

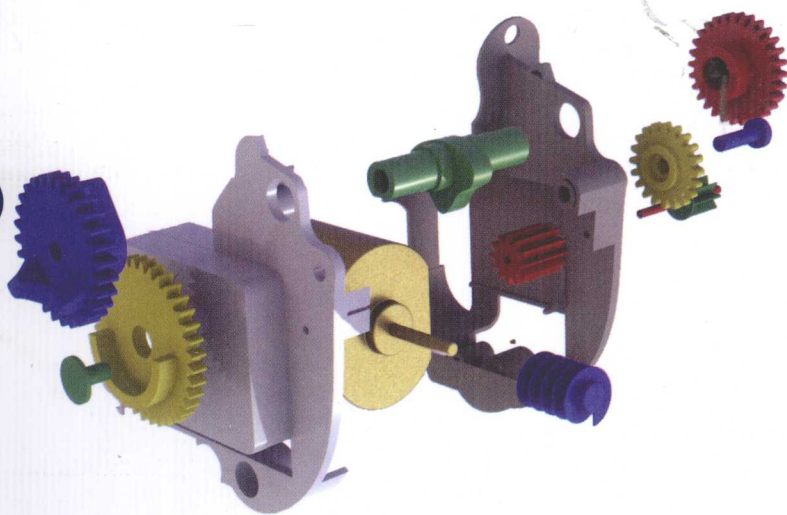
普通高等院校机械工程学科

“十二五”规划教材

计算机三维 机械设计基础

JISUANJI SANWEI JIXIE SHEJI JICHU

■ 主编 张瑞亮
■ 参编 孙桓五 武志斐 张翠平
王 铁 田惠琴 景 毅 丁 华



国防工业出版社
National Defense Industry Press

013024684

TH122-43
341

普通高等院校机械工程学科“十二五”

计算机三维机械设计基础

主编 张瑞亮
参编 孙桓五 武志斐 张翠平
王 铁 田惠琴 景 毅
丁 华



国防工业出版社



北航

C1632295

TH122-43

341

01305084

内 容 简 介

本书以 UG NX 软件作为三维 CAD 平台,主要介绍了机械 CAD 的组成、发展历程、常用三维软件及其在机械设计中的应用,着重介绍了 UG NX 软件的主要功能及使用技巧,通过丰富的机械设计案例,以机械设计过程为主线,引导读者快速掌握计算机辅助机械设计技术。

全书共 9 章,主要包括机械 CAD 概论、UG NX 基础知识、草图绘制、三维建模基础、典型机械零件建模、装配设计、工程图设计基础、工程图标及实例、UG 二次开发技术。

本书可作为高等工科院校机械设计制造、机电工程、力学和工业设计等专业学生的教材,也可作为 UG 初学者、中级使用人员的培训教材,也适用于各类从事三维 CAD 应用的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

计算机三维机械设计基础 / 张瑞亮主编. —北京:
国防工业出版社, 2013. 3

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-08684-3

I. ①计... II. ①张... III. ①机械设计-计算机辅助
设计-高等学校-教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 035270 号

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16½ 字数 376 千字

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 38.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

普通高等院校机械工程学科“十二五”规划教材 编委会名单

名誉主任	艾 兴	山东大学
	王先逵	清华大学
主 任	吕 明	太原理工大学
副 主 任	庞思勤	北京理工大学
	朱喜林	吉林大学
秘 书 长	杨胜强	太原理工大学
委 员	吴宗泽	清华大学
	潘宏侠	中北大学
	轧 刚	太原理工大学
	任家骏	太原理工大学
	陈 明	北华航天工业学院
	谭晓兰	北方工业大学
	李德才	北京交通大学
	杨 康	佳木斯大学
	石望远	北华航天工业学院
	王好臣	山东理工大学
	王卫平	东莞理工学院
	张平宽	太原科技大学
	赵 波	河南理工大学

