



普通高等教育“十二五”机电类规划教材



精品力作



UG NX 8.0

中文版三维造型设计基础

任军学 田卫军 高长银 主 编
李 郁 刘 丽 姚倡锋 副主编

- **【内容特色】**：以UG工具命令讲解为主，详细讲解了常用命令操作流程及其子菜单及选项卡的具体含义，部分通过案例的形式进行分析讲解，极大地方便了读者阅读理解和查阅。
- **【光盘特色】**：在掌握命令基础上，本书光盘配套课程练习PPT，针对CAD/CAM设计的相关模块，进行了典型案例的讲解，可以有效方便读者练习和课堂教学使用。
在光盘中共有**【Resource】**、**【课程练习PPT】**、**【综合案例】**、**【习题图集】**及**【考试模拟题】**5个子目录。



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

普通高等教育“十二五”机电类规划教材

UG NX 8.0 中文版 三维造型设计基础

任军学 田卫军 高长银 主 编

李 郁 刘 丽 姚倡锋 副主编

何扣芳 侯 伟 雷 玲
参 编

李文燕 杨振朝 殷 锐

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是 UG NX 8.0 三维造型技术的基础教程。全书共分 9 章, 包括三维造型技术基础、UG NX 8.0 基础操作、曲线造型设计、草图设计、实体造型设计、曲面造型设计、工程制图设计、装配设计、机构运动仿真。本书的特色是由“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 (CAD 技术) 的有机组成。针对三维造型技术课程的授课特点, 按照不同的教学学时、教学层次编写了思考与练习。为了提高读者对 UG NX 8.0 CAD 技术基础理论的理解, 本书在相应的章节中介绍了应用实例。

本书可作为高等院校数控技术、模具设计与制造、机械制造及自动化、飞行器制造工程专业, 以及其他相近专业的教学用书, 也可作为职业技能培训和相关技术人员的参考书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

UG NX 8.0 中文版三维造型设计基础 / 任军学, 田卫军, 高长银主编. —北京: 电子工业出版社, 2013.10
普通高等教育“十二五”机电类规划教材
ISBN 978-7-121-21630-5

I. ①U… II. ①任… ②田… ③高… III. ①工业产品—产品设计—计算机辅助设计—应用软件—高等学校—教材 IV. ①TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 238267 号

策划编辑: 李 洁

责任编辑: 侯丽平

印 刷: 北京天宇星印刷厂

装 订: 三河市皇庄路通装订厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 22.75 字数: 626.8 千字

印 次: 2013 年 10 月第 1 次印刷

印 数: 3 500 册 定价: 49.00 元 (含光盘 1 张)

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

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“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。三维造型技术的内涵已经有了全面拓展,它已不再是简单地绘制二维图纸的过程,而是从设计、分析到制造的全过程。

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的教学而编写,集成了高校教学多年来在三维造型应用技术方面的经验,以及培训与工程项目经验。全书共分9章,包括三维造型技术基础、UG NX 8.0 基础操作、曲线造型设计、草图设计、实体造型设计、曲面造型设计、工程制图设计、装配设计、机构运动仿真。本书的特色是由“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(CAD技术)的有机组成。

本书有两个主要特色。

1. **内容特色:**以UG工具命令讲解为主,详细讲解了常用命令操作流程及其子菜单及选项卡的具体含义,部分通过案例的形式进行分析讲解,极大地方便了读者阅读理解和查阅。

2. **光盘特色:**为方便读者练习,特将本书中所用到的范例、配置文件等放入随书附赠的光盘中。在光盘中共有5个子目录。

(1)【Resource】子目录:包含本书讲解中所用到的文件和部分课后习题答案。

(2)【课程练习PPT】子目录:主要为读者提供模块化练习,其中包括练习part源文件和部分视频文件,学习时,选取需要的视频文件即可播放。

(3)【综合案例】子目录:主要为读者提供综合案例的详细讲解,在阅读本书、熟悉常用命令后,通过综合案例的练习,提高读者的综合应用水平。

(4)【习题图集】子目录:主要为读者提供业余的自我练习。

(5)【考试模拟题】子目录:主要为读者提供自测模拟试题,可以针对学习情况进行自我检测,同时也可以作为相关课程的考试使用。

读者在学习过程中可以利用这些范例文件进行操作和练习。建议读者在学习本书之前,将随书光盘中的所有文件复制到计算机硬盘的F盘中。

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。

本书主要由任军学(西北工业大学)、田卫军(西北工业大学)、高长银(郑州航空工业管理学院)任主编,刘丽(郑州航空工业管理学院)、李郁(西北工业大学明德学院)、姚倡锋(西北工业大学)任副主编,其他参编人员还有何扣芳、侯伟、雷玲、李文燕、杨振朝、殷锐。限于编写时间和编者的水平,书中必然会存在需要进一步改进和高的地方。我们十分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。

最后,感谢电子工业出版社为本书提供的机遇和帮助。

编 者

2013年3月

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为，歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396; (010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

