

高等学校CAD/CAM/CAE规划教材

# UGNX6.0

# 三维机械设计



付本国 管殿柱◎主编



 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

高等学校 CAD/CAM/CAE 规划教材

# UG NX 6.0 三维机械设计

主 编 付本国 管殿柱

副主编 许小均 李 健



机械工业出版社

Unigraphics NX 6.0 (简称 UG NX 6.0), 是德国西门子自动化与驱动集团 (Siemens A&D) 分支机构——UGS PLM Solutions 软件公司于 2008 年 5 月推出的产品全生命周期管理 (PLM) 软件。该软件的功能覆盖了整个产品的开发过程, 即覆盖了从概念设计、功能工程、工程分析、加工制造到产品发布的全过程, 在航空、汽车、机械、电器电子等各工业领域的应用非常广泛。

本书介绍的是其最新版本 UG NX 6.0 中文版。全书共分 9 章, 第 1 章系统地介绍了 CAD 技术, 以帮助读者定位 UG 软件, 激发学习热情; 第 2~4 章详细介绍了 UG 建模基础功能, 包括基本操作、曲线功能和草图参数化功能; 第 5 章介绍了单体参数化建模技术; 第 6 章给出了典型零部件建模实例; 第 7 章介绍了 UG 装配模块的使用; 第 8 章给出了典型装配体建模实例; 第 9 章介绍了 UG 制图模块的使用。

本书结构严谨, 内容丰富, 条理清晰, 实例经典, 内容的编排符合由浅入深的思维模式, 可作为高等学校相关专业的教材, 也可作为 UG 初学者、中级使用人员的培训教材, 并可作为机械设计工程师、制图员以及从事三维建模工作人士的理想参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

UG NX 6.0 三维机械设计/付本国, 管殿柱主编. —北京: 机械工业出版社, 2010.1

高等学校 CAD/CAM/CAE 规划教材

ISBN 978-7-111-28779-7

I. U... II. ①付... ②管... III. 三维—机械设计: 计算机辅助设计—

应用软件, UG NX6.0—高等学校—教材 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 241606 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 商红云

责任印制: 李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2010 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 24 印张 · 593 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-28779-7

定价: 42.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066

门户网: <http://www.cmpbook.com>

销售一部: (010) 68326294

教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售二部: (010) 88379649

读者服务部: (010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

# 教材编写委员会

**主任：**管殿柱

**副主任：**宋一兵 张 轩

**成 员：**（排名不分先后）谈世哲 宋 琦 田 东 高广镇 刘 平  
李文秋 符朝兴 贺 斌 刘 慧 张洪信  
段 辉 付本国 田绪东 温建民 高丽燕  
赵景伟 赵秋玲

# 前 言

随着现代生活节奏的加快，科技进步日新月异，激烈的竞争要求企业更快地将产品推向市场。CAD/CAM/CAE 技术是提升产品性能，加快产品研发过程，提高效益的有效手段。Unigraphics NX 6.0（简称 UG NX 6.0），是德国西门子自动化与驱动集团（Siemens A&D）分支机构——UGS PLM Solutions 软件公司于 2008 年 5 月份推出的产品全生命周期管理（PLM）软件。该软件的功能覆盖了整个产品的开发过程，即覆盖了从概念设计、功能工程、工程分析、加工制造到产品发布的全过程，在航空、汽车、机械、电器电子等各工业领域的应用非常广泛。

本书以 Unigraphics NX 6.0 中文完整版为基础，介绍其 CAD 功能，具体包括建模、装配和制图三大功能模块，主要针对具有较少基础的 UG 学习或使用人员，旨在帮助他们在较短时间内熟悉 UG，并具有一定解决实际问题的能力。本书依据功能主线划分章节，全书共分 9 章，第 1 章系统地介绍了 CAD 技术，以帮助读者定位 UG 软件，激发学习热情；第 2~4 章详细介绍了 UG 建模基础功能，包括基本操作、曲线功能和草图参数化功能；第 5 章介绍了单体参数化建模技术；第 6 章给出了典型零部件建模实例；第 7 章介绍了 UG 装配模块的使用；第 8 章给出了典型装配体建模实例；第 9 章介绍了 UG 制图模块的使用。

本书具有以下鲜明的特色：

- “零点启航”，特别适合没学过但又想学习 UG 软件的读者。
- “循序渐进”，内容编排上遵循了读者学习和使用 UG 软件的一般规律，便于短时间内掌握 UG 功能。
- “实例训练”，结合大量实例讲解难点，使原本枯燥的内容变得生动有趣。
- “图解难点”，图文并茂、深入浅出。
- “实践应用”，综合实例非常经典，对解决问题具有很好的指导意义。