序

国防工业出版社组织编写的“普通高等院校机械工程学科‘十二五’规划教材”即将出版,欣然为之作“序”。

随着国民经济和社会的发展,我国高等教育已形成大众化教育的大好形势,为适应建设创新型国家的重大需求,迫切要求培养高素质专门人才和创新人才,学校必须在教育观念、教学思想等方面做出迅速的反应,进行深入的教学改革,而教学改革的主要内容之一是课程的改革与建设,其中包括教材的改革与建设,课程的改革与建设应体现、固化在教材之中。

教材是教学不可缺少的重要组成部分,教材的水平将直接影响教学质量,特别是对学生创新能力的培养。作为机械工程学科的教材,不能只是传授基本理论知识,更应该是既强调理论,又重在实践,突出理论与实践结合,培养学生解决实际问题的能力和创新能力。在深入教学改革、新课程体系的建立及课程内容的发展过程中,建设这样一套新型教材的任务已经迫切地摆在我们面前。

国防工业出版社组织有关院校主持编写的这套“普通高等院校机械工程学科‘十二五’规划教材”,可谓正得其时。此套教材的特点是以编写“有利于提高学生创新能力和知识水平”为宗旨,选题论证严谨、科学,以体现先进性、创新性、实用性,注重学生能力培养为原则,以编出特色教材、精品教材为指导思想,注意教材的立体化建设,在教材的体系上下功夫。编写过程中,每部教材都经过主编和参编辛勤认真的编写和主审专家的严格把关,使本套教材既继承老教材的特点,又适应新形势下教改的要求,保证了教材的系统性和精品化,体现了创新教育、能力教育、素质教育教学理念,有效激发学生自主学习能力,提高学生的综合素质和创新能力,培养出符合社会需要的优秀人才服务。丛书的出版对高校的教材建设、特别是精品课程及其教材的建设起到了推动作用。

衷心祝贺国防工业出版社和所有参编人员为我国高等教育提供了这样一套有水平、有特色、高质量的机械工程学科规划教材,并希望编写者和出版者在与使用者的沟通过程中,认真听取他们的宝贵意见,不断提高该套规划教材的水平!

中国工程院院士

2010年6月

前 言

随着科学技术的发展和经济的全球化,传统的手工设计正逐渐被借助于计算机技术的设计即 CAD 所取代。计算机技术在产品设计中的应用已从往日的计算、绘图发展到当今的三维建模、优化设计、仿真一体化,从而大大缩短了产品的设计制造周期,提高了设计质量。CAD 技术的应用同时又推动着 CAD 技术快速地向发展,并已成为一个国家工业现代化和科学技术现代化的重要标志之一。

机械工业在整个工业生产过程中占有举足轻重的地位。机械 CAD 对促进机械工业的发展和科学技术水平的提高具有重要的意义。随着我国制造业信息化水平的不断提高,机械行业对既熟悉专业知识又熟悉三维 CAD 技术的高层次人才的需求也越来越强烈,因此在编写本书时,力争反映当代机械三维 CAD 技术的基本内容和发展水平,着重介绍机械 CAD 技术的基本内容及三维 CAD 技术的应用。

本书以 UG NX 软件为三维 CAD 平台,主要介绍了机械 CAD 的组成、发展历程、常用三维软件及其在机械设计中的应用,本书的写作结合了作者多年来在机械设计教学和科研方面的经验,内容选取适当,范例具有代表性,叙述简练,深入浅出,易于掌握。力求使读者将软件与行业知识有机地结合起来。介绍了 UG NX 软件的主要功能及使用技巧,通过丰富的机械设计案例,以机械设计过程为主线,引导读者快速掌握计算机辅助机械设计技术。全书共 9 章,主要包括机械 CAD 概论、UG NX 基础知识、草图绘制、三维建模基础、典型机械零件建模、装配设计、工程图设计基础、工程图标及实例、UG 二次开发技术。

本书的特点在于图文并茂,内容由浅入深、循序渐进、理论与实际操作并重,其主要功能命令的讲解配合操作实例,可使初学者通过边学边用,把学习命令融会到具体的设计中去,更有效地激发读者的学习兴趣,提高学习效果。