目 录

第 1 章 三维造型技术基础	(1)	2.2.2 可视化参数设置	(43)
1.1 三维造型技术简介	(1)	2.2.3 背景参数设置	(43)
1.1.1 三维造型的发展史	(1)	2.3 UG NX 8.0 常用工具	(44)
1.1.2 三维造型的未来	(2)	2.3.1 点构造器	(44)
1.2 三维造型的种类	(5)	2.3.2 平面工具	(47)
1.2.1 线框造型	(5)	2.3.3 矢量构造器	(48)
1.2.2 曲面造型	(5)	2.3.4 类选择器	(49)
1.2.3 实体造型	(5)	2.3.5 信息查询工具	(50)
1.2.4 特征参数化造型	(7)	2.3.6 对象分析工具	(51)
1.2.5 变量化造型	(8)	2.3.7 表达式	(55)
1.3 曲线、曲面造型原理	(9)	2.4 UG NX 8.0 基本操作功能	(58)
1.3.1 自由曲线、曲面的 造型原理	(9)	2.4.1 UG NX 8.0 鼠标操作	(58)
1.3.2 CAD 系统常见曲线、 曲面造型	(17)	2.4.2 UG NX 8.0 常用快捷键	(58)
1.3.3 曲线、曲面质量 评估分析	(19)	2.5 本章小结	(60)
1.4 图形交换标准	(21)	2.6 思考与练习	(60)
1.5 常用 CAD/CAM/CAE 软件	(23)	第 3 章 曲线造型设计	(61)
1.5.1 CATIA 软件	(23)	3.1 曲线工具概述	(61)
1.5.2 PTC Creo	(24)	3.1.1 生成曲线工具	(61)
1.5.3 UG NX	(25)	3.1.2 曲线操作工具	(62)
1.5.4 Cimatron	(26)	3.1.3 曲线编辑工具	(62)
1.5.5 Inventor	(26)	3.2 曲线构建	(62)
1.6 本章小结	(27)	3.2.1 点	(62)
1.7 思考与练习	(27)	3.2.2 直线	(63)
第 2 章 UG NX 8.0 基础操作	(28)	3.2.3 圆弧	(65)
2.1 UG NX 8.0 工作环境	(28)	3.2.4 圆	(68)
2.1.1 UG NX 8.0 工作界面	(28)	3.2.5 基本曲线	(69)
2.1.2 文件的操作	(30)	3.2.6 点集	(71)
2.1.3 功能模块的进入	(35)	3.2.7 样条曲线	(73)
2.1.4 工具条的制定	(36)	3.2.8 曲线倒斜角	(75)
2.1.5 坐标系	(37)	3.2.9 矩形	(76)
2.1.6 图层操作	(41)	3.2.10 多边形	(76)
2.2 UG NX 8.0 系统参数设定	(42)	3.2.11 椭圆	(77)
2.2.1 对象参数的设置	(42)	3.2.12 一般二次曲线	(78)
		3.2.13 规律曲线	(79)
		3.3 曲线操作	(81)
		3.3.1 偏置曲线	(81)

3.3.2	桥接曲线	(83)	4.4.3	更新模型	(113)
3.3.3	连接曲线	(84)	4.5	本章小结	(113)
3.3.4	投影曲线	(85)	4.6	思考与练习	(113)
3.3.5	相交曲线	(86)	第5章 实体造型设计	(115)	
3.3.6	组合投影	(87)	5.1	实体建模概述	(115)
3.3.7	截面曲线	(87)	5.1.1	基本术语	(115)
3.3.8	抽取曲线	(88)	5.1.2	UG NX 8.0 特征的分类	(116)
3.3.9	在面上偏置曲线	(89)	5.1.3	UG NX 8.0 实体特征工具	(116)
3.4	编辑曲线	(89)	5.2	扫描特征	(117)
3.4.1	编辑曲线参数	(89)	5.2.1	拉伸特征	(117)
3.4.2	修剪曲线	(89)	5.2.2	回转特征	(121)
3.4.3	修剪拐角	(90)	5.2.3	沿引导线扫描特征	(123)
3.4.4	编辑圆角	(90)	5.2.4	管道特征	(125)
3.4.5	分割曲线	(91)	5.3	成型特征	(126)
3.4.6	曲线长度	(92)	5.3.1	孔特征	(126)
3.4.7	光顺样条	(93)	5.3.2	凸台特征	(128)
3.5	曲线分析	(94)	5.3.3	腔体特征	(131)
3.5.1	常用曲线分析命令	(94)	5.3.4	垫块特征	(133)
3.5.2	曲线连续性	(97)	5.3.5	键槽特征	(134)
3.5.3	曲率图	(97)	5.3.6	槽特征	(136)
3.5.4	输出列表	(97)	5.3.7	曲线成片体	(136)
3.6	本章小结	(98)	5.3.8	有界平面	(137)
3.7	思考与练习	(98)	5.3.9	加厚特征	(138)
第4章 草图设计	(100)		5.3.10	螺纹特征	(139)
4.1	概述	(100)	5.4	基准特征	(141)
4.1.1	草图与特征	(100)	5.4.1	基准平面	(141)
4.1.2	草图与图层	(100)	5.4.2	基准轴	(142)
4.1.3	草图参数预设置	(101)	5.5	基本体素特征	(142)
4.1.4	建立草图的一般步骤	(102)	5.5.1	长方体	(142)
4.2	创建草图	(102)	5.5.2	圆柱	(144)
4.3	草图工具条简介	(103)	5.5.3	圆锥	(145)
4.3.1	草图工具条	(103)	5.5.4	球	(146)
4.3.2	草图曲线	(103)	5.6	特征操作	(147)
4.3.3	草图约束	(106)	5.6.1	拔模	(147)
4.3.4	草图操作	(108)	5.6.2	边倒圆	(151)
4.3.5	草图编辑	(111)	5.6.3	面倒圆	(152)
4.3.6	尺寸约束类型	(112)	5.6.4	软倒圆	(155)
4.4	草图管理	(113)	5.6.5	倒斜角	(157)
4.4.1	草图视图显示	(113)	5.6.6	抽壳	(158)
4.4.2	草图重新附着	(113)			