本书主要面向初、中级读者，适合初、中级读者在入门与提高阶段使用。本书素材源文件放在零点工作室网站（[www.zerobook.net](http://www.zerobook.net)）上供读者下载，本书配有课件，订购教材的教师可以从[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)上下载。

本书编写者都是多年使用 UG 并从事 UG 教学工作的专家，有着丰富的经验。在内容编写上，特别强调简单易学，步骤清晰，图形丰富和实例演示。因此，对以本书为 UG 学习教材的读者来说，使用本书可快速掌握 UG CAD 的主要功能，成为 UG 软件的中高级使用人员。

本书由付本国、管殿柱任主编，许小均、李健任副主编，参加本书编写工作的还有谈世哲、李文秋、田东、张轩、段辉、宋琦、刘平、田绪东、莫正波、王召乐、张洪信、赵清海等。本书由宋一兵、祁振海主审。

由于时间仓促以及作者水平有限，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正，互相交流，共同进步。谢谢！

主编信箱：[gdz\\_zero@126.com](mailto:gdz_zero@126.com) 学习交流平台：[www.zerobook.net](http://www.zerobook.net)（零点工作室）

编 者

2009年10月

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 CAD 技术与应用</b> .....1	<b>第 5 章 单体建模功能</b> .....118
1.1 机械产品设计技术的发展.....1	5.1 建模首选项.....118
1.2 CAD/CAE/CAM 技术简介.....2	5.2 参数化建模.....122
1.3 几种与 CAD 技术密切相关的设计方法.....12	5.3 基准特征.....123
1.4 CAD/CAE/CAM 技术在企业中的应用.....20	5.4 设计特征——特征参数化.....130
1.5 习题.....21	5.5 曲面.....149
<b>第 2 章 UG NX 6.0 应用入门</b> .....22	5.6 网格曲面.....151
2.1 主要功能.....22	5.7 扫掠.....155
2.2 主要应用模块.....23	5.8 关联复制.....159
2.3 UG NX 6.0 的工作环境.....28	5.9 组合体.....161
2.4 UG NX 6.0 中文版的 CAD 技术.....31	5.10 修剪.....163
2.5 UG NX 6.0 的基本操作.....38	5.11 偏置/缩放.....165
2.6 表达式——化基础.....49	5.12 细节特征.....169
2.7 习题.....52	5.13 直接建模.....175
<b>第 3 章 曲线功能</b> .....54	5.14 移动对象.....178
3.1 点和点集.....54	5.15 编辑特征.....178
3.2 曲线.....60	5.16 变换对象.....182
3.3 来自曲线集的曲线.....81	5.17 综合实例——阶梯轴的造型设计.....184
3.4 来自体的曲线.....89	5.18 习题.....188
3.5 曲线编辑.....91	<b>第 6 章 典型机械零部件造型设计</b> .....190
3.6 习题.....97	6.1 产品建模的一般过程.....190
<b>第 4 章 参数化草图功能</b> .....98	6.2 螺栓、螺母的造型设计.....191
4.1 草图的创建.....98	6.3 参数化电子表格——标准件零件库的创建与使用.....198
4.2 草图绘制.....100	6.4 连杆的造型设计.....202
4.3 草图编辑.....105	6.5 带轮的造型设计.....205
4.4 草图约束.....106	6.6 凸轮的造型设计.....209
4.5 综合实例.....114	6.7 齿轮的造型设计.....212
4.6 习题.....116	6.8 蜗轮、蜗杆的造型设计.....221
	6.9 螺旋传动螺母的造型设计.....229
	6.10 泵体的造型设计.....231

6.11 习题 .....	235	8.3 习题 .....	303
<b>第 7 章 装配体建模功能 .....</b>	<b>239</b>	<b>第 9 章 平面工程图绘制功能 .....</b>	<b>304</b>
7.1 装配功能模块界面 .....	239	9.1 概述 .....	304
7.2 装配首选项 .....	240	9.2 图纸的定义与修改 .....	306
7.3 装配功能模块概述 .....	241	9.3 首选项 .....	308
7.4 组件 .....	247	9.4 图框与标题栏 .....	332
7.5 WAVE 技术应用——装配参数化 .....	261	9.5 建立视图 .....	335
7.6 爆炸图 .....	268	9.6 视图布局 .....	347
7.7 习题 .....	271	9.7 图纸标注 .....	350
<b>第 8 章 装配体造型典型实例 .....</b>	<b>273</b>	9.8 制图技巧 .....	363
8.1 一级圆柱直齿轮减速器的造型设计 .....	273	9.9 综合制图实例——泵体平面 工程图的绘制 .....	367
8.2 二级圆柱直齿轮减速器的造型设计 ——顶级装配驱动下游设计 .....	287	9.10 习题 .....	373
		<b>参考文献 .....</b>	<b>375</b>