本书由太原理工大学机械工程学院组织编写,张瑞亮任主编。孙桓五编写第 1 章;张瑞亮编写第 2 章;武志斐编写第 3 章;张翠平编写第 4 章;王铁编写第 5 章;田惠琴编写第 6 章;景毅编写第 7 章、第 8 章;丁华编写第 9 章。全书由张瑞亮统稿,张翠平审稿。本书制作了多媒体课件,有需要者可直接与作者(rl_zhang@163.com)联系获取。

在本书的编写过程中,研究生刘东亮同学提供了友情帮助,在此表示感谢。同时,本书参考了大量的文献和资料,在此我们对原作者一并表示深切的谢意。由于编者水平有限,书中难免有某些不足,殷切期望广大读者予以批评指正。

编 著 者

2012 年 12 月于太原理工大学

目 录

第 1 章 机械 CAD 概论	1
1.1 机械设计与机械 CAD	1
1.1.1 机械设计概述	1
1.1.2 CAD 的基本概念	2
1.1.3 CAD 的分类	3
1.2 CAD 技术的发展历程及发展趋势	4
1.2.1 CAD 技术的发展历程	4
1.2.2 CAD 技术的发展趋势	8
1.3 CAD 技术在机械设计中的应用	9
1.3.1 三维机械设计的优势及其对机械设计的影响	9
1.3.2 机械 CAD 系统的基本功能	10
1.3.3 CAD 的数据交换标准	11
1.4 主流计算机三维设计系统介绍	13
1.4.1 CATIA	13
1.4.2 UG NX	14
1.4.3 Pro/ENGINEER	14
1.4.4 SolidWorks	15
1.4.5 其他系统	15
1.5 思考与练习	16
第 2 章 UG NX 基础知识	18
2.1 UG 用户界面	19
2.1.1 UG 工作界面	19
2.1.2 定制工具条	21
2.2 UG 基本操作	23
2.2.1 文件操作	23
2.2.2 图层操作	24
2.2.3 对象操作	26
2.2.4 鼠标操作	29
2.2.5 视图操作	31
2.2.6 工作坐标系	36
2.3 课堂练习——层和视图操作	42
2.4 课堂练习——工作坐标系操作	44

2.5	思考与练习	47
第3章	草图绘制	49
3.1	草图概述	49
3.2	绘制草图	52
3.3	草图约束	58
3.4	课堂练习——绘制草图	63
3.5	思考与练习	67
第4章	三维建模基础	69
4.1	常用建模方法	69
4.2	基于特征的建模	70
4.2.1	基于特征的建模过程	70
4.2.2	特征类型	72
4.3	布尔运算	72
4.4	课堂练习——布尔运算	76
4.5	基础特征	77
4.5.1	拉伸特征	77
4.5.2	回转特征	79
4.5.3	扫掠	80
4.6	工程特征的放置	83
4.6.1	放置面	83
4.6.2	水平参考	84
4.6.3	定位尺寸	84
4.7	基准特征	85
4.7.1	基准平面	86
4.7.2	基准轴	87
4.8	课堂练习——特征建模	88
4.9	思考与练习	90
第5章	典型机械零件建模	94
5.1	盘盖类零件建模	94
5.1.1	盘盖类零件的结构特点	94
5.1.2	闷盖零件的建模	95
5.1.3	端盖零件的建模	98
5.2	轴套类零件建模	101
5.2.1	轴套类零件的结构特点	101
5.2.2	阶梯轴零件的建模	102
5.2.3	齿轮轴零件的建模	106
5.3	箱体类零件建模	111
5.3.1	箱体类零件的结构特点	111
5.3.2	箱体零件的建模	112

5.4	课堂练习——圆柱齿轮轴	119
5.5	思考与练习	122
第6章	装配设计	124
6.1	装配概述	124
6.1.1	UG 装配的基本过程	124
6.1.2	UG 装配概念	125
6.1.3	装配界面介绍	126
6.1.4	装配导航器	126
6.2	自底向上的装配	130
6.3	自顶向下的装配	131
6.3.1	新建组件	131
6.3.2	WAVE 几何链接器	132
6.4	装配约束	135
6.4.1	约束状态	135
6.4.2	固定约束	136
6.4.3	接触对齐约束	136
6.4.4	距离	137
6.4.5	同心约束	138
6.4.6	中心约束	138
6.4.7	角度约束	139
6.4.8	平行和垂直约束	140
6.4.9	拟合和胶合约束	140
6.5	引用集	140
6.5.1	引用集的定义和种类	140
6.5.2	引用集操作	141
6.6	移动组件	143
6.7	课堂练习——行星减速器输出轴装配	145
6.8	组件编辑	150
6.8.1	镜像	150
6.8.2	阵列	152
6.8.3	抑制	154
6.9	爆炸图	156
6.9.1	创建爆炸视图	157
6.9.2	取消和操作爆炸视图	159
6.10	装配干涉检查	159
6.11	思考与练习	160
第7章	工程图设计基础	162
7.1	工程制图基本概念	162
7.1.1	概述	162