5.6.7 缝合	(159)	6.4.5 修剪和延伸	(201)
5.6.8 偏置面	(160)	6.5 曲面的编辑	(204)
5.7 几何体运算	(161)	6.5.1 概述	(204)
5.7.1 修剪体	(161)	6.5.2 参数化编辑	(204)
5.7.2 求和	(162)	6.5.3 扩大曲面	(205)
5.7.3 求差	(163)	6.5.4 剪断曲面	(206)
5.7.4 求交	(164)	6.6 曲面分析	(207)
5.8 关联复制特征	(164)	6.6.1 截面分析	(207)
5.8.1 抽取体	(165)	6.6.2 高亮线分析	(209)
5.8.2 复合曲线	(166)	6.6.3 曲面连续性分析	(210)
5.8.3 阵列面	(167)	6.6.4 半径分析	(212)
5.8.4 镜像特征	(168)	6.6.5 反射分析	(213)
5.8.5 镜像体	(169)	6.6.6 斜率分析	(215)
5.8.6 对特征形成图样	(170)	6.6.7 拔模分析	(215)
5.9 编辑特征	(172)	6.6.8 距离分析	(216)
5.9.1 编辑特征参数	(172)	6.7 本章小结	(217)
5.9.2 移动特征	(173)	6.8 思考与练习	(217)
5.9.3 抑制特征	(174)	第7章 工程制图设计	(219)
5.9.4 取消抑制特征	(175)	7.1 工程图设计概述	(219)
5.9.5 特征回放	(176)	7.1.1 UG NX 8.0 工程图特点	(219)
5.10 本章小结	(176)	7.1.2 制图界面	(220)
5.11 思考与练习	(176)	7.1.3 UG NX 8.0 出图的一般过程	(221)
第6章 曲面造型设计	(179)	7.2 工程图管理功能	(222)
6.1 概述	(179)	7.2.1 创建工程图纸	(222)
6.1.1 自由曲面构造方法	(179)	7.2.2 打开工程图纸	(222)
6.1.2 自由曲面工具条	(180)	7.2.3 编辑工程图纸	(223)
6.1.3 基本概念	(180)	7.2.4 删除工程图纸	(223)
6.1.4 基本原则与技巧	(181)	7.3 视图管理功能	(223)
6.2 基于点的自由特征	(181)	7.3.1 视图的建立	(223)
6.3 基于曲线的自由曲面特征	(182)	7.3.2 基本视图	(224)
6.3.1 直纹面	(182)	7.3.3 投影视图	(224)
6.3.2 通过曲线组曲面	(184)	7.3.4 局部放大图	(225)
6.3.3 通过曲线网格曲面	(188)	7.3.5 剖视图	(226)
6.3.4 扫掠曲面	(191)	7.3.6 半剖视图	(228)
6.3.5 截切面体	(194)	7.3.7 旋转剖视图	(228)
6.4 基于曲面的自由曲面特征	(196)	7.3.8 局部剖视图	(230)
6.4.1 桥接曲面	(196)	7.3.9 展开剖视图	(231)
6.4.2 延伸曲面	(198)	7.3.10 断开视图	(234)
6.4.3 偏置曲面	(199)	7.4 视图编辑	(234)
6.4.4 修剪片体	(200)		

7.4.1	移动与复制视图	(235)	8.3.2	添加组件	(271)
7.4.2	对齐视图	(235)	8.3.3	移动组件	(274)
7.4.3	移除视图	(236)	8.3.4	装配约束	(278)
7.4.4	自定义视图边界	(236)	8.3.5	装配引用集	(284)
7.4.5	编辑截面线	(237)	8.4	组件编辑操作	(287)
7.4.6	组件剖视	(237)	8.4.1	组件删除	(287)
7.4.7	视图相关编辑	(238)	8.4.2	组件隐藏与显示	(287)
7.4.8	更新视图	(240)	8.4.3	组件抑制与释放	(288)
7.5	尺寸标注	(241)	8.4.4	替换组件	(288)
7.5.1	尺寸标注的类型	(241)	8.4.5	组件阵列	(289)
7.5.2	标注尺寸的一般步骤	(243)	8.4.6	镜像装配	(291)
7.6	注释和标签设置	(243)	8.5	自顶向下装配	(294)
7.6.1	注释设置	(243)	8.5.1	基本概念	(294)
7.6.2	形位公差设置	(244)	8.5.2	先组件再模型方法	(294)
7.6.3	表面粗糙度设置	(245)	8.5.3	先模型再组件方法	(297)
7.7	表格设置	(245)	8.6	部件间建模——WAVE 技术	(297)
7.8	参数设置	(246)	8.6.1	WAVE 技术概述	(297)
7.8.1	视图显示参数设置	(246)	8.6.2	【WAVE 几何链接器】	
7.8.2	标注参数预设置	(247)		对话框	(298)
7.9	数据转换	(249)	8.7	爆炸图	(301)
7.9.1	概述	(249)	8.7.1	概念	(301)
7.9.2	UG NX 8.0 与 DXF/DWG		8.7.2	爆炸图的建立	(302)
	格式转换	(250)	8.7.3	爆炸图的操作	(302)
7.10	固定支座工程图案例	(251)	8.8	应用实例	(306)
7.11	本章小结	(257)	8.8.1	装配过程	(306)
7.12	思考与练习	(258)	8.8.2	创建爆炸图	(312)
第 8 章	装配设计	(259)	8.9	本章小结	(313)
8.1	装配功能介绍	(259)	8.10	思考与练习	(313)
8.1.1	UG NX 8.0 装配概述	(259)	第 9 章	机构运动仿真	(314)
8.1.2	装配术语	(260)	9.1	运动仿真功能简介	(314)
8.1.3	装配用户界面	(261)	9.1.1	机构运动仿真功能	(314)
8.1.4	装配的一般思路	(265)	9.1.2	运动仿真基本流程	(315)
8.1.5	装配中部件的		9.2	运动副设置	(317)
	不同状态	(265)	9.2.1	连杆与材料	(317)
8.2	装配导航器	(267)	9.2.2	旋转副	(319)
8.2.1	概述	(268)	9.2.3	滑动副	(320)
8.2.2	装配导航器的设置	(268)	9.2.4	柱面副	(320)
8.2.3	约束导航器	(270)	9.2.5	齿轮副	(320)
8.3	自底向上装配	(271)	9.2.6	齿轮齿条副	(321)
8.3.1	概念与步骤	(271)	9.2.7	球面副	(322)

