.1　建模树法……294
11.1.2　三维建模软件的使用……295
11.1.3　实体建模……296
11.2　简单实例解析……296
11.2.1　方案一……297
11.2.2　方案二……297
11.3　曲面建模的基本思路……298
11.4　小家电外壳实例解析……298
11.4.1　分析阶段……299
11.4.2　实现阶段……299
11.4.3　软件的具体实现过程……302
11.5　本章小结……312
11.6　思考与练习……313

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一局限，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表达方式。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。本章涉及很多三维建模的背景知识，读者应重点理解三维建模的基本概念和通用原理，这些内容是各类三维建模软件共同的理论基础。

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

目前我们接触的绝大多数印刷资料，包括各种图书、图片、图纸，都是以二维平面形式呈现的。而现实世界是一个三维的世界，任何物体都具有三个维度，要完整地描述现实世界的物体，需要用 X、Y、Z 三个坐标来度量。因此，传统的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形态。

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信息的。

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、方向投影所得到的物体的情况。根据这些视图及既定的制图规则，借助人类的抽象思维，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，也就无法进行产品设计和制造，进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，而不用经历从三维投影到二维、再从二维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。

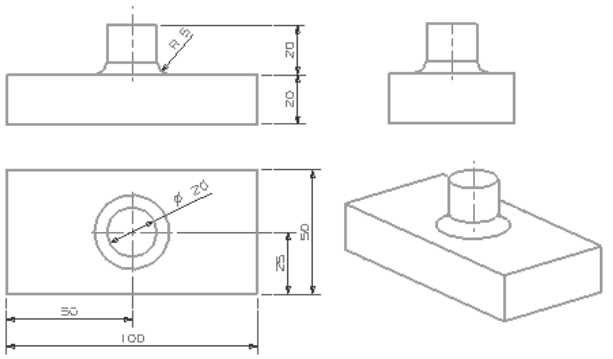


图 1-1

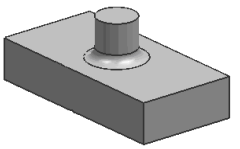


图 1-2

三维建模技术可以直接将人脑中构思的产品通过三维模型来呈现，无须借助二维图纸、制图规范及抽象思维就可获得产品的三维空间结构，因此具有直观性、有效性、无二义性，减少了误解和错误。三维模型还可直接用于工程分析，帮助设计人员尽早发现设计缺陷，从而大大提高设计效率和可靠性。

过去，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未能实现实用化，人们不得不借助二维图纸来设计和制造产品。如今，计算机性能大幅提升，CPU 的运算速度、内存和硬盘的容量、显卡 GPU 技术等硬件条件完全可以满足三维建模软件的运行需求，且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/计算机辅助工程，统称 CAX 技术)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与制造的周期。

毫无疑问，“设计的飞跃——从二维到三维”不仅是工具的升级，更是设计思维和流程的全面革新。三维设计提升了工程精度、工作效率和创新能力，推动了现代工程和制造业的发展。三维建模技术将取代二维图纸，成为现代产品设计与制造的必备工具；同时，该技术也将成为工程人员必备的基本技能，并成为高校理工科专业的必修课程。

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 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？ 想象这样一幅画面：炉火旁，孩子依偎着父亲，看着父亲反复切削一块木料，在孩子专注的目光中，这块木料逐渐成为一把精致的弹弓。这个从原材料到立体成品的塑造过程，就是直观的三维建模过程。三维建模在现实中非常常见，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，都是将人们头脑中构思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。

计算机在不足百年的发展历程中，几乎彻底改变了人类的生产、生活和生存方式。如今，人脑中想象的大多数物体，都能够通过“电脑”实现数字化再现。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。

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。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，但是这个模型不仅具有完整的三维几何信息，还具有材料、颜色、纹理等非几何信息。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，通过缩放模型来模拟现实世界中观察物体的距离远近，仿佛物体就置于自己眼前。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。

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建立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 软件通常包含三维建模系统，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——NX(Siemens 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。尽管不同 CAX 软件的功能、操作方式等存在差异，但基本原理类似，学会使用一种建模软件后，应用其他软件将非常容易。

三维建模系统的主要功能是提供三维建模的环境和工具，帮助人们建立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，以及切削与装配过程的模拟等。三维建模系统的具体功能如下。

- 形体构造：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)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。

接下来，以模制产品的开发流程为例，介绍 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。

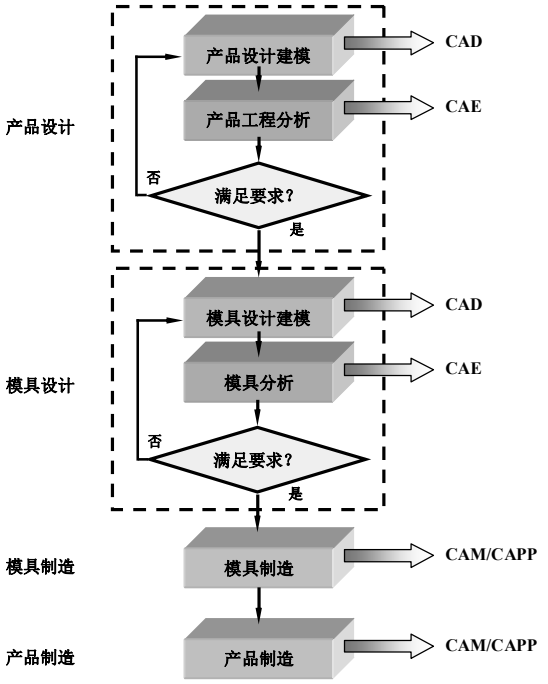


图 1-3

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，避免因设计问题导致模具返修甚至报废。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

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，因此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，通常会用到 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，若要设计生产如图 1-4 和图 1-5 所示的产品，必须先建立其三维模型。没有三维建模技术的支持，CAD 技术无从谈起。

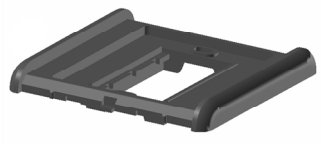


图 1-4

图 1-5

产品和模具的 CAE 分析，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。

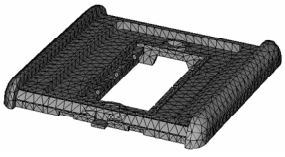


图 1-6

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，即加工模具时刀具的运动轨迹。刀具按照这样的轨迹进行加工，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。

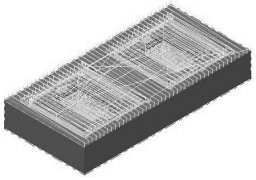


图 1-8

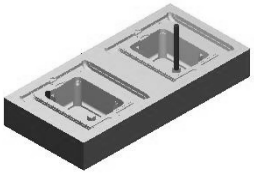
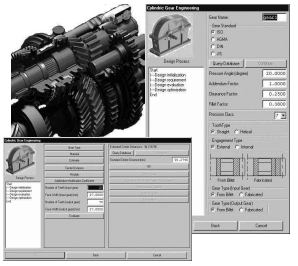


图 1-9

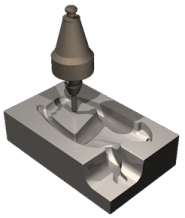
上述模制产品的设计制造过程充分表明，三维建模技术是 CAD/CAE/CAM 等 CAX 技术的核心和基础，没有三维建模技术，CAX 技术将无从谈起。

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造型设计，从正向设计制造到逆向工程、快速原型，如图 1-10 所示。



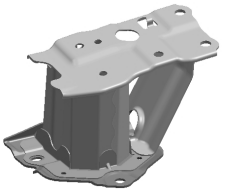
(a) 产品结构设计

(b) 产品外观造型设计



(c) 产品加工

(d) 工程分析



(e) 逆向工程(RE)

(f) 快速原型(RP)

图 1-10

1.4 无处不在的三维建模

目前，三维建模技术已被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、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、考古等领域。

近年来，三维建模技术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 技术已有数十年的历史，如《流浪地球》《钢铁侠》《星球大战》等科幻片，以及完全用三维动画技术制作的影片《哪吒之魔童降世》《大圣归来》《机器人总动员》等。三维动画技术可以实现编剧构想的各种特技，设

计出人工实拍难以实现的布景，为观众营造一种新奇、独特和难以想象的环境，如《阿凡达》系列电影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。三维动画技术不仅节省了大量的人力、物力，降低了拍摄成本，还为利用现代科技研发新产品提供了思路，如“007”系列电影中出现的间谍与反间谍虚拟设备，启发了新型影像监视产品的开发，促进了该领域的技术革新。

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。随着计算机三维建模技术的成熟及相关建模软件的实用化，这种局面被彻底改变了。

1.5.1 三维建模技术的发展史

三维建模的概念和技术萌芽于 20 世纪 60 年代初期。1963 年，Ivan Sutherland 在其博士论文中提出的 Sketchpad 系统，被认为是最早的交互式计算机绘图工具。虽然该系统主要应用于二维设计，但其交互式绘图理念为后续的三维建模奠定了基础。