7.1.2	工程图与三维实体模型之关系	163
7.2	工程图参数的预设值	163
7.3	工程图管理	164
7.3.1	第一角投影与第三角投影	164
7.3.2	创建图纸页	165
7.3.3	编辑图纸页	166
7.3.4	打开图纸页	167
7.3.5	删除图纸页	167
7.4	视图的建立	167
7.4.1	添加基本视图	168
7.4.2	添加投影视图	171
7.4.3	添加局部放大图	171
7.4.4	添加剖视图	174
7.4.5	添加断面图	181
7.4.6	添加局剖视图	181
7.5	视图对象的编辑	184
7.5.1	编辑制图视图	184
7.5.2	编辑剖切线	184
7.5.3	对不剖切零件的处理	186
7.5.4	删除制图视图	188
7.5.5	视图相关编辑	188
7.5.6	视图的更新	190
7.6	图样标注	190
7.6.1	添加中心线	190
7.6.2	标注注释	192
7.7	思考与练习	195
第8章	工程图标注及实例	197
8.1	零件图	197
8.1.1	尺寸的标注	197
8.1.2	形位公差的标注	200
8.1.3	基准的标注	201
8.1.4	表面粗糙度的标注	202
8.2	装配图	203
8.2.1	配合尺寸的标注	204
8.2.2	明细栏与零件号生成	204
8.3	课堂练习——工程图实例	207
8.4	思考与练习	213
第9章	UG 二次开发技术	215
9.1	UG 软件的二次开发	215

9.1.1	UG 二次开发概述	215
9.1.2	UG 二次开发工具	216
9.2	UG/Open API 开发基础	217
9.2.1	概述	217
9.2.2	UG/Open API 数据类型、函数及表达式	217
9.2.3	UG/Open API 开发模式	221
9.2.4	MenuScript 菜单、工具条设计	222
9.2.5	UIStyler 对话框设计	225
9.3	零件参数化设计方法	238
9.3.1	参数化设计概述	238
9.3.2	利用 UG/Open API 进行参数化设计方法	239
9.3.3	UG/Open API 在矩形花键参数化设计的应用实例	240
9.4	思考与练习	250
参考文献	253

第 1 章 机械 CAD 概论

本章主要介绍机械 CAD 的基本概念、CAD 技术的发展历程、CAD 技术在机械工业中的应用、三维机械设计的优势和主流三维 CAD 系统等内容。

本章学习要点：

- (1) 了解机械设计的概念。
- (2) 掌握 CAD 的基本概念。
- (3) 掌握 CAD 技术的发展历程。
- (4) 理解三维机械设计的优势。
- (5) 了解 CAD 的数据交换标准。
- (6) 了解主流三维 CAD 系统。

1.1 机械设计与机械 CAD

1.1.1 机械设计概述

机械设计是根据用户的使用要求对专用机械的工作原理、结构、运动方式、力和能量的传递方式、各个零件的材料和形状尺寸、润滑方法等进行构思、分析和计算,并将其转化为具体的描述以作为制造依据的工作过程。机械设计是机械工程的重要组成部分,是机械生产的第一步,设计工作的质量是决定机械产品的性能、产品的质量、研究周期和技术经济效益最为重要的因素。

机械设计理论方法的发展经历了三个历史阶段,即 17 世纪前的“直觉设计阶段”,17 世纪至 20 世纪 60 年代的“传统设计阶段”和近几十年发展起来的“现代设计阶段”。传统的机械设计是以经验为基础,运用力学和数学形成经验公式、图表、设计手册等作为设计的依据,通过经验公式、近似系数或类比等方法进行设计的方法。这是一种以静态分析、近似计算、经验设计、人工劳动为特征的设计方法。目前,传统设计方法仍被广泛使用。这种设计方法的特点是,设计水平低、成功率低、花费大、信息反馈周期长,因此已不能满足现代产品的功能需求和市场需求。

20 世纪 60 年代以来,随着科学技术的迅速发展和人们生活水平的不断提高,人类对机械产品提出了越来越高的要求,传统设计方法已经难以满足当今时代的需要,从而迫使设计领域不断研究和发展新的设计方法和理论,机械设计的理论和方法进入一个新的发展阶段,特别是随着计算机及网络技术的广泛应用,在机械传统设计方法的基础上又发展了一系列新兴的设计理论与方法,如机械可靠性设计、优化设计、绿色设计、有限元分析、机械动态设计、计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)、计算机辅助工程分析

(Computer Aided Engineering, CAE)、计算机辅助工艺规划(Computer Aided Process Planning, CAPP)、模块化设计、价值分析,等等。这些现代机械设计理论和方法为现代机械产品的设计提供了新的手段。

与传统设计方法相比,现代机械设计方法以科学设计取代经验设计、以动态的设计和分析取代静态的设计和分析、以定量的设计计算取代定性的设计分析、以变量取代常量进行设计计算、以注重“人一机一环境”大系统的设计准则取代偏重于结构强度的设计准则、以优化设计取代可行性设计、以自动化设计取代人工设计,从而有效地缩短了设计周期,提高了设计质量。现代设计是过去长期的传统设计的延伸和发展,它继承了传统设计的精华,吸收了当代科技成果和计算机信息技术,是一种以动态分析、精确计算、优化设计和 CAD 为特征的设计方法,CAD 技术不仅是实现机械产品的基本手段和方法,也是应用各种现代设计理论和方法的技术基础。

1.1.2 CAD 的基本概念

CAD 是指在设计活动中,利用计算机作为工具,帮助工程技术人员进行设计的一切适用技术的总和,它是人和计算机相结合、各尽所长的新型设计方法。在设计过程中,人可以进行创造性的思维活动,完成设计方案构思、工作原理拟定等,并将设计思想、设计方法经过综合、分析,转换成计算机可以处理的数学模型和解析这些模型的程序。在程序运行过程中,人可以评价设计结果,控制设计过程;计算机则可以发挥其分析计算和存储信息的能力,完成信息管理、绘图、模拟、优化和其他数值分析任务。一个好的计算机辅助设计系统既能充分发挥人的创造性作用,又能充分利用计算机的高速分析计算能力,找到人和计算机最佳结合点。因此 CAD 技术的核心是辅助设计(Design)而不是绘图(Drawing 或 Drafting),即能够帮助设计师进行“有目地的创作的行为”。



图 1-1 CAD 特点

狭义的 CAD 主要指利用计算机强大的计算功能和高效的图形处理能力,辅助设计人员进行工程和产品的设计与分析,以达到理想的目的或取得创新成果。从广义范围讲,CAD 涵盖了产品生命周期(Product Lifecycle Management, PLM)的各个阶段,包括计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助工艺规划(CAPP)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacturing, CAM)、计算机辅助工程分析(CAE)、产品数据管理(Product Data Management, PDM)等各个环节,是 CAD/CAE/CAM 的高度集成。

计算机辅助设计包括的内容很多,如概念设计、优化设计、有限元分析、计算机仿真、

计算机绘图等。在计算机辅助设计工作中,计算机的任务实质上是进行大量的信息加工、管理和交换。也就是在设计人员的初步构思、判断、决策的基础上,由计算机对数据库中大量设计资料进行检索,根据设计要求进行计算、分析及优化,将初步设计结果显示在图形显示器上,以人机交互方式反复加以修改,经设计人员确认之后,在自动绘图机及打印机上输出设计结果。在 CAD 作业过程中,逻辑判断、科学计算和创造性思维是反复交叉进行的。一个完整的 CAD 系统,绝不仅仅是完成图形的电子化,而应在设计过程中的各个阶段都能发挥作用。