9.2.8	万向节副.....	(322)	9.4.2	阻尼	(328)
9.2.9	螺旋副	(323)	9.4.3	3D 接触与碰撞.....	(329)
9.2.10	固定副.....	(323)	9.5	结果输出.....	(331)
9.3	力	(323)	9.5.1	图表	(331)
9.3.1	标量力	(323)	9.5.2	电子表格.....	(333)
9.3.2	矢量力	(324)	9.6	仿真案例.....	(334)
9.3.3	标量扭矩.....	(325)	9.6.1	机械手运动仿真.....	(334)
9.3.4	矢量扭矩.....	(326)	9.6.2	飞机起落架运动仿真.....	(343)
9.4	动态分析.....	(327)	9.7	本章小结.....	(350)
9.4.1	弹簧	(327)	9.8	思考与练习	(351)

第 1 章 三维造型技术基础

本章知识导读

本章主要介绍三维造型技术基础知识,主要包括三维造型技术简介、三维造型的种类、自由曲面的构建原理及其在计算机中的表述形式和控制方法。此外,还介绍了曲线、曲面质量的分析方法与手段,图形的数据交互格式以及目前工业主流的三维设计软件。

通过本章学习系统了解和掌握三维设计软件的发展历史过程、各阶段特点以及设计软件的模型构建原理与其交互形式,为后期合理正确使用软件奠定理论基础。

本章学习内容

- 了解三维造型技术的历史演变过程;
- 熟悉三维造型技术的种类与特点;
- 了解自由曲面的数学表达方法及其质量评估;
- 熟悉图形数据交换标准及其格式;
- 了解主流三维 CAD 设计软件及其特点。

1.1 三维造型技术简介

1.1.1 三维造型的发展史

三维造型技术就是将物体的形状与属性存储在计算机内,通过直观、充分、清楚的表达手段,形成三维几何模型的过程。即三维造型技术是利用计算机系统描述物体形状的技术。它被广泛应用于工程设计和制造的各个领域。如何利用一组数据表示形体,如何控制与处理这些数据,是几何造型中的关键技术。

CAD 技术产生于 20 世纪 50 年代后期发达国家的航空和军事工业中。1989 年,美国国家工程研究院将 CAD 技术评为 1964—1989 年十项最杰出的工程技术成就之一。CAD 在早期是英文 Computer Aided Drafting 的缩写,但是随着计算机硬件、软件技术的发展,人们逐步地认识到单纯使用计算机绘图还不能称之为计算机辅助设计,真正的设计是整个产品的设计,它包括产品的构思、功能设计、结构分析、加工制造等,二维工程图设计只是产品设计中一个小的部分。于是 CAD 改为 Computer Aided Design 的缩写词,如此 CAD 不再是辅助绘图,而是整个产品的辅助设计。

在 CAD 技术发展初期,CAD 仅限于计算机辅助绘图,随着三维造型技术的发展,CAD 技术才从二维平面绘图发展到三维产品建模,随之产生了三维线框模型、曲面模型和实体造型技术。

如今参数化及变量化设计思想和特征模型则代表了当今 CAD 技术的发展方向。CAD 技术是一项综合性的、技术复杂的系统工程,涉及许多学科领域,如计算机科学和工程、计算数学、计算几何、计算机图形显示、数据库技术、网络技术、仿真技术、人工智能学科和技术以及与各领域产品设计有关的专业知识等。

1.1.2 三维造型的未来

1. 三维建模技术的创新与融合

近几年,三维 CAD 在国内得到了越来越广泛的应用,企业中三维 CAD 替代二维 CAD 的趋势也越来越明显。同时,CAD 厂商也在根据用户需求不断完善 CAD 软件的三维设计功能。三维建模技术经历了从线框建模、实体/曲面建模到特征建模等发展过程。随着技术的不断进步,又出现了直接建模、同步技术等多种新的先进建模技术,并逐步融合。设计师因此有了更多新的建模手段,从而可实现快速的设计变更和系列化产品设计。图 1-1 为三维建模技术的发展路线。