在 CAD 技术发展的初期，几何建模的目标主要局限于计算机辅助绘图，即以绘制二维工程图为主。由于当时计算机硬件性能有限且软件算法尚不成熟，其功能主要围绕基本图形元素的绘制与编辑，以满足简单的工程制图需求。到了 20 世纪 70 年代，三维几何建模开始成为 CAD 领域的研究重点，Bezier 曲线、B-spline 曲线等数学方法的引入，使得更复杂的曲面建模成为可能，为后续三维 CAD 技术的发展奠定了数学基础。

进入 21 世纪后，计算机硬件性能大幅提升，中央处理器(CPU)计算速度的提高、图形处理单元(GPU)并行计算能力的增强、内存和存储容量的快速增长，使得计算密集型的三维建模任务变得更加高效。同时，软件技术也在不断创新，建模算法的优化、图形界面的改进、基于 GPU 的实时渲染技术(如 NVIDIA 的 CUDA 和 OpenGL/DirectX)的应用，进一步推动了三维建模的发展。这些技术进步使得三维建模技术的应用领域得到了极大拓展，主要体现在以下方面。

- 工程设计领域(如机械产品设计、建筑结构设计)：提高了设计精度与效率。
- 医学领域(如医学影像分析、虚拟手术模拟)：辅助精准医疗。
- 教育行业(如虚拟实验教学、沉浸式学习场景构建)：提升了学生的学习体验。
- 元宇宙产业(如虚拟场景搭建、数字化身创建)：推动了数字孪生与虚拟现实技术的发展。

CAD 技术经历了从二维绘图向三维产品建模的转变，这一过程不仅是计算机技术的升级，更是设计理念与工作流程的革新。在这一发展过程中，三维建模技术形成了一套完整的技术体系，具体如下。

- 线框建模(wireframe modeling)：通过定义物体的棱边和顶点来构建模型，能够快速呈现物体的基本形状，但由于缺乏拓扑信息，难以直接用于复杂建模和物理仿真。
- 曲面建模(surface modeling)：基于 Bezier 曲线、B-spline、NURBS(非均匀有理 B 样条)等数学方法精确描述物体表面，在汽车、航空航天等领域的高精度曲面设计中至关重要。
- 实体建模(solid modeling)：采用 B-rep(边界表示)法和 CSG(体素构造表示)法，能够创建具有真实物理属性的三维实体模型，为后续的工程分析、仿真和制造奠定坚实基础。

- 特征建模(feature modeling)：将设计特征(如孔、槽、凸台等)作为基本单元，使建模过程更符合工程师的思维习惯，提高设计效率。
- 参数化建模(parametric modeling)：通过建立模型参数与几何形状之间的关联，实现快速修改与更新，极大地增强了设计的灵活性和可编辑性。
- 混合建模(hybrid modeling)：结合曲面、实体、特征等多种建模方式，兼具自由度和精确度，适用于复杂建模需求。

图 1-11 展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，为描述单一零件的基本信息奠定了基础。此后，在实体建模基础上发展出了特征建模技术、参数化建模技术和混合建模技术。基于统一的产品数字化模型，可进行工程分析和数控加工，从而实现 CAD/CAM 集成。

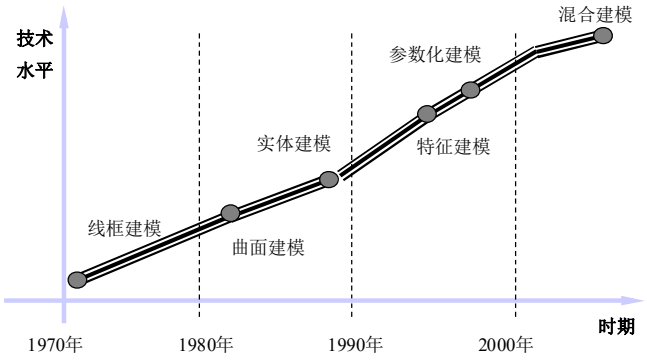


图 1-11

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。这些软件经过数十年的发展、融合和迭代，形成了三大主流系统，即法国达索公司的 CATIA、德国 SIEMENS 公司的 NX(前身为 Unigraphics NX)和美国 PTC 公司的 Creo(前身为 Pro/Engineer)。

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设计与开发能力非常重要。

三维建模系统的主要发展方向如下。

- 标准化：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的构建，增强了跨平台兼容性，使不同设备和系统的协作更加顺畅。
- 集成化：产品各种信息(如材质等)与三维建模系统的集成，实现生成式设计。
- 智能化：三维建模更人性化、智能化，如 AI 与机器学习，实现自动化建模和智能优化，提升效率和质量。
- 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。实现基于云的建模工具将支持多用户实时协作，提升团队效率。
- 专业化：从通用设计向专业设计转型，结合行业经验，实现知识熔接。

- 真实感：使模型在外观形状、物理特性上更加真实。与 VR/AR 深度融合，提供更直观的设计和交互体验，实现沉浸式设计。

无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。未来，三维建模系统将更加智能化、协作化和高精度化，AI、云计算、VR/AR 等技术的融合将推动其在各行业的广泛应用，带来更高效、直观的设计体验。

1.6 如何学好三维建模技术

若想学好三维建模技术，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，其次要熟练使用至少一个三维建模软件，掌握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，这些要素是评价 CAD 工程师三维建模水平的主要依据。目前，常用的 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、思路和技巧，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，就如同获得“渔”的能力，而非仅仅得到“鱼”的成果。

在学习三维建模软件时，不应只注重学习功能及操作方法，而应着重理解软件的整体结构、功能原理和应用背景，这样才能真正掌握并灵活使用软件的各种功能。

同学习其他知识和技能一样，掌握科学合理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。针对三维建模的特点，建议采取以下学习方法。

- 集中精力重点突破。在较短的时间内集中完成一个学习目标，并及时加以应用，避免长时间低效学习。
- 准确把握学习重点。这包括两方面含义：一是将基本原理、思路和应用技巧作为学习重点；二是在学习软件建模功能时注重理解原理。对于高水平的 CAD 工程师而言，产品建模首先需要在脑海中完成构思，后续工作只是借助 CAD 软件将构思具象化。
- 有选择地学习。CAD 软件的功能相当丰富，学习时不应贪多求全，应优先学习最基本、最常用的建模功能，尽快达到初步应用水平，再通过实践及后续的学习加以提高。
- 系统分类软件功能。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体系。
- 培养规范操作习惯。从初学阶段就注重培养规范的操作习惯，在操作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。
- 建立学习记录机制。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”，既要对完成学习目标树立坚定的信心，又要脚踏实地地对待每个学习环节。

1.7 三维建模相关的基本概念

三维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？这里主要是说几何维度。简单地说，“维”指空间的基本方向，用来描述物体的自由度，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”：想象一只蚂蚁沿着曲线爬行，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，则无论该面是平面还是曲面，蚂蚁可以有前后和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，则它有上下、左右和前后三个方向可以选择，即体的自由度是三维的。

那么，“二维绘图”和“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”中的“维”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，图形对象只能是点、线、面等，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	计算机图像处理技术
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，每个点有各自的颜色或灰度，可以理解为色块拼合而成的图形
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		

(续表)

比较项目	图形	图像
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、变换、显示、输出及图形的组合、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。若要了解更多的相关技术知识，则可以查阅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，可以对其进行建立、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，等等，这些“控制点”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。初学者很容易混淆这两类点。

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(鼠标点选或输入两个端点的坐标)、指定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。自由曲线是一种通过参数方程和控制点来构造的曲线。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。例如，长方体的六个表面并不是平面对象，不能创建、编辑或删除，创建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，常见的自由曲面有 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，通常在基本形体或其布尔运算结果的基础上，增加材料(如加凸台、加凸垫等)或减去材料(如开孔、开槽等)，然后进行一些细节处理(如倒角、抽壳等)，最终形成目标形状。

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被放大，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，仅改变观察视角。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、显示器及 VR 设备，对应的交互操作有拾取、输入和显示。

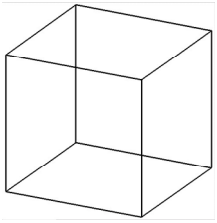
- 拾取：用鼠标选取计算机显示器上的对象，如菜单选择、对话框选择、工具栏及其工具选择、图形对象选择等。
- 输入：用键盘输入各种数据，如命令输入、文档书写、参数输入等。

- 显示：显示器显示操作的结果。所有交互操作，如拾取和输入，在屏幕上都应予以响应，如命令提示、对象高亮、输入回显、操作结果显示等。

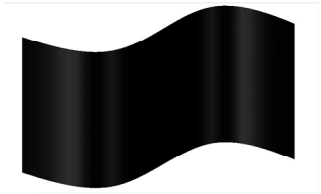
交互操作的手段虽然只有三种，但是可以衍生出很多交互功能，包括功能交互选择、图形交互操作等。图形交互操作包括选择图形对象、定位图形对象、定向图形对象、显示图形对象等，这些交互功能往往是拾取、输入和显示操作的组合运用。