1.1.3 CAD 的分类

根据模型的不同,CAD 系统可以分为二维 CAD 和三维 CAD 系统。二维 CAD 系统一般将产品和工程设计图纸看成是点、线、圆、弧、文本等几何元素的集合,系统内表达的任何设计都变成了几何图形,所依赖的数学模型是几何模型,系统记录了这些图素的几何特征,主要用于数字化图纸的绘制,这类软件在 CAD 软件发展的初期是主流的 CAD 系统,目前在建筑等行业还有较为广泛的应用。三维 CAD 系统是在计算机中将产品的实际形状表示成为三维的模型,模型中包括了产品几何结构的有关点、线、面、体的各种信息。由于三维 CAD 系统的模型包含了更多的实际结构特征,使用户在采用三维 CAD 造型工具进行产品结构设计时,更能反映实际产品的真实形态、构造或加工制造过程,并能够为后续的计算机辅助分析、计算机辅助制造等提供基础模型,因此三维 CAD 目前已经逐步成为 CAD 系统,特别是机械 CAD 的主流。

根据应用领域不同,CAD 应用领域可以划分为两大类,一类是机械、电气、电子、轻工和纺织产品;另一类是工程设计产品,即工程建筑,国外简称 AEC(Architecture、Engineering 和 Construction)。具体又可以细分为机械 CAD、建筑 CAD、工业设计 CAD、艺术 CAD、服装 CAD、药物 CAD、电路设计 CAD 等不同类别,这些不同类型的 CAD 系统分别适用于不同的设计领域,具有各自领域的设计工具和知识,从而使设计能直接按照专业设计的方法进行,彼此存在较大的差异。

根据功能不同,CAD 系统可以分为高端 CAD 系统、中端 CAD 系统及低端 CAD 系统,其中高端 CAD 系统功能强大,几乎涵盖了 CAD、CAE、CAM、PDM 等 CAD 的全部功能,并且各种功能高度集成,为设计人员提供了完备的设计、分析、模拟仿真等功能,因此在航空、航天、造船、工程机械等行业及大中型企业得到了广泛的应用,这类软件主要代表有 CATIA、UG NX 等。中端 CAD 系统也具有较为强大的造型和设计功能,但在 CAE、CAM 及其他功能模块上较高端 CAD 系统有一定的差距,这些软件系统一般适合于中小企业及个人用户从事设计工作,典型的代表有 PTC Creo、SolidWorks、SolidEdge、Inventor 等系统。低端 CAD 系统主要用于二维绘图,实质就是电子图版系统,我们常用的 AutoCad、CAXA 等均属此类系统。此外还有一些适用于某些专业领域的系统,如相对独立的 CAM 系统 Mastercam、Surfcam 等。这类软件主要通过中性文件从其他 CAD 系统获取产品几何模型。系统主要有交互工艺参数输入模块、刀具轨迹生成模块、刀具轨迹编辑模块、三维加工动态仿真模块和后置处理模块。

1.2 CAD 技术的发展历程及发展趋势

1.2.1 CAD 技术的发展历程

20 世纪 50 年代在美国诞生第一台计算机绘图设备,开始出现具有简单绘图输出功能的被动式的计算机辅助设计技术。60 年代初期出现了 CAD 的曲面技术,中期推出商品化的计算机绘图设备。70 年代,完整的 CAD 系统开始形成,后期出现了能产生逼真图形的光栅扫描显示器,推出了手动游标、图形输入板等多种形式的图形输入设备,促进了 CAD 技术的发展。人们希望借助此项技术来摆脱烦琐、费时、绘制精度低的传统手工绘图。此时 CAD 技术的出发点是用传统的三视图方法来表达零件,以图纸为媒介进行技术交流,这就是二维计算机绘图技术。此时的 CAD 含义仅仅是图板的替代品,即意指 Computer Aided Drawing(or Drafting)而非现在我们经常讨论的 Computer Aided Design 所包含的全部内容。CAD 技术以二维绘图为主要目标的算法一直持续到 70 年代末期,以后作为 CAD 技术的一个分支而相对单独、平稳地发展。早期应用较为广泛的是 CAD/CAM 软件,随后占据绘图市场主导地位的是 Autodesk 公司的 AutoCAD 软件。在今天,中国的 CAD 用户特别是初期 CAD 用户中,二维绘图仍然占有相当大的比重。

CAD 技术在其近 50 年的演变历史中,经历了巨大发展,其技术发展历程如图 1-2 所示。

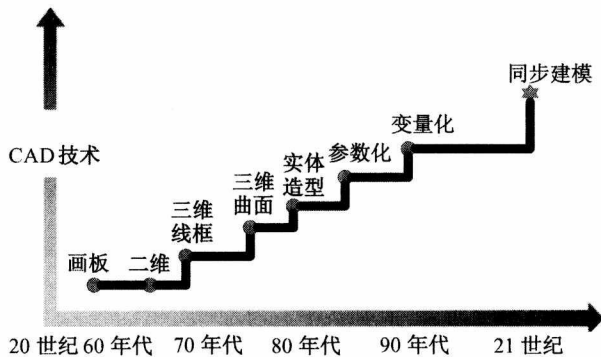


图 1-2 CAD 技术发展历程

1. 线框模型

20 世纪 60 年代末开始研究用线框和多边形构造三维实体,这样的模型称为线框模型,这种建模方法用完全通过顶点及顶点构成的边的集合来描述物体,就像由铁丝做成的线框,线框模型由此得名。线框模型结构简单,对计算机性能要求较低,可以表示基本物体的三维数据,可以产生任意视图,视图间能保持正确的投影关系,这为生产工程图带来了方便。此外还能生成透视图和轴侧图,较二维系统有了很大的进步。但是因为所有棱线全部显示,物体的真实感可出现二义解释;由于缺少曲线轮廓,若要表现圆柱、球体等曲面比较困难;特别是由于数据结构中缺少边与面、面与面之间的关系的信息,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格等。初期的线框造型系统只能表达基本的几何信息,不能有效表

达几何数据间的拓扑关系。由于缺乏形体的表面信息,CAM 及 CAE 均无法实现。

2. 曲面模型

进入 20 世纪 70 年代,正值飞机和汽车工业的蓬勃发展时期。此间飞机及汽车制造中遇到了大量的自由曲面问题,当时只能采用多截面视图、特征纬线的方式来近似表达所设计的自由曲面。由于三视图方法表达的不完整性,经常发生设计完成后,制作出来的样品与设计者所想象的有很大差异甚至完全不同的情况。设计者对自己设计的曲面形状能否满足要求也无法保证,所以还经常按比例制作油泥模型,作为设计评审或方案比较的依据。既慢且繁的制作过程大大拖延了产品的研发时间,要求更新设计手段的呼声越来越高。此时法国人贝赛尔提出了 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)飞机制造公司开发出以表面模型为特点的自由曲面建模方法,推出了三维曲面造型系统 CATIA。曲面模型是在线框模型的数据结构基础上,增加可形成立体面的各相关数据后构成的,与线框模型相比,曲面模型有了物体的表面信息,可以表达边与面之间的拓扑关系,能实现面与面相交、着色、表面积计算、消隐等功能,此外还擅长于构造复杂的曲面物体,如模具、汽车、飞机等表面。曲面模型的应用,标志着 CAD 技术从单纯模仿工程图纸的三视图模式中解放出来,首次实现以计算机完整描述产品零件的主要信息,同时也使得 CAM 技术的开发有了现实的基础。曲面造型系统 CATIA 为人类带来了第一次 CAD 技术革命,改变了以往只能借助油泥模型来近似表达曲面的落后的工作方式,使飞机、汽车等复杂产品的开发手段比旧的模式有了质的飞跃,开发速度也大幅度提高,汽车工业开始大量采用 CAD 技术。80 年代初,几乎全世界所有的汽车工业和航空工业都购买了相关的 CAD 系统。由于曲面模型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,也难以表达复杂的制造信息,因此在机械设计方面还有较大的局限性,但是在艺术设计方面,曲面模型已经成为目前的主流造型技术,常见的动画及艺术设计系统(如 Rihno、3DS MAX、MAYA 等)大多采用了曲面模型。