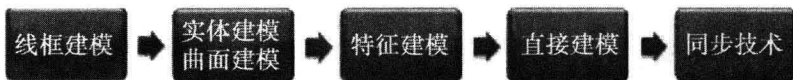


图 1-1 三维建模技术的发展路线

三维实体造型技术的核心包括 CSG (Constructive Solid Geometry) 和 B-REP 模型。CSG 表达建模的顺序过程,B-REP 是三维模型的点、线、面、体信息,即造型结果的三维实体信息。特征造型技术是在 CSG 的基础上,添加了特征树的概念,它是今天流行的各个主流的基于特征造型三维机械 CAD 系统的核心原理。直接建模的核心是只有 B-REP 信息,没有 CSG 信息,它不考虑造型的顺序,所以可以随便修改模型的点、线、面、体,无须考虑保持特征树的有效性,不受到造型顺序的制约。同步技术将特征建模和直接建模相结合,实现在三维环境下,进行尺寸驱动(或者叫参数化设计,Parametric Design)及伸展变形(Stretch)的三维造型方法和约束求解技术,既保留零件的实体特征信息,又能实现尺寸驱动,还能使基于特征的无参数建模和基于特征参数建模完美兼容,实现三维模型的迅速修改,从而达到快速变更模型设计和产品系列化设计的目的。

为了使设计更加方便、快捷,易于修改,目前市场上主流三维 CAD 基本融合以上建模技术中的两种或几种建模方式。Siemens PLM Software 率先在 PLM 行业内发布同步技术,形成了直接建模、特征建模、曲面建模和同步技术多种建模方式;PTC 收购直接建模工具 Cocrete 后,整合推出了 Creo Direct 应用,将 Cocrete 的直接建模功能融入到 Creo 平台中,实现了参数化建模与直接建模的融合;SolidWorks 2012 版本中将基于历史的参数化建模和直接建模这两种技术有机地融合在一起,既沿用参数化技术的特点,同时也与直接建模技术相结合;Autodesk Inventor Fusion 也具备了直接建模功能,能够自由、快速地更改设计,并将直接流程与参数化流程结合到了 Autodesk Inventor 软件创建的单个数字化模型中。

2. 三维 CAD 技术发展总体趋势

1) 集成一体化的 CAE/CAM 和产品数据管理功能

很多企业虽然在整个流程中引入了 CAD/CAE/CAM 和产品数据管理功能,但往往由于各个软件系统之间相互孤立而没有发挥其应有的价值,主要表现为:引进非集成的专业 CAE/CAM 工

具,意味着设计人员需要重新掌握新的一套软件,造成工作效率降低;数据格式之间相互独立且不容易转换,影响了与 CAD 软件之间的数据沟通,无法构成设计、分析、加工的循环创新体系;引入独立的 CAE/CAM 工具是一笔巨大的成本支出,性价比较低。鉴于以上的原因,很多厂商考虑将 CAD/CAE/CAM 集成于一体,提供完整的 PLM 解决方案。这种集成方案的优势在于:①数据的无损失性和相关性;②直接地将工程分析和加工验证结果反馈到设计中去,快速评估,减少物理样机测试;③一体化的数据和流程管理,可以保持数据的安全性及可追溯性。

CAD/CAM/CAE 一体化代表性的厂商包括 PTC、达索系统、Simense PLM 等。PTC 公司的 Creo Simulate 提供结构分析和热分析两个仿真分析模块,既可作为独立软件使用,也可集成在 Creo Parametric 的统一界面环境下执行其功能;达索系统的 ABAQUS for CATIA 使用户可以在 CATIA 内部直接调用 ABAQUS 求解器进行机械、热和热固耦合等分析, SolidWorks 在仿真方面依靠与 SolidWorks Simulation 的完全集成,使仿真界面、仿真流程无缝融入到 SolidWorks 的设计过程中,提供了单一屏幕解决方案来进行应力分析、频率分析、扭曲分析、热分析和优化分析,如图 1-2 所示。Simense PLM 旗下的 NX 8.0 中也都有相应的仿真解决方案,如图 1-3 所示。