1.8　三维建模种类

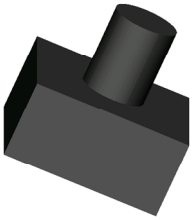
根据三维建模在计算机上的实现技术，可以将三维建模分为线框建模、曲面建模、实体建模等类型，如图 1-12 所示。其中，实体建模在完成几何建模的基础上，又衍生出一些建模类型，如特征建模、参数化建模等。



(a) 线框建模



(b) 曲面建模



(c) 实体建模

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。若要进行后续的计算机辅助分析与加工，就必须借助其他工具。而特征模型不仅可以表达产品的几何信息，还可以表达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提取所需的信息。

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的安放表面、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被人理解，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，这种方法将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，主要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为尺寸驱动几何技术。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，其他尺寸随之变化，模型也相应改变。这类系列化、结构类似的产品采用参数化建模很有优势，因此这种方法常用于系列化标准件的建模。

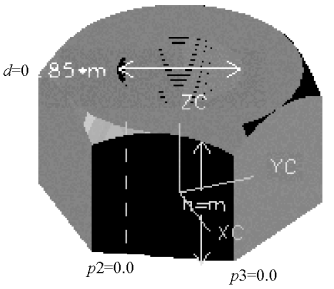


图 1-13

1.8.3 变量化建模

在参数化设计的基础上，发展出了变量化设计技术，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，即建模之初无须使每个结构尺寸、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，因为在设计新产品时，人们首先考虑的是产品的形状、结构和功能，具体尺寸在设计深入过程中才会逐步细化，因此变量化设计过程比参数化设计过程更加灵活。

变量驱动技术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 技术带来了新的变革。目前，流行的 CAD/CAM 软件(如 CATIA、NX、Creo/E)都采用变量化建模技术。

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。例如，在 NX 中完成部分造型工作，然后在 CATIA 中完成另外一部分造型工作；在 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；等等。这些都涉及不同软件间的数据交换问题。

不同的 CAD 系统会产生不同数据格式的数据文件。为了在不同的 CAD 平台中进行数据交换，规定了图形交换标准(graphics interchange standard)。图形交换标准是用于在不同软件和系统之间交换图形数据的文件格式或协议。常用的图形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、基于实体的 STEP 及基于小平面的 STL 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。虽然 DXF 并非官方标准，但由于 AutoCAD 系统在二维绘图领域的普遍应用，DXF 已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，或者在不同 CAD 系统之间与 AutoCAD 系统交换图形文件。

1.9.2　初始图形交换规范(IGES)

IGES(initial graphics exchange specification，初始图形交换规范)是基于曲面的图形交换标准，1980 年由美国国家标准学会(ANSI)发布，目前在工业界应用最广泛，是不同的 CAD/CAM 系统之间进行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器。在需要转换的 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，将其转换为本系统的文件格式，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 系统之间进行数据交换，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 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表达和交换的标准体系，1992 年由 ISO 制定并颁布。产品在各生命周期阶段产生的信息量大，数据关系复杂，而且分散在不同的部门和地区。这就要求产品信息以计算机能理解的形式表示，并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。STEP 将产品信息的表达和用于数据交换的实现方法进行了明确区分。

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数据，因而 STEP 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支持，并独立于处理这种数据格式的应用软件。

STEP 有效地弥补了 IGES 的不足，能满足 CAX 集成和 CIMS 的需要，将广泛地应用于工业、工程等领域，有望成为 CAX 系统及其集成的数据交换主流标准。

STEP 存在的问题是整个体系过于庞大，标准制定进程相对缓慢，生成的数据文件比 IGES 更大。

1.9.4 3D 模型文件格式(STL)

STL 文件格式最初是快速成型(RP)领域中的接口标准，现已被广泛应用于各类三维造型软件中，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 模型将原始模型转换为三角面片的形式，以三角面片的集合来逼真表示物体的外轮廓形状。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 文件本质上是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，还经常遇到 OBJ、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/CAM 软件不仅提供标准格式的输入/输出，还支持其他 CAD 软件文件格式的输入/输出。图 1-14 所示是 NX 中输入/输出其他文件格式的菜单。NX 除了直接支持一些常用的 CAD/CAM 软件的文件格式(如 CATIA、Creo)，还支持 OBJ、Parasolid、CGM 和 VRML 等格式。

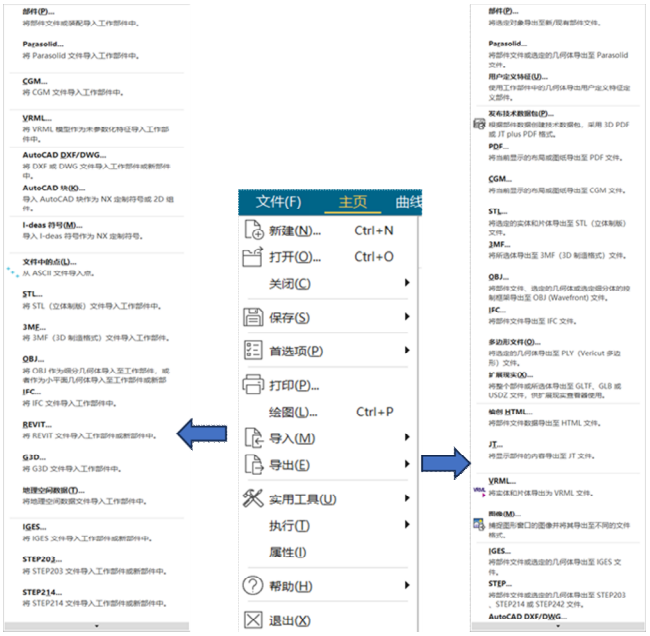


图 1-14

- OBJ 支持复杂的几何和材质信息，用于 3D 图形和动画，广泛应用于游戏和电影行业。
- Parasolid 是 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，计算机图形元文件) 是一种包含矢量信息和位图信息的国际性标准化文件格式，被英国标准协会(BSI)、美国国家标准学会(ANSI)和美国国防部等多个机构采用。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 软件都支持这种格式。
- VRML(virtual reality modeling language，虚拟现实建模语言)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。CAD 系统的组成如图 1-15 所示。

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；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。

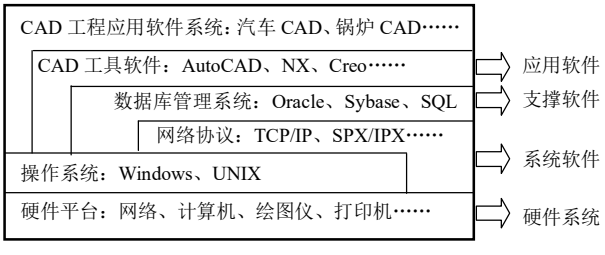


图 1-15

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软件、机械设计与制造软件、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 NX、Creo、CATIA、Solid Edge、SolidWorks、Delcam 系列、Cimatron、Inventor 等。
- 行业专用软件：针对行业的专用 CAD/CAM 软件，如服装面料设计软件、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满足自身产品设计需要而开发的，之后这些企业逐渐发展为独立的信息系统公司，软件也逐步商品化。例如，NX 软件最初由美国麦道航空公司开发，CATIA 由法国达索公司开发，I-DEAS 软件最初由美国 SDRC 公司开发。这些软件经过数十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 是由法国达索公司开发的一套产品开发解决方案，主要用于航空航天、汽车、造船、电子、消费品等行业的三维设计、分析和模拟。其特点是灵活性强、适应性广、支持跨平台操作，并且能够有效地捕捉和重复使用专用知识。

CATIA 的开发始于 1977 年，是达索公司在为数字化企业服务过程中不断探索的结晶。它是 PLM(产品生命周期管理)产品系列的一个重要组成部分。CATIA 在 Windows NT 平台和 UNIX 平台上开发完成，并在所有支持的硬件平台上具有统一的数据、功能、版本发放日期、操作环境和应用支持。

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，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。

CATIA 源于航空航天业，但其强大的功能得到了各行业的认可。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 NX

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

1.12.3 Creo

Creo 是美国 PTC 公司于 2010 年 10 月推出的 CAD 设计软件包。Creo 是整合了 PTC 公司的三个软件技术(Pro/Engineer 的参数化技术、CoCreate 的直接建模技术和 ProductView 的三维可视化技术)的新型 CAD 设计软件包。Creo 不仅继承了 Pro/E 的所有传统功能(如参数化设计、实体建模、装配管理等)，还引入了众多创新功能，如直接建模、多体设计、仿真分析等。

Creo 作为一款在业界享有较高声誉的全方位产品设计软件，广泛应用于汽车、航空航天、电子、模具、玩具、工业设计和机械制造等领域。Creo 能够覆盖从概念设计到制造的全流程，支持多领域数据共享与协同，是目前工程设计、产品外观设计、产品结构设计领域中广泛应用的软件之一。Creo 作为 Pro/E 的升级迭代版，其界面友好、功能强大、性能高效、兼容性好，适合新用户及追求现代功能的使用者。

1.12.4　I-DEAS

I-DEAS 软件最初由美国 SDRC 公司开发，目前属于德国西门子公司。

I-DEAS 最初以结构化分析起家，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了较大影响。

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等领域。

1.12.5　SolidWorks

SolidWorks 软件是世界上第一个基于 Windows 开发的三维 CAD 系统，原属于 SolidWorks 公司，1997 年被法国达索公司收购。SolidWorks 三维机械设计软件也成为达索公司最具竞争力的 CAD 产品。Solidworks 的功能强大、易学易用，其独有的拖拽功能可使用户在比较短的时间内完成大型装配设计。

SolidWorks 软件具有三维建模能力强、装配设计便捷、工程图纸生成自动化、仿真分析工具丰富、数据管理工具高效等特点，被广泛应用于机械设计、产品开发、汽车制造、航空航天、电子电器等多个领域。它能够帮助用户快速创建复杂的三维模型、进行仿真分析、生成工程图纸和进行项目管理，从而提高设计效率和质量，降低生产成本和风险。

1.12.6　Cimatron

Cimatron 软件是以色列 Cimatron 公司(现已被 3D Systems 公司收购)的产品，是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 的主要功能包括模具设计、数控编程、逆向工程、仿真与验证等，被广泛应用于汽车、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。

1.12.7　Mastercam

Mastercam 软件是美国 CNC 公司的产品，广泛用于数控编程和制造。Mastercam 基于 PC 平台，它集二维绘图、三维实体造型、曲面设计、体素拼合、数控编程、刀具路径模拟及真实感模拟等多种功能于一身，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。Mastercam 软件已被广泛应用于通用机械、航空、船舶、军工等行业的设计与数控加工环节。

1.13　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。在实体建模方法的基础上又发展出了特征建模、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 软件大多采用以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，并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、配套服务和售后服务等因素。

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，优势显而易见。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弱化，主要用于加工过程中的校核。

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)、计算机辅助工程(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，其无处不在，已渗透到人们的日常生活中。

想要掌握三维建模技术，必须掌握三维建模技术的基础知识、基本原理与造型思路，并至少熟悉一款三维建模软件。本章给出了一些学习三维建模技术的建议。

1.14 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”？为什么说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其他 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？

第 2 章

NX 软件概述

NX 是通用的、功能强大的三维机械 CAD/CAM/CAE 集成软件。本章主要介绍 NX 软件的发展历史、技术特点、常用工作模块，以及运用 NX 进行产品建模的一般流程等。

本章学习目标

- 了解 NX 软件的发展历史。
- 了解 NX 软件的技术特点。
- 了解 NX 软件的常用功能模块。
- 了解基于 NX 的产品设计流程。

2.1 NX 软件简介

NX 起源于美国麦道航空公司，是在 UG 软件基础上发展起来的，目前属于德国西门子公司，其简体中文官方网址为 https://plm.sw.siemens.com/zh-CN/。

NX 软件集 CAD/CAM/CAE/PDM/PLM 功能于一体，CAD 模块可实现工程设计及制图的全自动化；CAM 模块拥有丰富的数控编程库(如机床库、刀具库等)，便于开展数控加工仿真、编程和后处理；CAE 模块具备产品、装配体和部件的性能模拟能力；PDM/PLM 模块则可助力产品数据管理，并实现产品全生命周期中的设计重用。

NX 软件被广泛应用于航空航天、汽车、机械及模具、消费品、高科技电子等领域的产品设计、分析及制造环节，被认为是业界最具有代表性的数控加工软件和模具设计软件。

NX 软件的主要客户包括 BE Aerospace、波音、英国航空公司、丰田、福特、通用、尼桑、三菱、夏普、日立、诺基亚、东芝、西门子、富士通、索尼、三洋、飞利浦、克莱斯勒、宝马、奔驰等世界知名企业。

2.2 NX 软件的技术特点

NX 不仅具有强大的实体造型、曲面造型、虚拟装配和工程图生成等设计功能，还能在设计过程中进行机构运动分析、动力学分析和仿真模拟，提高了设计的精确度和可靠性。同时，NX 可基于生成的三维模型直接生成数控代码，用于产品加工，其处理程序支持多种类型的数

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，便于用户开发专用的 CAD 系统。具体来说，该软件具有以下特点。

- 具有统一的数据库，真正实现了 CAD/CAE/CAM 各模块之间数据交换的无缝接合，可实施并行工程。
- 采用复合建模技术，可将实体建模、曲面建模、线框建模、特征建模与参数化建模融为一体。
- 基于特征(如孔、凸台、型腔、沟槽、倒角等)进行建模与编辑，形象直观，类似于工程师传统的设计方法，并支持参数驱动。
- 曲线设计采用非均匀有理 B 样条作为基础，可用多样方法生成复杂的曲面，特别适用于汽车、飞机、船舶、汽轮机叶片等外形复杂的曲面设计。
- 出图功能强，可以非常方便地从三维实体模型直接生成二维工程图。能按 ISO 标准标注名义尺寸、尺寸公差、形位公差及汉字说明等，并能直接对实体进行局部剖、旋转剖、阶梯剖和轴测图挖切等操作，生成各种剖视图，增强了绘图功能的实用性。
- 以 Parasolid 为实体建模核心，实体造型功能居于行业领先地位。目前，著名的 CAD/CAE/CAM 软件均以此作为实体造型的基础。
- 内嵌模具设计导引 MoldWizard，提供注塑模向导、级进模向导、电极设计等，是模具业的首选。
- 提供了界面良好的二次开发工具 GRIP 和 UFUNC，可使 NX 的图形功能与高级语言的计算功能紧密结合起来。
- 具有良好的用户界面，绝大多数功能都可以通过图标实现；在进行对象操作时，具有自动推理功能，每个操作步骤中都有相应的提示信息，便于用户做出正确的选择。

2.3 NX 软件的常用功能模块

NX 系统由大量的功能模块组成，这些模块几乎涵盖了 CAD/CAM/CAE 的各种技术。常用模块如图 2-1 所示。本书主要介绍基本环境、建模、制图、装配、结构分析、运动仿真、注塑流动分析 7 个模块。

1. 基本环境模块(Gateway)

启动 NX 后，首先进入的就是基本环境模块。基本环境模块是 NX 的基础模块，仅提供一些基本的功能，如新建文件、打开文件、输入输出不同格式的文件、层的控制、视图定义等，因此基本环境模块是其他模块的基础。

2. 建模模块(Modeling)

建模模块提供了构建三维模型的工具，包括曲线工具、草图工具、特征工具、曲面工具等。曲线工具、草图工具通常用

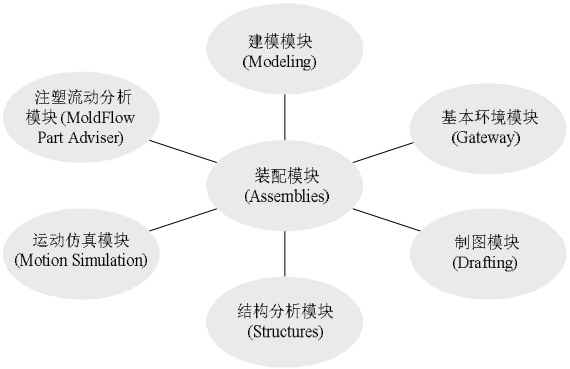


图 2-1

来构建线框图；特征工具包括成型特征、特征操作，完全整合了基于约束的特征建模和显示几何建模的特性，因此可以自由使用各种特征实体、线框架构等功能；曲面工具是架构在融合了实体建模及曲面建模技术基础之上的超强设计工具，能够助力设计人员设计出如工业造型设计产品般的复杂曲面外形。

3. 制图模块(Drafting)

制图模块使设计人员能方便地获得与三维实体模型完全关联的二维工程图。当三维模型发生改变时会同步更新二维工程图，不仅减少了因三维模型改变而更新二维工程图的时间，而且能确保二维工程图与三维模型完全一致。

4. 装配模块(Assemblies)

装配模块提供了并行的自上而下和自下而上的产品开发方法。在装配过程中，可以进行零部件的设计、编辑、配对和定位，还可对硬干涉进行检查。

5. 结构分析模块(Structures)

结构分析模块能将几何模型转换为有限元模型，可进行线性静力、标准模态与稳态热传递分析、线性屈曲分析。同时，还支持对装配部件(包括间隙单元)进行分析，分析的结果可用于评估各种设计方案，优化产品设计，提高产品质量。

6. 运动仿真模块(Motion Simulation)

运动仿真模块可对二维或三维机构进行运动学分析、动力学分析和设计仿真，并且能够完成大量的装配分析，如干涉检查、轨迹包络等；还可以分析反作用力，并用图表示各构件位移、速度、加速度之间的相互关系等。

7. 注塑流动分析模块(MoldFlow Part Adviser)

使用注塑流动分析模块有助于模具设计人员确定注塑模的设计是否合理，检查出不合适的注塑模几何体并予以修正。

2.4 NX 软件的工作流程

NX 软件的工作流程如下。

(1) 启动 NX。以 NX 2406 为例，选择【开始】|【程序】|Siemens NX 2406|NX 20406 命令或双击桌面上的 NX 2406 图标，可启动 NX。

(2) 新建或打开 NX 文件。

(3) 调用模块。NX 系统由十几个模块构成。若要调用具体的模块，只需在【应用模块】选择相应的模块名称即可。

(4) 选择具体的应用工具进行相关的设计。不同的模块具有不同的应用工具。建模模块的应用工具通常位于【插入】和【编辑】菜单下。例如，曲线、实体特征、曲面特征等应用工具位于【插入】菜单下，相应的曲线、实体特征、曲面特征的编辑工具位于【编辑】菜单下。

(5) 保存文件。

(6) 退出 NX 软件。

2.5 基于 NX 的产品设计流程

基于 NX 的产品设计流程，通常是先对产品的零部件进行三维造型，在此基础上再进行结构分析、运动分析等，然后根据分析结果对三维模型进行修正，最终将符合要求的产品模型定型。定型之后，可基于三维模型创建相应的工程图样，或者进行模具设计和数控编程等。因此，使用 NX 进行产品设计的基础和核心是构建产品的三维模型，而构建产品三维模型的实质就是创建产品零部件的实体特征或片体特征。

实体特征通常由基本体素(如长方体、圆柱体等)、扫描特征等构成，或者通过对它们进行布尔运算获得；对于扫描特征的创建，往往需要先用曲线工具或草图工具创建出相应的引导线与截面线，再利用实体工具来构建。

创建片体特征，通常也需要先用曲线工具或草图工具创建好构成曲面的截面线和引导线，再利用曲面工具来构建。片体特征通过缝合、增厚等操作可转换为实体特征；实体特征通过析出等操作也可以生成片体特征。

使用 NX 进行产品设计的一般流程如图 2-2 所示。

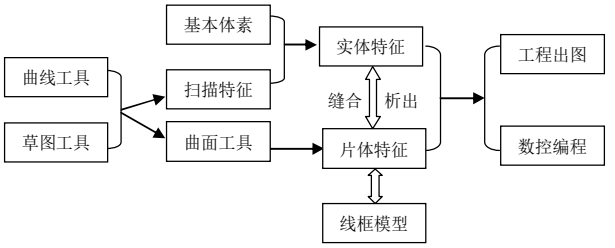


图 2-2

2.6 本章小结

本章从发展历史、技术特点、常用功能模块等方面对 NX 软件进行了介绍，使读者对 NX 软件有一个概貌性的了解。此外，还介绍了 NX 软件的工作流程和基于 NX 的产品设计流程。

2.7 思考与练习

1. NX 软件有哪些技术特点？
2. NX 软件有哪些常用功能模块？各自的功能是什么？
3. NX 软件的工作流程分为哪几个步骤？

第 3 章

NX 基本操作

在使用 NX 前，必须先了解 NX 的工作环境、常用工具及基本元素等，这些是进一步学习的基础，也是开展正式工作的前提。通过对本章的学习，可以对 NX 的基本操作有一个比较全面的了解，因此，在学习本章的过程中要多思考、多领悟，将这些基本技能彻底融会贯通。

本章学习目标

- 熟悉 NX 的用户界面、常用菜单、快捷菜单和功能区。
- 掌握通过语言界面、选项卡、用户默认设置、模板、角色等定制工作环境的方法。
- 掌握鼠标、快捷键、对象选择的应用。
- 掌握 NX 常用工具，如图层、组、坐标系等。
- 掌握点、矢量、平面等基本元素的创建方法。

3.1 NX 工作环境

3.1.1 NX 用户界面

1. 标准显示窗口

启动 NX 2406，选择【文件】|【新建】命令，再选择文件类型为【模型】，即可进入建模模块中，其界面如图 3-1 所示。

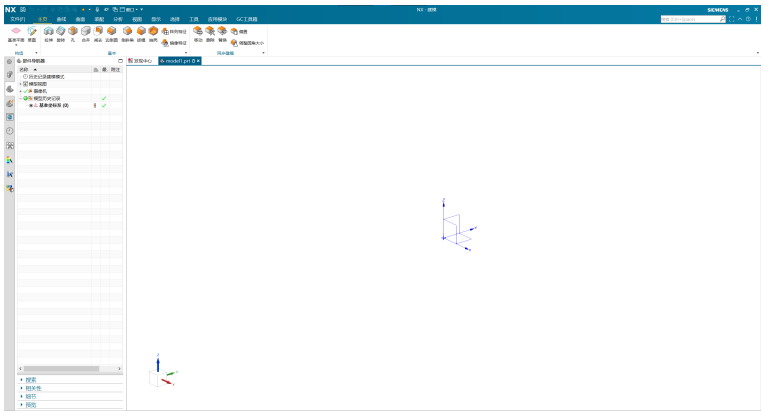


图 3-1

1) 标题栏

标题栏的主要作用是显示应用软件的图标、名称、版本、当前工作模块等。

2) 菜单栏

菜单栏几乎包含了所有的 NX 功能命令。与所有的 Windows 软件一样，单击任意一项主菜单，便可得到它的一系列子菜单。

3) 功能区

NX 2406 改变了功能排列形式，取消了经典的工具条形式，采用功能区。按功能类别分成多个功能区，同一类的操作命令放在同一个功能区中。

4) 选择条

在建模时选用相应的命令，对模型中的点、线、面、体等特征进行过滤，以便对单个特征进行选择操作。

5) 提示栏和状态栏

提示栏的作用是显示与操作相关的提示信息。在执行每个指令步骤时，系统均会在提示栏中显示使用者必须执行的动作，或者提示使用者下一个动作。

状态栏位于提示栏的右边，其作用是显示系统及图素的状态信息。例如，选择点时，系统会显示当前鼠标指针的点信息；系统执行某个指令之后，状态栏会显示该指令结束的信息。

6) 资源栏

资源栏用于放置一些常用的工具，包括部件导航器、装配导航器、历史、角色等。部件导航器以树的形式记录了特征的建模过程。装配导航器显示装配树及其相应的操作。在导航器树形图的节点上右击，就会弹出相应的快捷菜单，可以方便地执行对该节点的操作，如显示尺寸、编辑参数，以及删除、抑制和隐藏体等。

7) 绘图区域

绘图区域是创建、显示和修改 CAD 模型的区域。其背景颜色是可以定制的，选择【菜单】|【视图】|【编辑背景】命令，即可定制绘图区域的背景颜色。

8) 对话框

对话框的作用是实现系统与用户的交互、属性的选择和参数的设置。对话框通常由动作按钮、下拉列表、文本框等构成，如图 3-2 所示。

- 文本框：用于输入或显示文字或数值。
- 矢量反向按钮：使当前的矢量反向。
- 下拉列表按钮：单击该按钮，会弹出一个下拉列表。
- 下拉列表：列出可以选择或操作的对象，其选项内容可能是文字，也可能是图形。
- 滑块：用鼠标拖动，可获得某一数值或百分比值。
- 预览及动作按钮：单击该按钮可以完成某个动作或弹出另一个对话框。对话框中常用的动作按钮及其含义如表 3-1 所示。

图 3-2

关于界面中绝对坐标的介绍，请参阅本章 3.6 节。

表 3-1

按钮	含义
【确定】	完成操作并关闭对话框或显现下一个对话框
【应用】	完成操作但不关闭对话框，可以继续使用该对话框
【撤销】	取消预览显示结果
【取消】	取消操作并关闭对话框

2. 全屏幕显示窗口

单击图 3-1 右上角的全屏按钮，即可进入全屏幕显示窗口。在全屏幕显示的状态下，菜单栏、功能区及选择条均被隐藏，用户将在图形窗口拥有更多的屏幕空间。此时，所有 NX 菜单、功能命令被隐藏在界面上方，当将鼠标移动到屏幕顶端时，它们会自动显示。再次单击全屏按钮，窗口恢复至标准显示。

全屏幕显示的 NX 窗口的基本组成如图 3-3 所示。

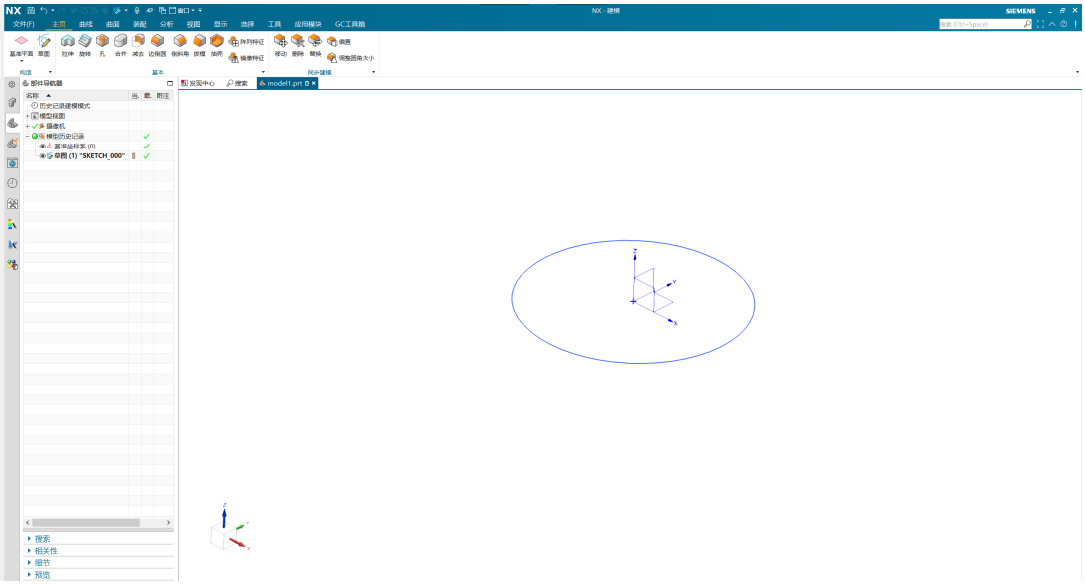


图 3-3

3.1.2　功能区

NX 2406 将常用的功能进行分类，形成了功能区，用户可以根据个人需要显示或隐藏功能区内的图标文字。对于初学者，最好显示常用工具条的图标文字；对于软件操作较熟练的用户，则应隐藏图标文字，以扩大绘图区域。将鼠标指针置于工具栏图标按钮之上并停顿约 1 秒钟，也会出现该图标按钮功能的提示。

以下是建模模块下常用的功能区。

1)【主页】

【主页】功能区(见图 3-4)集成了大部分菜单中的常用命令，包括草图、特征、同步建模、GC 工具箱、曲面、装配等。通常可通过定制只保留需要的操作命令，其余操作命令由快捷键或从菜单中调用。

图 3-4

2)【曲线】

【曲线】功能区和【插入】菜单中的与曲线相关的命令功能相近，包含了生成曲线和派生曲线的命令，相关内容详见第 6 章。

3)【曲面】

【曲面】功能区包含了构建曲面、曲面操作和曲面编辑的大部分命令，相关内容详见第 7 章。

4)【装配】

【装配】功能区和【装配】菜单中的与装配相关的命令功能相近，包含了新建装配体和组件操作的命令，相关内容详见第 8 章。

5)【逆向工程】

【逆向工程】功能区包含了对齐、构造、小平面体操作和分析的命令，方便逆向工程造型。

6)【分析】

【分析】功能区主要包含距离、角度、半径的测量，以及用以分析面形状美观性、缺陷的反射命令。

7)【视图】

【视图】功能区可用来调整实体的缩放比例和窗口显示模式，还可用来进行图层可见性设置、截面设置及部分可视化操作。

8)【工具】

【工具】功能区包含了表达式、电子表格、移动对象、坐标系显示、视频录制等命令。

9)【应用模块】

【应用模块】用于快速切换功能模块，如建模、钣金、外观造型设计、装配等功能模块。

10)【边框条】

【边框条】功能区包括上边框条、下边框条、左边框条、右边框条，用户可以根据需要进行显示设置。使用较多的是【上边框条】，如图 3-5 所示。【上边框条】中包括菜单、选择组、视图组和实用工具组，在不同的命令状态下，【上边框条】中的选择组的图标会有所不同。关于【边框条】的使用请参阅 3.4.4 节。

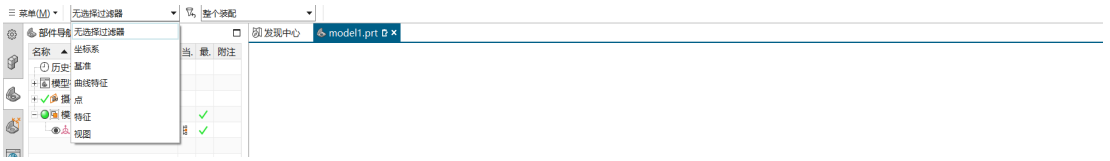
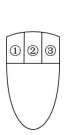


图 3-5

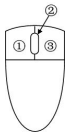
3.1.3 鼠标操作

通常使用的鼠标有 3 种配置类型，如图 3-6 所示。

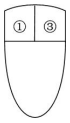
其中，①表示鼠标左键，即 MB1；②表示鼠标中键或滚轮，即 MB2；③表示鼠标右键，即 MB3。



三键鼠标



带滚轮鼠标



双键鼠标

图 3-6

(1) 在双键鼠标上，当需要使用中键时，同时使用左右键即可。

(2) 在三键鼠标上，可以组合使用鼠标键，功能如下。

- 中键+右键(MB2+MB3)：平移对象。
- 中键+左键(MB2+MB1)：缩放对象。

使用鼠标键可以执行的动作如表 3-2 所示。

表 3-2

鼠标键	动作
鼠标左键(MB1)	选择对象
鼠标中键(MB2)	在对话框中单击 MB2，相当于单击对话框中的默认按钮(一般情况下为【确认】按钮) 在图形窗口中按下 MB2 的同时拖动鼠标即可旋转几何体 按住 Ctrl 键+MB2 不放，拖动鼠标即可缩放几何体 按住 Shift 键+MB2 不放，拖动鼠标即可平移几何体
鼠标右键(MB3)	显示各种功能的快捷菜单
滚轮(MB2)	在图形窗口中缩放视图；在列表框、菜单和信息窗口中上下滚动内容

3.1.4　菜单

1. 文件

选择【菜单】|【文件】命令，会弹出其子菜单，该子菜单提供了文件管理的功能，要求掌握以下菜单项。

1) 新建

创建一个新文件，快捷键为 Ctrl+N。新建文件时必须指定文件的模板类型、存放路径和文件名。选择不同的模板类型，【新建文件】对话框右上角的【预览】区内会自动显示模板的样式。

2) 打开

打开 NX 文件，快捷键为 Ctrl+O。通过【打开部件文件】对话框浏览要打开的文件，单击【确定】按钮即可。

直接双击 NX 文件图标也可打开该文件。

3) 关闭

关闭命令仅能关闭 NX 文件，而不能关闭 NX 软件。【关闭】菜单项下还有多个子菜单项，其中常用的有以下 3 个。

- 选定的部件：关闭指定的文件。选择该选项，会弹出一个对话框，其中列出了当前所有已打开的文件，选择要关闭的文件，单击【确定】按钮即可。
- 所有部件：关闭当前所有已经打开的文件。

- 保存并关闭：保存并关闭当前文件。

4) 保存

保存文件，快捷键为Ctrl+S。为避免因操作失误或死机等意外造成文件丢失或损坏，建议在三维造型的过程中定期按快捷键 Ctrl+S 保存当前文件。

5) 导入/导出

导入/导出其他格式文件。通过该功能可以实现 NX 与其他软件的数据交换。

6) 退出

退出 NX 系统，关闭软件。

2. 编辑

选择【菜单】|【编辑】命令，会弹出其子菜单，其中罗列了常用的编辑操作，要求掌握以下菜单项。

1) 撤销

用于撤销已执行的操作，选择相应选项可恢复到指定状态，快捷键为 Ctrl+Z。

2) 删除

用于删除指定的几何元素，快捷键为 Ctrl+D。按快捷键 Ctrl+D 后会弹出【类选择】对话框，选择要删除的几何对象后，单击鼠标中键即可删除所选的几何对象。

> 删除几何对象的另外两种方法是：①选择要删除的几何对象，然后按键盘上的 Delete 键；②选择要删除的对象，右击，在弹出的快捷菜单中选择【删除】选项。
>
> 如果要删除的几何对象是其他几何对象的父节点，则无法删除该几何对象。为达到“消除”该对象的目的，可将其隐藏或将其移动至“不可见图层”上。

3) 显示和隐藏

在建模的过程中，经常需要隐藏一些实体，使系统仅显示需要的实体。【显示和隐藏】菜单项中包括若干子菜单项，其中需掌握的菜单项有如下几个。

- 隐藏：隐藏指定的几何对象，快捷键为 Ctrl+B。调用该命令后，会弹出【类选择】对话框，选择要隐藏的对象后，单击鼠标中键即可(与删除对象的操作相似)。
- 反向隐藏全部：互换隐藏与显示的对象，即隐藏正在显示的对象，并将原来隐藏的对象显示出来，快捷键为 Ctrl+Shift+B。
- 取消隐藏所选的：从隐藏的对象中选择一个或多个几何对象进行显示，快捷键为 Ctrl+Shift+K。调用该命令后，会弹出【类选择】对话框，并且系统会临时显示所有隐藏的对象，选择要显示的对象后，单击鼠标中键即可将所选择的几何对象由隐藏状态变为显示状态。
- 显示部件中所有的：显示部件中的所有对象，包括处于隐藏状态的对象，快捷键为 Ctrl+Shift+U。

图 3-7

4) 对象显示

修改几何对象的图层、颜色、线型等属性，快捷键为 Ctrl+J。调用【对象显示】命令后，会弹出如图 3-7 所示的【类选择】对话框，选择要改变显示属性的对象后，单击鼠标中键，会弹出【编辑对象显示】对话框，修改相应的属性后，单击鼠标中键即可。常用的选项如下。

- 图层：文本框中的数字为所选对象所在的图层。修改数字并按 Enter 键，即可将对象移动到对应的图层。
- 颜色：更改对象的显示颜色。单击【颜色】按钮，在打开的【颜色】对话框中选取一种颜色即可。若需更多颜色选项，可单击【颜色】对话框中的【资源板】按钮进行选取；若要获取某个几何体对象的颜色，可单击【颜色】对话框中的按钮，然后选择目标几何体对象，系统会自动获取所选对象的颜色。
- 线型：指定曲线的线型。在其下拉列表中选择一种线型即可。
- 宽度：指定曲线的宽度。NX 提供了 3 种线宽：细线宽度、正常宽度、粗线宽度。注意，只有先选择【菜单】|【首选项】|【可视化】|【直线】命令调出对话框，再勾选其中的【显示宽度】选项，才能显示曲线的宽度。
- U/V(网络数)：在线框模式下，实体的面和曲面可用网格面来显示，如图 3-8 所示。U、V 方向的网格数可以修改：单击【编辑对象显示】对话框中的【线框显示】，然后在 U、V 文本框中输入 U、V 方向对应的网络数，选择【视图工具条】|【静态线框】选项，即可对 U、V 线进行查看。

5) 移动对象

移动对象是指将几何对象做平移、旋转、点到点移动、CSYS 到 CSYS 移动等操作。每种操作都有复制和移动两种选择，其区别在于：移动是将原有图素移动到新的位置；复制是保留原有图素，并在新的位置上绘制相同的图素。

按快捷键 Ctrl+T，会弹出如图 3-9 所示的【移动对象】对话框，要求用户选择要移动的对象及移动方式。NX 共提供了 9 种移动类型，常用的有距离、角度、点到点、坐标系到坐标系，具体操作请参见 3.8.2 节。

图 3-8

图 3-9

3. 视图

1) 视图操作

视图操作主要包括刷新、适合窗口、缩放视图、平移视图、旋转视图、设置视图为 WCS、重新生成工作视图等。

(1) 刷新：对当前部件进行更新操作。

(2) 适合窗口：将几何对象充满绘图区域，快捷键为 Ctrl+F。

(3) 缩放视图：缩放对象有窗口缩放、整体缩放、比例缩放和非比例缩放之分。

- 窗口缩放：缩放状态下，在绘图区域中拖拽出一个矩形来指定缩放范围，快捷键为 F6。
- 整体缩放：按住 Ctrl 键的同时按下鼠标中键并拖动鼠标即可整体缩放视图。若中键为滚轮，则滚动滚轮也可整体缩放视图。按住鼠标左键+中键，也可进行缩放。

(4) 平移视图：可以自由平移绘图区域。

- 按住 Shift 键+鼠标中键，光标变成手形，拖动鼠标即可平移绘图区域。
- 按住鼠标中键+右键，也可进行平移操作。

(5) 旋转视图：可以自由旋转，也可以精确旋转视图。

- 按住鼠标中键不放，拖动鼠标可自由旋转视图。
- 按快捷键 Ctrl+R，在弹出的【旋转视图】对话框中，选择 *X* 轴、*Y* 轴、*Z* 轴或【任意】4 个图标之一，然后拖动鼠标即可将视图绕 *X* 轴、*Y* 轴、*Z* 轴旋转或自由旋转。选择 *X* 轴、*Y* 轴或 *Z* 轴后，还可以在对话框中设置旋转的角度，从而实现精确旋转。

(6) 设置视图为 WCS：将绘图区域按当前 WCS 坐标放正。

(7) 重新生成工作视图：当模型发生显示畸变时，可使用此功能对视图进行更新。

2) 视图的显示模式

【视图】菜单中常用的菜单项与鼠标右键快捷菜单中的菜单项相似，因此，为了操作方便，通常从鼠标右键快捷菜单中调用。

在视图区域的空白处单击鼠标右键，会弹出如图 3-10 所示的快捷菜单。

在快捷菜单中，选择【定向视图】中的某个视图，可以将视图调整为相应的视图位置。

“前视图”是从 *Y* 轴的负方向观察三维模型得到的视图。若建好三维模型后，还需要创建工程图，则在创建三维模型时，应规划好三维模型的布局。

3) 设置旋转点

选择鼠标右键快捷菜单中的【设置旋转参考】选项，对绘图区域中的任意位置进行捕捉，再拖动鼠标即可将视图绕该点旋转。

4) 实体的显示样式

选择鼠标右键快捷菜单中【显示样式】下的各选项可以调整实体的显示样式，如图 3-11 所示。

常用的显示样式如图 3-12 所示。

其他显示样式介绍如下。

- 局部着色：指部分表面以着色方式显示，其他表面以线框方式显示。一般用于突出显示模型的某一部分，适用于复杂零件或装配图。
- 艺术外观：与着色显示的效果类似，不同之处在于添加了背景。

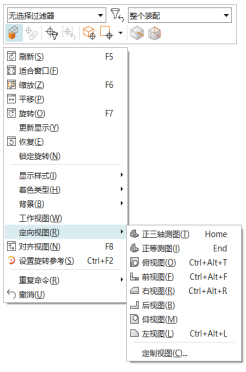


图 3-10

图 3-11

图 3-12

5) 截面视图

截面视图采用动态剖切对象的方式来显示对象的内部结构。

选择【视图】|【截面】|【编辑截面】命令，会弹出【视图剖切】对话框，如图 3-13 所示。可以通过拖动、移动和旋转剖切手柄来轻松操控截面。

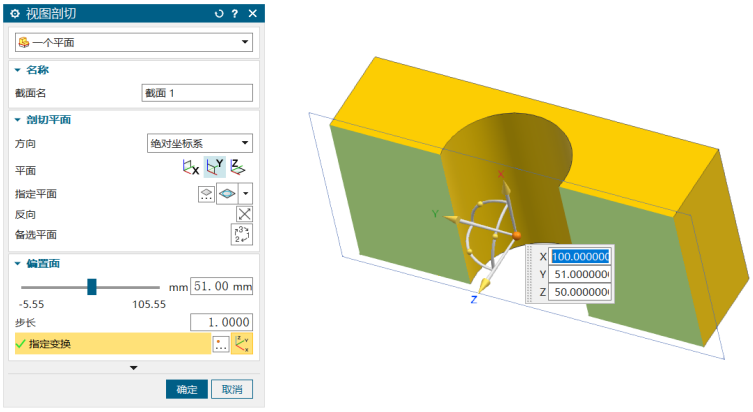


图 3-13

4. 插入

NX 常用的建模工具均集中于【插入】菜单。通常，为提高建模的效率，这些工具应采用快捷键或从功能区中调用。

5. 格式

【格式】菜单集中了有关工作图层、组、视图布局等功能命令，读者要能熟练掌握该菜单中的图层、组的使用。具体内容详见 3.5 节。

6. 工具

【工具】菜单包含了表达式、电子表格、装配导航器、材料属性等功能命令，其中应重点掌握表达式。表达式是一个功能强大的工具，可以使 NX 实现参数化设计。

1) 表达式的概念

表达式是一个算术或条件语句。表达式的左边是一个(只能有一个)变量，右边是一个数学表达式或一个条件语句。

例如，p0=10 是一个表达式，p1=10+2×p0 也是一个表达式，但 p0+1＝p1+2 就不再是一个表达式，因为其左边不是一个变量。

2) 表达式语言

表达式的变量名、操作符号、内置函数、流程控制与一般的编程语言比较类似，具体可查看软件提供的帮助。

3) 创建表达式的方法

- 手工创建表达式：通过菜单【工具】|【表达式】或快捷键 Ctrl+E，打开如图 3-14 所示的【表达式】对话框。指定类型(如长度、面积等)及相应的单位(如mm、m 等)后，在【名称】文本框中输入表达式名称，在【公式】文本框中输入表达式，单击【应用】按钮即可。

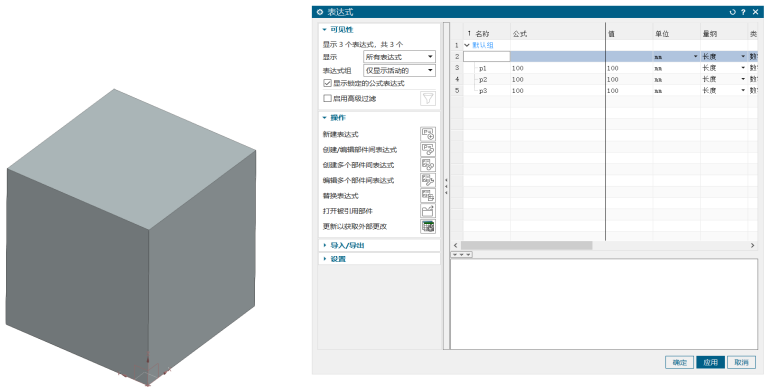


图 3-14

- 自动创建表达式：当创建一个特征、定位一个特征、创建一个草图、标注草图尺寸、定位草图后，系统都会自动创建相应的表达式。如图 3-14 所示，创建一个正方体后，系统会自动创建 3 个反映其长、宽、高的表达式：p6=100，p7=100，p8=100。

4) 编辑表达式

编辑表达式是指修改表达式的名称、修改表达式的值，以及删除表达式等操作。

- 修改表达式的名称：在列表框中选择要修改名称的表达式，在【名称】文本框中修改表达式的名称，单击【应用】按钮即可完成修改。
- 修改表达式的值：在列表框中选择要修改其值的表达式(选中的表达式会显示在文本框中)，在【公式】文本框中修改表达式的值，单击【应用】按钮即可完成修改。
- 删除表达式：在列表框中选择要删除的表达式，单击【删除】按钮即可删除。

7. 装配

装配就是通过关联条件在部件间建立约束关系，以确定部件在产品中的空间位置。关于装配的具体内容详见第 8 章。

8. 信息

【信息】菜单用于查询几何对象的信息。该菜单下有很多子菜单，最常用的是【对象】菜单，快捷键为 Ctrl+I。

按快捷键 Ctrl+I，会弹出【类选择器】对话框，选择要查询的几何对象后，单击鼠标中键，即可弹出包含几何体详细信息的文件，其中包括类型、图层、颜色和状态等信息。

9. 分析

【分析】菜单常用于进行距离测量、角度测量和偏差分析等。

1) 距离测量

距离测量就是测量两个元素之间的距离、曲线的长度或圆弧的半径。

2) 角度测量

角度测量是指测量两个对象之间的夹角，对象可以是曲线、直线或平面。

3) 偏差分析

偏差分析包括【检查】【相邻边】和【测量】3 部分内容。其中，【检查】最为常用。【检查】用于检测两个对象(点、曲线、边和面)之间的距离误差和角度误差，根据距离误差和角度误差可以判断点是否在线或面上、多点是否共线，以及线是否在曲面上。

10. 首选项

【首选项】菜单中包含设置默认参数的命令(见图 3-15)。默认参数设置是否合理直接影响 NX 的功能和工作效率。下面介绍几个常用的命令。

1) 对象

该命令用于设置对象的显示属性，快捷键为 Ctrl+Shift+J。其与【编辑对象显示】工具相似，差别在于【编辑对象显示】中设置的属性只对所编辑的对象起作用，而这里设置的对象参数将对之后创建的对象起作用。

2) 选择

该命令用于设置与选择相关的参数，快捷键为 Ctrl+Shift+T。应重点关注选择球(即图形区中的鼠标)的尺寸设置：在【选择半径】下拉列表中有小、中、大 3 个值，默认为中。

3) 可视化

该命令用于设置与对象名称、视图边界、预选对象颜色等视觉效果相关联的参数，除以下几个选项外，通常可采用默认设置。

(1) 设置直线线宽的显示效果。

只有选中【直线】选项卡中的【显示线宽】复选框，系统才以对象的实际线宽来显示，反之则以细线来显示。

(2) 设置视图名称/边界。

设置在模型视图中是否显示对象名称、视图名称或视图边框。需要注意的是，该选项的设置只对建模模块有效，对制图模块无效。

图 3-15

11. 窗口

NX 属于多文档软件，即允许同时打开多个部件文件，但工作部件只能是一个。若要切换工作部件，那么只需在【窗口】菜单下选择相应的部件文件名称即可。

12. 帮助

【帮助】菜单中最常用的是【根据关联】选项，快捷键为 F1，用来启动上下文的相关在线帮助文件。在调用某一功能后，按下 F1 键，即可调用对应于该功能的帮助文件。

3.1.5　快捷菜单

NX 提供了一组弹出式快捷菜单，右击后在光标位置会显示即时的命令列表。右击的对象类型不同，显示的命令列表也不同。

1. 视图快捷菜单

在图形窗口中，右击空白处，会弹出如图 3-16 所示的视图快捷菜单。

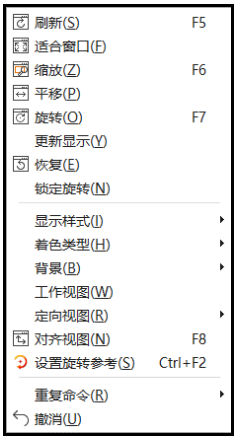


图 3-16

视图快捷菜单中各选项的含义如表 3-3 所示。

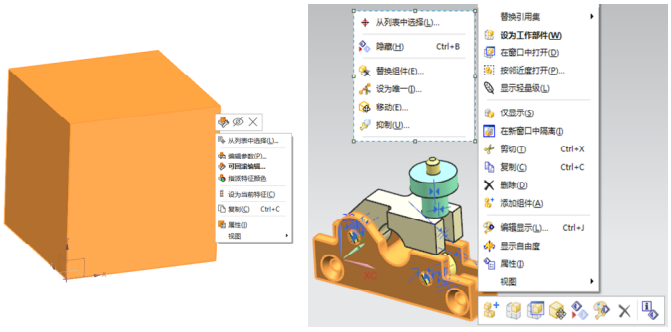
表 3-3

选项	含义
刷新	通过消除残留的孔、隐藏或删除对象来更新图形窗口；也可移除临时显示的项目，如星号、箭头矢量等
适合窗口	将几何对象充满绘图区域，快捷键为 Ctrl+F
缩放	通过放大或缩小视图来缩放整个部件
平移	选择该选项后光标变为手形，拖动鼠标即可移动对象
旋转	可以实现自由旋转，也可以实现精确旋转
更新显示	通过清理图形窗口完成更新显示，包括更新工作坐标系、曲线和边缘、草图和相关定位尺寸、自由度指示器、基准面和平面。此选项也执行“刷新”选项的任务，如清除临时显示的内容、刷新屏幕
锁定旋转	锁定旋转功能，不能自由旋转
显示样式	基于着色、线框、艺术外观等模式，控制视图中部件的外观
着色类型	从完全着色、局部着色、面分析等形式，控制视图中部件的显示效果
背景	可快速调整绘图区域的背景设置
工作视图	将工作视图切换为光标所在的视图
定向视图	将指定视图的方向调整至某一预定义视角，只改变视图方向而不改变视图名称
设置旋转参考	通过选择屏幕位置或捕捉点来设置备选的旋转中心
重复命令	重复执行上一个命令，或者重复执行以往使用的命令
撤销	取消前一个操作

2. 特定对象的快捷菜单

特定对象的快捷菜单允许用户针对选中的对象快速执行操作，相比于使用工具条或菜单栏，该操作方式更高效，且菜单中仅显示与所选对象相关的命令。

特定对象的快捷菜单有选择特征、选择组件等，如图 3-17 所示。

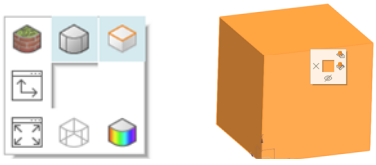


(a)选择特征　　(b)选择组件

图 3-17

3. 辐射状菜单

辐射状菜单提供快速执行命令的另一种方法。当按住鼠标右键不放时，根据光标位置或所选对象的不同，会围绕光标呈现一个带有 1～8 个图标的辐射状菜单，如图 3-18 所示。利用它可以快速执行相应的命令。



(a) 选择对象(图形窗口)　　(b) 有选择对象(特征)

图 3-18

3.2 定制工作环境

NX 系统的默认参数是针对大众化的要求而设计的。使用者可以根据自己的偏好和应用情况对参数进行一定的更改，如切换语言界面、定制选项卡、使用用户默认设置、创建模板和角色等。

3.2.1 切换语言界面

NX 提供了多种语言界面，语言界面的切换可通过修改操作系统的环境变量来实现。

切换语言界面的操作步骤如下。

(1) 选择【开始】|【控制面板】|【性能与维护】|【系统】|【高级】|【环境变量】命令。

(2) 在弹出的【环境变量】对话框的【系统变量】列表框中选择【UGII_LANG】选项，单击【编辑】按钮。

(3) 在弹出的【编辑系统变量】对话框中，将【变量值】改为“Simpl_Chinese”或“English”(字母大小写均可)，如图 3-19 所示，单击【确定】按钮关闭对话框。重启 NX 后，即可显示相应界面。