20 世纪 80 年代初,CAD 系统价格依然令一般企业望而却步,这使得 CAD 技术无法拥有更广阔的市场。为使自己的产品更具特色,在有限的市场中获得更大的市场份额,以 CV、SDRC、UG 为代表的系统开始朝各自的发展方向前进。70 年代末到 80 年代初,由于计算机技术的大跨步前进,CAE、CAM 技术也开始有了较大发展。SDRC 公司在当时星球大战计划的背景下,由美国宇航局支持及合作,开发出了许多专用分析模块,用以降低巨大的太空实验费用,同时在 CAD 技术方面也进行了许多开拓;UG 则着重在曲面技术的基础上发展 CAM 技术,用以满足麦道飞机零部件的加工需求。

3. 实体模型

有了表面模型,CAM 的问题可以基本解决。但由于表面模型技术只能表达形体的表面信息,难以准确表达零件的其他特性,如质量、重心、惯性矩等,对 CAE 十分不利,最大的问题在于分析的前处理特别困难。基于对于 CAD/CAE 一体化技术发展的探索,SDRC 公司于 1979 年发布了世界上第一个完全基于实体造型技术的大型 CAD/CAE 软件——I-DEAS。三维实体造型技术(Solid Modeling)的核心是 CSG(Constructive Solid Geometry)和 B-REP 模型。CSG 表达的是建模的顺序过程,B-REP 则是三维模型的点、线、面、体信息,即造型结果的三维实体信息,由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性,具有完整

性和无二义性,可以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,同时可以提供高级的整体外形定义方法,支持通过布尔运算从旧模型得到新模型。实体模型在理论上有助于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达,给设计带来了惊人的方便性。它代表着未来 CAD 技术的发展方向。基于这样的共识,各软件纷纷仿效,并成为当时 CAD 技术发展的主流。可以说,实体造型技术的普及应用标志 CAD 发展史上的第二次技术革命。

但是新技术的发展往往是曲折和不平衡的。实体造型技术既带来了算法的改进和未来发展的希望,也带来了数据计算量的极度膨胀。在当时的硬件条件下,实体造型的计算及显示速度很慢,在实际应用中做设计显得比较勉强。由于以实体模型为前提的 CAE 本来就属于较高层次技术,普及面较窄,反映还不强烈;另外,在算法和系统效率的矛盾面前,许多赞成实体造型技术的公司并没有下大力量去开发它,而是转去攻克相对容易实现的表面模型技术。各公司的技术取向再度分道扬镳。实体造型技术也就此没能迅速在整个行业全面推广开。

4. 参数化实体模型

20 世纪 80 年代中晚期,针对无约束自由造型技术存在的问题,研究人员提出了一种比无约束自由造型更新颖、更好的算法——参数化实体造型方法。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)造型的核心是用几何约束、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,它主要的特点是基于特征、全尺寸约束、全数据相关、尺寸驱动设计修改。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,它带来了 CAD 发展史上第三次技术革命。

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。这种思路也有很大的副作用:首先,使用者必须遵循软件内在使用机制,如决不允许欠尺寸约束、不可以逆序求解等;其次,当零件截面形状比较复杂时,设计者很难将所有尺寸表达出来;再次,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)尺寸会导致形状朝着自己满意方向改变;最后,尺寸驱动的范围亦是有限制的,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。因此,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。

参数化技术的成功应用,使得它在 20 世纪 90 年前后几乎成为 CAD 业界的标准,许多软件厂商纷纷起步追赶,CATIA、CV、UG、EUCLID 等也都在原来的非参数化模型基础上开发了对参数化模型的支持,由于它们的参数化系统基本上都是在原有模型技术的基础上进行局部、小块的修补,因此其参数化并不完整,这些公司均宣传自己是采用复合建模技术,并强调复合建模技术的优越性。这种把线框模型、曲面模型及实体模型叠加在一起的复合建模技术,并非完全基于实体,难以全面应用参数化技术。由于参数化技术和非参数化技术内核本质不同,用参数化技术造型后进入非参数化系统还要进行内部转换,才