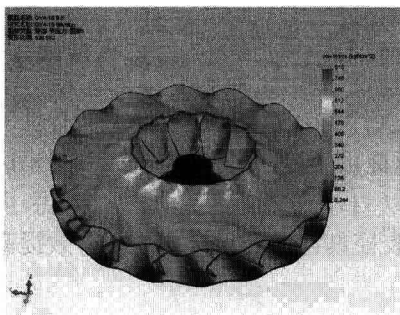


图 1-2 SolidWorks 2012 强度刚度分析

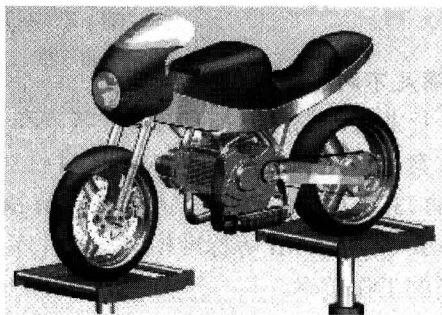


图 1-3 NX 8.0 Simulation 多体分析

2) 机、电、软一体化协同设计

机械电子几乎贯穿于所有的机械产品中,设计人员不仅要处理机械、电子的设计问题,更要处理机械、电子的集成问题,也就是机电一体化协同的问题。机电一体化概念设计解决方案 MCD (Mechatronics Concept Designer),协同运用机械原理、电气原理和自动化原理,加快设计交付速度、减少设计流程后期的集成问题。三维 PCB 设计,实现 MCAD 和 ECAD 的交互,并集成电路板的热分析,确保设计质量。电缆设计,涵盖了电气元器件的定义和管理,电气原理的输入和走线布局,以及最终线缆生产文档的输出。在产品日趋复杂和客户要求越来越高的双重压力下,制造企业特别是高科技电子企业必须同时使用设计工具组 (EDA、ECAD、MCAD),才能更好地实现 MCAD 与 ECAD 的交互,更快地传递设计变更,让机械工程师和电气工程师得以畅通地交流,从而保证设计的高效和精确。在机电一体化设计方面代表性的厂商如 PTC。PTC 的 Creo 中的 ECAD-MCAD Collaboration Extension 模块可以帮助改善电气设计师和机械设计师之间的设计协作,改善机电详细设计过程、减少协作错误,使机械工程师在提出变更建议之前能够更好地了解其对电气设计的影响,更快速地传递设计变更。

3) 三维 CAD 应用体验的改善

三维 CAD 厂商从关注功能到关注用户体验转变,如 Simense PLM 的全息 3D 技术 (HD3D) 提供了可视化的模型和信息,如图 1-4 所示;达索“3D EXPERIENCE (3D 体验)”理念通过 3D 的方式构建了一个完整的逼真体验环境,包括虚拟设计、虚拟仿真、虚拟制造、虚拟运行、虚拟

维修；中望 3D 2012 中，为了改善用户体验加入了全新的 Ribbon 界面以及 Windows 操作风格，同时为用户提供了丰富的界面定制功能，满足了个性化需求。

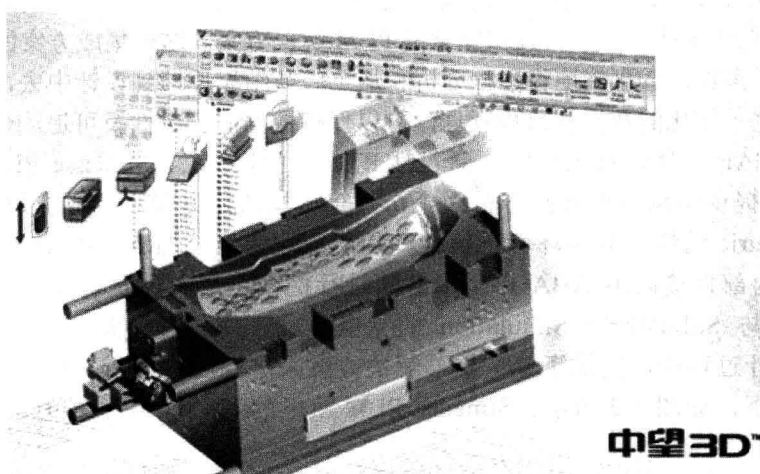


图 1-4 全息 3D 技术 (HD3D)

4) 满足不同行业的设计需求

每个行业领域的应用都有其行业特点和特殊的需求，针对专业行业领域更需要有针对性的行业解决方案。山大华天的 SINOvation 针对铸造和冲压提供了专门的解决方案，如图 1-5 所示。而中望的 3D 2012 全流程塑胶模具解决方案，可以自动分析型芯型腔，提供了丰富的 DME/HASCO/MISUMI 等标准模架与配件库，满足了塑胶模具行业的设计需求，有效提高了模具设计人员的工作效率。

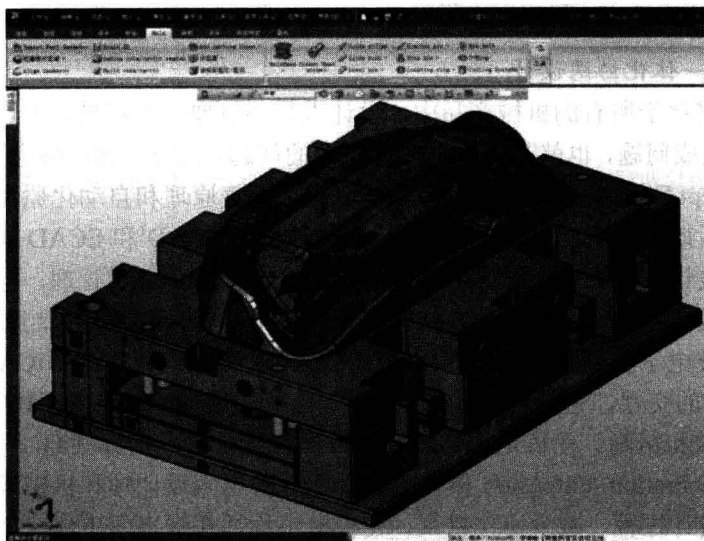


图 1-5 SINOvation 解决方案

除了以上几点外，云计算、移动应用也在三维 CAD 领域兴起，以 AutoDesk 为首的各大主流 CAD 厂商积极试水云计算，并在 CAD 的移动应用方面逐渐兴起。