# 第 1 章 CAD 技术与应用

NX 是一种交互式计算机辅助设计、计算机辅助制造和计算机辅助工程(CAD/CAM/CAE)系统,是知识驱动自动化技术领域中的领先者,在航空、汽车、机械、电气电子等各工业领域中的应用非常广泛。CAD 功能使当今制造业公司的工程设计以及制图能力得以自动化。CAM 功能采用 NX 设计模型为现代机床提供 NC 编程,以描述所完成的部件。CAE 功能提供了很多产品、装配和部件性能模拟能力,跨越了广泛的工程学科范围。

NX 功能被分为各个通用的“应用模块”功能。这些应用模块由一个名为“NX 基本环境”的必备应用模块提供支持。每个 NX 用户均必须安装 NX 基本环境;而其他应用模块则是可选的,并且可以按每个用户的需要进行配置。

NX 是一个全三维的双精度系统,该系统允许您精确地描述几乎任何几何形状。通过组合这些形状,您可以设计、分析、存档和制造您的产品。

通过任意 NX 应用模块(如建模、制图、加工或仿真)或符合 NX 的任意外部应用模块,可以随时使用 NX 部件文件中包含的数据。NX 还支持以多种格式导出数据,以供其他应用模块使用。

那么,什么是 CAX 技术,什么是 CAD 技术呢?在深入学习 UG 软件操作使用之前,很有必要对 CAD 等技术,对 UG 软件在 CAX 领域所处位置有个清晰的认识。

## 【本章重点】

- CAX 技术基本知识;
- 当前先进的产品造型技术;
- CAD 技术在企业中的应用。

## 1.1 机械产品设计技术的发展

在机械制造技术发展的历史中,产品设计技术的发展始终是机械制造业发展的主要因素。了解产品设计技术的发展,不但能了解产品设计技术发展的过程,而且能掌握产品设计技术发展的方向,在市场经济的条件下按市场经济的发展需求,促进产品设计技术的发展。表 1-1 给出了产品设计技术的发展过程。

表 1-1 产品设计技术的发展过程

起始时间	设计技术	核心内容	主要特点
1850 年	技术设计	零件图绘制	设计、工艺编制和制造在同一车间完成
1930 年	设计方法学	规范化设计	1. 设计成为一门科学 2. 设计工作规范化 3. 设计、工艺、制造分为独立的部门 4. 设计过程仍以绘图为主,采用经验判断、类比设计结合零件校验计算

(续)

起始时间	设计技术	核心内容	主要特点
1960年	计算机辅助设计	二维几何模型	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 绘图与计算分析结合 (CAE), 如有限元分析, 零件优化计算</li> <li>2. 成组技术, 标准化技术, 模块化设计</li> </ol>
1980年	计算机辅助设计	三维几何模型 三维实体模型	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 三维图与二维图自动转换</li> <li>2. CAD 与 CAM 集成</li> <li>3. DFA 和 DFM 技术</li> </ol>
1985年	计算机辅助设计	三维参数化模型	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基于几何模型但使用方便性增强</li> <li>2. 知识处理和仿真技术的应用, 增强了设计能力</li> </ol>
1990年	计算机辅助产品开发工程	基于特征的产品模型	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 统一产品设计和工艺设计模型</li> <li>2. 标准化数据格式</li> <li>3. 通用分布式产品数据管理系统 (PDM)</li> <li>4. CAD/CAE/CAPP/CAM 集成, 形成并行工作作业 (CE) 的计算机辅助开发工程 (CADE)</li> </ol>
1995年	虚拟产品开发	动态仿真建模和虚拟现实技术	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 产品建模由几何模型向建立全面的功能 (性能) 仿真模型发展</li> <li>2. 发展电子数学模型分析的工具软件, 以及结合各类产品的专业分析应用软件</li> <li>3. 开发虚拟现实的软硬件, 建立可对虚拟样机进行操作和生产作业的虚拟环境</li> </ol>
1997年	计算机辅助创新	方案 (或概念) 设计阶段的有效辅助工具	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 基于创新思维的问题分析方法</li> <li>2. 技术系统的发展进化规律</li> <li>3. 具有普适性的创新法则</li> <li>4. 各种标准解法和算法</li> </ol>

现代机械制造业发展的经验证明, 要使新产品开发即能符合市场需求又能创造最佳效益, 必须学习、掌握产品创新设计方法, 采用 CAX 技术, 尤其是 CAD 技术。

## 1.2 CAD/CAE/CAM 技术简介

电子计算机是现代科学技术发展的重大成就之一, 目前已普及应用到各个领域。随着计算机的迅速发展, 产品设计和生产的方法都在发生显著的变化。以前一直只能靠手工完成的许多作业, 逐渐通过计算机实现了高效化和高精度化。计算机技术与数值计算技术、机械设计及制造技术相互结合与渗透, 产生了计算机辅助设计、计算机辅助工程与计算机辅助制造这样一门综合性的应用技术, 简称 CAD/CAE/CAM 技术。它具有高智力、知识密集、综合性强、效益高等特点。这种利用计算机来达到高效化、高精度化目的, 实现自动化设计、数值模拟计算以及生产制造的方法分别称为 CAD (Computer Aided Design, 计算机辅助设计), CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程) 和 CAM (Computer Aided Manufacturing, 计算机辅助制造)。CAD、CAE 和 CAM 技术的发展, 不仅改变了人们设计、制造各种产品的常规方式, 有利于发挥设计人员的创造性, 还将大大提高企业的管理水平和市场竞争能力。在许多情况下将 CAD、CAE 和 CAM 合起来写成 CAD/CAE/CAM,

这并不是将 CAD、CAE 和 CAM 简单组合在一起，而是表示三者的有机结合，意味着进一步提高设计和生产效率的综合技术。

CAD/CAM 是计算机辅助设计与制造 (Computer Aided Design and Computer Aided Manufacturing) 的英文缩写，是一项利用计算机软硬件协助人完成产品的设计与制造的技术。

CAD 一般是指工程技术人员在计算机组成的系统中以计算机为辅助工具，完成产品的设计、工程分析、绘图等工作，并达到提高产品设计质量、缩短产品开发周期、降低生产成本的目的。

广义的 CAM 是指工程技术人员在计算机组成的系统中以计算机为辅助工具，完成从准备到产品制造整个活动的过程，包括工艺过程设计、工装设计、NC 自动编程、生产作业计划、生产控制、质量控制等。

狭义的 CAM 一般仅指 NC 程序编制，包括刀具路径规划、刀位文件生成、刀具轨迹仿真及 NC 代码生成等。

CAD/CAM 技术产生于 20 世纪 50 年代末、60 年代初，高速发展于 20 世纪 80 至 90 年代。自 20 世纪 80 年代初以来，计算机的应用日益广泛，几乎深入到生产过程的全部领域，并形成了许多计算机辅助的分散系统。仅在制造业的产品设计与制造过程中就出现了如下分散系统：CAD、CAE (Computer Aided Engineering, 计算机辅助工程分析)、CAPP (Computer Aided Process Planning, 计算机辅助工艺过程设计)、CAM、CAQ (Computer Aided Quality, 计算机辅助质量管理)、CAFD (Computer Aided Fixture Design, 计算机辅助夹具设计) 等。

这些独立的分散系统分别在产品设计自动化、工艺过程设计自动化和数控编程自动化等方面起到了重要的作用。但是，采用这些各自独立的分散系统不能实现系统之间信息的自动传递和交换。例如，一个分散的 CAD 系统设计的结果既不能直接为 CAPP 系统接受，也无法将有关几何建模的技术信息直接传递给一个独立的 CAM 系统，从而降低了计算机在产品设计和制造过程中的使用效率。为此，提出了 CAD/CAPP/CAM 集成的概念，进而产生了一批基于 CAD/CAPP/CAM 集成化的计算机辅助设计与制造商用软件，其中以美国的 Unigraphics (简称 UG) 软件最具代表性。目前 UG 软件已经在汽车、航空航天、机械制造等领域得到广泛的应用。

所谓的 CAD/CAM 集成，是指在 CAD、CAPP 和 CAM 各模块之间有关信息的自动传递和交换。集成化的 CAD/CAM 系统能够借助于公共的工程数据库、网络通信技术以及标准格式的中性文件接口，把分散于机型各异的计算机中的 CAD/CAM 模块高效地集中起来，实现软、硬件资源共享，保证系统内信息的流动畅通无阻。

在产品制造领域中，随着市场经济的发展，用户对各类产品的质量，产品更新换代的速度以及产品从设计、制造到投放市场的周期都提出了越来越高的要求。在当今高效益、高效率、高技术竞争的时代，要适应瞬息万变的市场要求，提高产品质量，缩短生产周期，最大幅度地提供客户的需求产品和服务，就必须采用先进的设计和制造技术。

### 1.2.1 CAD 的发展过程

#### 1. 20 世纪 50 年代后期至 70 年代初期

此阶段为初级阶段——线框造型技术。

CAD 技术起步于 20 世纪 50 年代后期。进入 20 世纪 60 年代, 随着在计算机屏幕上绘图变为可行, CAD 技术开始迅速发展。人们希望借助此项技术来摆脱繁琐、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, 以图样为媒介进行技术交流, 这就是二维计算机绘图技术。CAD 技术以二维绘图为主要目标的算法一直持续到 20 世纪 70 年代末期, 其后作为 CAD 技术的一个分支而相对独立、平稳地发展。

同时, 20 世纪 60 年代出现的三维 CAD 技术是采用线框造型技术来表示三维实体, 三维 CAD 系统只是极为简单的线框式系统。这种初期的线框造型系统只能表达基本的几何信息, 不能有效地表达几何数据间的拓扑关系。由于缺乏形体的表面信息, CAE 及 CAM 均无法实现。

### 2. 20 世纪 70 年代初期至 80 年代初

此阶段是第一次 CAD 技术革命——曲面(表面)造型技术。

进入 20 世纪 70 年代, 由于飞机及汽车制造中遇到了大量的自由曲面问题, 而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, 因此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。此时法国人提出了贝赛尔算法, 使得人们在用计算机处理曲线及曲面问题时变得可以操作, 同时也使得法国的达索飞机制造公司的开发者们, 能在二维绘图系统 CADAM 的基础上, 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。它的出现, 标志着计算机辅助设计技术从单纯模仿工程图样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准确表达曲面的落后的工作方式。曲面造型系统带来的技术革新, 使产品开发手段比旧的模式有了质的飞跃, 新产品开发速度也大幅度提高, 但此时由于 CAD 技术价格极其昂贵, 只有在军用工业以及少数的民用主干工业如汽车业才有 CAD 技术开发和应用。

### 3. 20 世纪 80 年代初期至 80 年代中期

此阶段是第二次 CAD 技术革命——实体造型技术。

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 等公司为代表的系统开始朝各自的发展方向前进。

由于计算机技术的大跨步前进, 此时 CAE、CAM 技术也开始有了较大发展。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, 特别是 CAE 的前处理特别困难。基于对 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。由于实体造型技术能够精确表达零件的全部属性, 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, 其他 CAD 系统纷纷仿效。可以说, 实体造型技术的普及应用标志着 CAD 发展史上的第二次技术革命。但由于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，而在当时的计算机硬件条件下，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，因此实体造型技术也就没能迅速在整个行业全面推广开。在以后的10年里，随着计算机硬件性能的提高，实体造型技术又逐渐为众多公司的CAD系统所采用。

#### 4. 20世纪80年代中期至90年代初期

此阶段为第三次CAD技术革命——参数化技术。

正当实体造型技术逐渐普及之时，CAD技术的研究又有了重大进展。如果说此前的造型技术都属于无约束自由造型的话，进入20世纪80年代中期，CV公司内部提出了一种比无约束自由造型更新颖、更好的算法——参数化实体造型技术。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。当时的参数化技术方案还处于一种发展的初级阶段，很多技术难点有待于攻克，而且CAD技术主要应用在航空和汽车工业，这些工业中自由曲面的需求量非常大，参数化技术还不能提供解决自由曲面的有效工具（如实体曲面问题等），因此，CV公司内部否决了参数化技术方案。策划参数化技术的这些人于是集体离开了CV公司，另成立了一个参数技术公司（Parametric Technology Corp, PTC），开始研制名为Pro/E的参数化软件。

20世纪80年代末，计算机技术迅猛发展，硬件成本大幅度下降，一个更加广阔的CAD市场完全展开，很多中小型企业也开始有能力使用CAD技术。进入20世纪90年代，参数化技术变得比较成熟起来，充分体现出其在许多通用件、零部件设计上存在的简便易行的优势。因此参数化技术的应用主导了CAD发展史上的第三次技术革命。

#### 5. 20世纪90年代初期至今

此阶段是第四次CAD技术革命——变量化技术。

参数化技术的成功应用，使得它在1990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。但是技术理论上的认可并非意味着实践上的可行性。由于许多CAD软件系统都是在原来的非参数化模型基础上开发或集成了许多其他应用，重新开发一套完全参数化的造型系统困难很大，因为这样做意味着必须将软件全部重新改写，何况在参数化技术上并没有完全解决好所有的问题。因此采用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。但这种把线框模型、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，才能被系统接受，而大量的转换极易导致数据丢失或产生其他不利条件。这样的系统由于其在参数化技术上和非参数化技术上均不具备优势，系统整体竞争力自然不高，只能依靠某些实用性模块上的特殊能力来增强竞争力。

1990年以前的SDRC公司已经摸索了几年参数化技术，当时也面临同样的抉择：要么采用逐步修补方式；要么软件需要重新改写。积数年对参数化技术的研究经验以及对工程设计过程的深刻理解，SDRC的开发人员发现了参数化技术尚有许多不足之处。首先，“全尺寸约束”这一硬性规定就干扰和制约着设计者创造力及想象力的发挥。全尺寸约束，即设计者在设计初期及全过程中，必须将形状和尺寸联合起来考虑，并且通过尺寸约束来控制形状，通过尺寸的改变来驱动形状的改变，一切以尺寸（即所谓的“参数”）为出发点。一旦所设

计的零件形状过于复杂时,面对满屏幕的尺寸,如何改变这些尺寸以达到所需要的形状就很不直观;再者,如在设计中关键形体的拓扑关系发生改变,失去了某些约束的几何特征也会造成系统数据混乱。因此,SDRC的开发人员在对现有各种造型技术进行了充分地分析和比较以后,以参数化技术为蓝本,提出了一种比参数化技术更为先进的实体造型技术——变量化技术,形成了一整套独特的变量化造型理论及软件开发方法。SDRC的决策者们权衡利弊,同意了方案,于是,从1990~1993年,历经3年时间,投资1亿多美元,将软件全部重新改写,于1993年推出全新体系结构的I—DEAS Master Series软件。在早期出现的大型CAD软件中,这是唯一一家在20世纪90年代将软件彻底重写的厂家。

变量化技术既保持了参数化技术原有的优点,同时又克服了它的许多不利之处。它的成功应用,为CAD技术的发展提供了更大的空间和机遇。无疑,变量化技术驱动了CAD发展的第四次技术革命。

目前流行的CAD技术基础理论主要是以PTC公司的Pro/E为代表的参数化造型理论和以SDRC公司的I-DEAS为代表的变量化造型理论两大流派,它们都属于基于约束的实体造型技术。

### 1.2.2 CAE的发展过程

在设计中,利用计算机进行必要的分析计算几乎从计算机一诞生就开始了。在20世纪50年代末,作为CAD/CAE/CAM技术的组成部分并发挥重要作用的有限元法诞生了。国际上在20世纪60年代初投入大量的人力和物力开发具有强大功能的有限元分析程序。其中最为著名的是由美国国家宇航局(NASA)在1965年委托美国计算科学公司和贝尔航空系统公司开发的NASTRAN有限元分析系统。从那时到现在,世界各地的研究机构和大学也发展了一批规模较小但使用灵活、价格较低的专用或通用有限元分析软件。同时,有限元法不断发展,功能不断扩大,现在不仅用于结构分析计算,而且还用于传热、流体、电磁场等许多方面的分析计算中。

有限元方法及其软件的发展大致有如下的发展过程与趋势。

#### 1. 单物理场计算功能扩展

从最初的有限元理论提出到20世纪70年代末有限元理论趋于完善,有限元方法及其开发的有限元软件均为解决固体力学单场问题,但其功能由弹性力学平面问题扩展到空间问题、板壳问题,由静力平衡问题扩展到稳定问题、动力问题和波动问题,分析的对象从弹性材料扩展到塑性、粘弹性、粘塑性和复合材料等。

#### 2. 由求解线性工程问题发展到分析非线性问题

随着科学技术的发展,线性理论已经远远不能满足设计的要求。例如建筑行业中的高层建筑和大跨度悬索桥的出现,就要求考虑结构的大位移和大应变等几何非线性问题等,只有采用非线性有限元算法才能解决。近年来国外一些公司花费了大量的人力和物力开发诸如MARC、ABQUS和ADINA等专长于求解非线性问题的有限元分析软件,并广泛应用于工程实践中。

#### 3. 增强可视化前、后处理功能

早期有限元分析软件的研究重点在于研究新的高效率求解算法和高精度的单元,有限

元软件的前处理、后处理功能很差，一般在分析计算一个工程问题时有 80% 以上的精力都花在数据准备和结果分析上。随着数值分析方法的逐步完善，尤其是计算机运算速度的飞速发展，整个计算系统用于求解运算的时间越来越少，而数据准备和运算结果的处理问题却日益突出。因此目前几乎所有的商业化有限元软件系统都开发出了功能很强的可视化的前处理和后处理模块。使用户能以可视图形方式直观快速地进行几何建模、网格划分、加载、生成有限元分析所需的数据，并按要求将大量的计算结果整理成变形图、等值线图，以方便计算结果数据的处理。

#### 4. 单物理场计算问题发展到多物理场耦合计算问题

近年来有限元分析方法已从最初的固体力学计算发展到流体力学、温度场、电传导、磁场、渗流和声场等问题及其多物理场耦合问题的求解计算。这为解决实际复杂问题提供了极大的方便，极大地拓宽了有限元法的应用领域。

#### 5. CAE 软件与 CAD 软件的无缝集成

目前，CAE 软件系统的一个特点是与通用 CAD 软件的集成使用，即在用 CAD 软件完成零件或装配部件的造型设计后，自动生成有限元网格并进行计算或进行结构动力学、运动学等方面的计算，如果分析计算的结果不符合设计要求则可以重新修改造型和计算，直到满足要求为止，极大地提高了设计水平和效率。

### 1.2.3 CAM 技术的发展过程

1952 年，MIT（美国麻省理工学院）在世界上首次开发出了 NC 机床。利用 NC 机床能够完成以往只有用手工操作才能完成的加工，但是，控制 NC 机床的纸带还需要由人来制作，而这项工作需要花费很多时间且经常出现错误。因此，MIT 同时开始了 NC 机床的开发工作和利用计算机来制作 NC 机床纸带的开发工作，并进行了自动编程工具系统 APT（Automatically Programmed Tools）的开发工作，这就是 CAM 历史的开端。CAM 的发展过程，大致可分为以下几个阶段。

#### 1. APT 为第一代 CAM 系统

1957 年和 1961 年分别完成了 APT-II 系统和 APT-III 系统。1964 年，以美国伊利诺伊理工学院为主承担了 APT 的长期开发计划，并于 1969 年完成了 APT-IV 的开发工作。APT 技术引入到德国阿亨大学，并在此基础上开发了 EXAPT-I 系统、EXAPT-II 系统、EXAPT-III 系统等。APT 系统结构为专机形式，其基本处理方式是人工或辅助式直接计算数控刀路，编程目标与对象也都直接是数控刀路。其特点是功能差，操作困难，专机专用。

#### 2. 曲面 CAM 系统为第二代 CAM 系统

系统结构一般为 CAD/CAM 混合系统，较好地利用了 CAD 模型，以 CAD 模型为编程的目标对象，自动生成刀路轨迹，其自动化、智能化程度得到了大幅度提高。曲面 CAM 系统的基本特点是面向局部曲面的加工方式，表现为编程的难易程度与零件的复杂程度直接相关，而与产品的工艺特征、工艺复杂程度等没有直接相关关系。

#### 3. 目前正在发展的新一代 CAM 系统

新一代 CAM 系统的突出特点是：面向对象、面向工艺特征；基于知识的智能化；能

够独立运行；更方便的工艺管理；网络化。其系统的自动化水平、智能化程度大大提高。

纵观 CAM 技术的发展历程，可以看出：CAM 的发展是一个不断吸收和利用 CAD 及周边相关技术的应用成果，不断发展的过程；是自动化、智能化、网络化水平不断提高的过程；是 CAM 系统结构及基本处理方式不断向适应工程化概念的方向发展的过程；更能满足生产发展提出的高速加工、复合化加工、分散化网络加工、高精度加工、智能制造等的要求。

计算机技术除了在设计、制造等领域得到广泛的应用，同时几乎在企业生产经营的各个领域都得到广泛的应用。由于企业的产品开发活动和企业的其他经营活动是密切相关的，因此，要将 CAD/CAE/CAM 等计算机辅助系统与计算机管理信息系统进行信息交流，在正确的时刻，把正确的信息送到正确的地方，这是更高层次上的企业内的信息集成，即所谓的计算机集成制造系统 CIMS (Computer Intergraded Manufacturing System)。

#### 1.2.4 CAD/CAE/CAM 的发展趋势

从总体上讲，CAD/CAE/CAM 技术的发展趋势是参数化、智能化、三维化、集成化、网络化和标准化。

##### 1. 参数化

设计参数化是 CAD 系统十几年来所追求的目标。参数化能够极大地提高机械设计效率。通过尺寸驱动既能为用户提供设计对象的直观、准确的反馈，又能随时对设计对象加以更改，同时减少设计中的疏忽。在先进的 CAD 软件中，设计过程中所涉及到的所有参数都可以当作变量，可以建立相互间的约束和关系式，增加程序逻辑。这些变量间的关系可以跨越 CAD 软件的不同模块，从而实现设计数据的全相关。参数化是实现机械设计自动化的前提和基础，参数化设计的前途不可限量。

##### 2. 智能化

现有的计算机辅助设计系统智能化程度越来越高，原来繁琐的操作逐渐由计算机智能化地进行处理。如图纸尺寸标注，原来每增加一个尺寸，都要作很多操作。现在用户只要指明要标注的对象，尺寸就能在图上适当的位置标注出来，甚至对整个设计对象自动标注尺寸，图形的修改更加方便了。用户只需要很少的操作就能对图形作合理的修改。在图形的绘制方面，很多系统增加了智能导引的机制。系统始终猜测用户的设计意图，并根据当时的设计环境提供不同的人机交互工具，使用户感觉非常顺手。

人工智能是计算机几大功能之一，将人工智能引入 CAD/CAE/CAM 系统，使其具有专家的经验 and 知识，具有学习、推理、联想和判断的能力，以及智能化的视觉、听觉、语言的处理能力，从而达到设计自动化的目的。

要真正使产品的质量高、成本低、市场竞争能力强，就需要采用最好的设计、最好的加工和最好的管理，就需要总结国内外相关产品的设计制造经验和教训，把成功的设计制造经验做成智能设计、智能制造系统去指导新产品的的设计制造，才能使企业的产品具有创造性。

##### 3. 三维化

目前二维绘图软件的使用相当普遍，这主要是由于工程设计上传统的绘图习惯。从设



计的观点看,人们头脑中所构思的设计对象是三维物体,因而用二维图形表示三维物体有很多局限性。随着三维图形技术的发展,在计算机内部建立相应的三维实体模型能够更直观、更全面地反映设计意图。在三维模型的基础上可以进行装配、干涉检查、有限元分析、运动分析等高级的计算机辅助设计工作。建立三维实体模型以后根据需要可以由该模型方便地生成传统加工过程所用的工程图。大型波音 777 客机的设计、制造、装配、实验,已经全面使用了三维化的 CAD 技术,实现了百分之百的数字化和无纸化设计,研制周期缩短到 4 年左右。随着计算机软硬件技术的发展,二维绘图将很快被三维实体造型所代替。

#### 4. 集成化

集成就是向企业提供一体化的解决方案。集成的出发点是企业中各个环节是不可分割的,必须统一考虑。随着技术的发展,计算机辅助设计、计算机辅助分析、计算机辅助制造、计算机辅助工艺编制将逐步在企业中得到推广和应用。由于这些系统大都是作为自主系统独立开发的,产品的表示方法有很大的差异。例如在 CAD 系统中建立的实体模型较为完善地描述了产品的几何特征,工艺参数只是当作图纸上的标注加以处理。这些模型进入 CAPP 后,需要人工介入,以提取 CAPP 所需的几何信息,补充面向加工的信息。同样,在 CAD 与 CAE、CAM 之间也需要由数控加工人员进行大量的数据提取、组织和重新输入的工作。这不仅造成了信息流的中断和重复劳动,而且可能发生信息丢失和错误,降低设计的可靠性。计算机辅助设计所产生的实体模型将最大限度地被后续的分析、加工、工艺和仿真所利用。CAD/CAE/CAM 系统的集成化已是大势所趋。

#### 5. 网络化

工业企业的实际生产管理过程是一个由产品规划、产品设计、性能测试、工艺准备、主体零部件生产、标准件及特种件外购、产品组装及检验、产品销售及服务等方面集体协作、分散集中、不断反馈的信息流网络。网络化可以充分发挥系统的总体优势,共享昂贵的设备,节省投资。借助现有的网络,用户可以用高性能的 PC 代替昂贵的工作站。不同设计人员可以在网络上方便地交换设计数据。只要企业的网络与 Intranet 相连,同世界上任何一个角落的人员进行交流与同隔壁办公室人员的交流几乎一样方便。在未来的设计活动中,很多软件并不需要一定安装在自己的计算机中、用户只是需要在 Intranet 上找到它,然后在浏览器上运行就可以使用了。用户可以按使用的时间长短付费,有任何问题都可以马上与开发商联系求助。设计工作将变得轻松而快捷,这个美好的设想离人们越来越近了。

现代 CAD/CAE/CAM 系统已经实现了从单机到局域网的转变,日前正在与企业的 Intranet 整合。可以想象,在企业行为日益国际化的大背景下,在 Intranet 的大环境下建立 CAD/CAE/CAM 系统将成为现实。

#### 6. 标准化

随着 CAD/CAE/CAM 系统的集成和网络化,制定各种产品设计、评测和数据交换标准势在必行。目前国际标准化组织已经颁布了新的产品数据转换标准 STEP,建立符合 STEP 标准的全局产品数据模型是企业未来发展的需要。那时国家还将建立图文并茂、参数化的标准件库,替代现行的各种形式的标准化手册。