1.2 三维造型的种类

1.2.1 线框造型

20 世纪 60 年代末人们开始研究用线框和多边形构造三维实体,这样的模型被称为线框模型。三维物体由它的全部顶点及边的集合来描述,线框由此得名,线框模型就像人类的骨骼。其优点是有了物体的三维数据,可以产生任意视图,视图间能保持正确的投影关系,这为生成工程图带来了方便。此外还能生成透视图和轴测图,这在二维系统中是做不到的;构造模型的数据结构简单,节约计算机资源;学习简单,是人工绘图的自然延伸。其缺点是因为它以棱线全部显示,物体的真实感可出现二义解释;缺少曲线轮廓,若要表现圆柱、球体等曲面比较困难;由于数据结构中缺少边与面、面与面之间关系的信息,因此不能构成实体,无法识别面与体,不能区别体内与体外,不能进行剖切,不能进行两个面求交,不能自动划分有限元网络等。目前许多 CAD/CAM 系统仍将此系统作为表面模型和实体模型的基础。

1.2.2 曲面造型

进入 20 世纪 70 年代,正值飞机和汽车工业的蓬勃发展时期。此间飞机和汽车制造中出现了大量的自由曲面问题,当时只能采用多截面视图、特征纬线的方法来近似表达所要设计的曲面。由于三视图表达的不完整性,因此很难达到设计者的要求。此时法国人贝赛尔提出了 Bezier 算法,使得人们在用计算机处理曲面及曲线问题时变得可以操作。法国达索(Dassault)飞机制造公司开发的三维曲面造型系统 CATIA 带来了第一次 CAD 技术革命。曲面造型系统有了技术革新,使汽车开发手段比旧的模式有了质的飞跃,许多车型的开发周期由原来的 6 年缩短到只需约三年。曲面模型与线框模型相比,曲面模型多了一个面表,记录了边与面之间的拓扑关系。曲面模型就像贴付在骨骼上的肌肉。其优点就是能实现面与面相交、着色、表面积计算、消隐等功能,此外该系统还擅长于构造复杂的曲面物体,如模具、汽车、飞机等的表面。但它只能表示物体的表面及边界,不能进行剖切,不能对模型进行质量、质心、惯性矩等物性计算。

1.2.3 实体造型

进入 20 世纪 80 年代,CAD 价格依然令一般企业望而却步,这使得 CAD 技术无法拥有更广阔的市场。由于表面模型技术只能表达形体的表面信息,难以准确表达零件的其他特性,如质量、重心、惯性矩等,对 CAE 十分不利。基于对 CAD/CAE 一体化技术发展的探索,SDRC 公司在美国国家航空及宇航局(NASA)支持下于 1979 年发布了世界上第一个完全基于实体造型技术的大型 CAD/CAE 软件——I-DEAS。由于实体模型能精确表达零件的全部属性,在理论上统一 CAD/CAE/CAM——带来了 CAD 发展史上第二次技术革命。实体模型在表面看来往往类似于经过消除隐藏线的线框模型或经过消除隐藏面的曲面模型;但若在实体模型上挖一个孔,就会自动生成一个新的表面,同时自动识别内部和外部;实体模型可以使物体的实体特性在计算机中得到定义。

实体特性在于它是一个全封闭(实体)的三维形体的计算机表示;具有完整性和无二义性;保证只对实际上可实现的零件进行造型;零件不会缺少边、面,也不会有一条边穿入零件实体,因此,能避免差错和不可实现的设计,提供高级的整体外形定义方法,也可以通过布尔运算从旧模型得到新模型。实体模型就是(以人体为例):骨骼+肌肉+内脏=完整人体。

实体模型表示方法：边界表示法（Boundary Representation），简称 B-Reps。边界表示法按照体一面一环一边一点的层次，详细记录了构成形体的所有几何元素的几何信息及其相互连接的拓扑关系，在进行各种运算和操作中，就可以直接取得这些信息。

其优点如下：

（1）形体的点、边、面等几何元素是显式表示的，使得绘制 B-Reps 表示的形体的速度较快，而且比较容易确定几何元素间的连接关系；

（2）容易支持对物体的各种局部操作，比如进行倒角，我们不必修改形体的整体数据结构，而只需提取被倒角的边和与它相邻两面的有关信息，然后施加倒角运算就可以了；

（3）便于在数据结构上附加各种非几何信息，如精度、表面粗糙度等。

由于 B-Reps 表示覆盖域大，原则上能表示所有的形体，而且易于支持形体的特征表示等，B-Reps 表示已成为当前 CAD/CAM 系统的主要表示方法。

其缺点如下：

（1）数据结构复杂，需要大量的存储空间，维护内部数据结构的程序比较复杂；

（2）B-Reps 表示不一定对应一个有效形体，通常运用欧拉操作来保证 B-Reps 表示形体的有效性、正则性等。

建构实体几何法（Constructive Solid Geometry），简称 CSG，它是通过对体素定义、运算而得到新的形体的一种表示方法，体素可以是立方体、圆柱、圆锥等，其运算为变换或正则集合运算并、交、差。CSG 表示可以看成是一棵有序的二叉树，就是将一些基本的立体组成图形，例如，立方体、锥体、圆柱、球体等，互相重叠放置在一起，然后，剪去或拟合重复的部分即可，如图 1-6 所示。

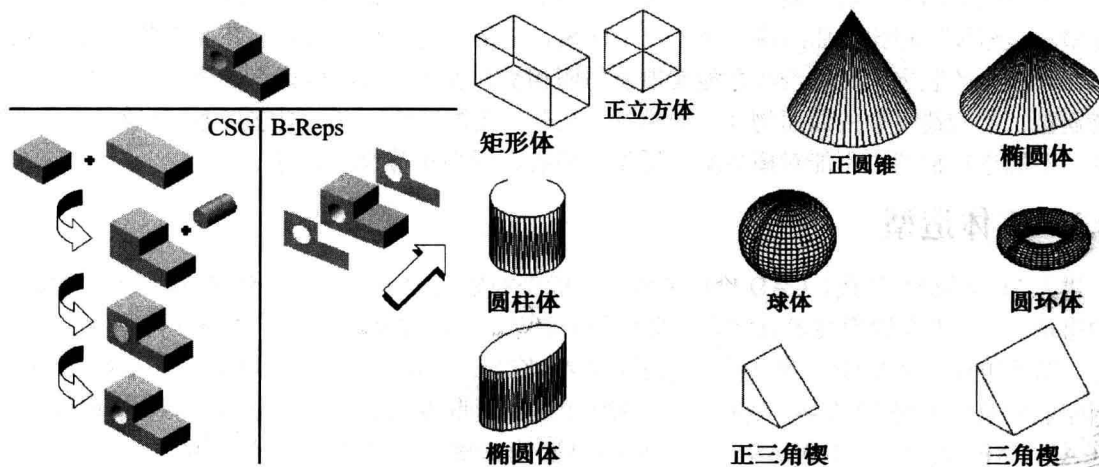


图 1-6 实体模型表示方法

CSG 表示的优点：

（1）数据结构比较简单，数据量比较小，内部数据的管理比较容易；

（2）CSG 表示可方便地转换成边界（B-Reps）表示；

（3）CSG 方法表示的形体的形状比较容易修改。

CSG 表示的缺点：

（1）对形体的表示受体素种类和对体素操作种类的限制，也就是说，CSG 方法表示形体的覆盖域有较大的局限性；

(2) 对形体的局部操作不易实现,例如,不能对基本体素的交线倒圆角;

(3) 由于形体的边界几何元素(点、边、面)是隐含地表示在 CSG 中,故显示与绘制 CSG 表示的形体需要较长的时间。

1.2.4 特征参数化造型

20 世纪 80 年代中晚期,计算机技术迅猛发展,硬件成本大幅度降低,CAD 技术的硬件平台成本从二十几万美元降到只需几万美元。很多中小型企业也开始有能力使用 CAD 技术。

1988 年,参数技术公司(Parametric Technology Corporation, PTC)采用面向对象的统一数据库和全参数化造型技术开发了 Pro/Engineer 软件,为三维实体造型提供了一个优良的平台。参数化(Parametric)造型的主体思想是用几何约束、工程方程与关系来说明产品模型的形状特征,从而达到设计一系列在形状或功能上具有相似性的设计方案。目前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,因此参数化造型技术又称尺寸驱动几何技术,带来了 CAD 发展史上第三次技术革命。

参数化设计是 CAD 技术在实际应用中提出的课题,它不仅可使 CAD 系统具有交互式绘图功能,还具有自动绘图的功能。

目前参数化技术大致可分为如下三种方法:

(1) 基于几何约束的数学方法;

(2) 基于几何原理的人工智能方法;

(3) 基于特征模型的造型方法(特征工具库,包括标准件库均可采用该项技术)。其中数学方法又分为初等方法(Primary Approach)和代数方法(Algebraic Approach)。

初等方法利用预先设定的算法,求解一些特定的几何约束。这种方法简单、易于实现,但仅适用于只有水平和垂直方向约束的场合;代数方法则将几何约束转换成代数方程,形成一个非线性方程组。该方程组求解较困难,因此实际应用受到限制;人工智能方法是利用专家系统,对图形中的几何关系和约束进行理解,运用几何原理推导出新的约束,这种方法的速度较慢,交互性不好。

参数化系统的指导思想是:只要按照系统规定的方式去操作,系统保证生成的设计的正确性及效率性,否则拒绝操作。这种思路的副作用是:

(1) 使用者必须遵循软件的内在使用机制,如决不允许欠缺尺寸约束、不可以逆序求解等;

(2) 当零件截面形状比较复杂时,将所有尺寸表达出来让设计者为难;

(3) 只有尺寸驱动这一种修改手段,很难判断究竟改变哪一个(或哪几个)尺寸才会使形状朝着自己满意的方向改变;

(4) 尺寸驱动的范围亦是有限的,如果给出了不合理的尺寸参数,使某特征与其他特征相干涉,则引起拓扑关系的改变;

(5) 从应用来说,参数化系统特别适用于那些技术已相当稳定成熟的零配件行业,这样的行业,零件的形状改变很少,经常只需采用类比设计,即形状基本固定,只需改变一些关键尺寸就可以得到新的系列化设计结果。

特征的通用定义:特征就是任何已被接受的某一个对象的几何、功能元素和属性,通过它们可以很好地理解该对象的功能、行为和操作。更为严格的定义:特征就是一个包含工程含义或意义的几何原型外形。特征在此已不是普通的体素,而是一种封装了各种属性(Attribute)和功能(Function)的对象。在 CAD 系统引入“特征”后,能够起到以下三方面的作用: