



随书附光盘一张

机械CAD

傅雅宁 主编



国防工业出版社
National Defense Industry Press

机械 CAD

傅雅宁 主编

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

SolidWorks 2005 是一个非常优秀的机械设计自动化软件,采用用户熟悉的 Windows 图形界面,功能全面,易学易用。本书系统地介绍了 SolidWorks 2005 的主要功能及使用。主要内容包括:SolidWorks 2005 的基础知识、草图绘制、实体特征造型、曲面造型、零件装配以及工程图的绘制和输出。本书内容全面,为了便于读者学习,每一部分内容都结合了大量实例,并在各章最后附以贯穿该章所讲内容的综合实例来巩固读者的学习。

全书通俗易懂,切合实际,适合高等院校和各类职业院校的机械专业师生作为教学用书,同时也是广大工程技术人员的自学用书和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械 CAD / 傅雅宁主编 — 北京:国防工业出版社,
2006.1

ISBN 7-118-04172-6

I. 机... II. 傅 III. 机械设计:计算机辅助设计 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 110603 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 100044)

北京奥鑫印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 710×960 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 377 千字

2006 年 1 月第 1 版 2006 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—4000 册 定价:39.00 元(含光盘)

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)是随着计算机及其外围设备和软件的发展而形成的一门新技术,是用计算机软、硬件系统辅助人们对产品更新换代或工程进行设计、修改及显示输出的一种设计方法,目前已经成为企业提高创新能力和增强企业适应市场需求的竞争能力的一项关键技术。机械 CAD 是在自动化和计算机应用方面迅速发展起来的一门新学科,是对过去传统的机械设计、机械制造工艺过程控制方法的一个挑战。

机械 CAD 是将人的主导性和创造性放在首位,充分发挥计算机的优势,主要应用于二维绘图、图形及符号库、参数化设计、三维造型、工程分析和设计文档以及生成报表等。掌握机械 CAD 技术可以大大减少手工绘图时间和提高分析计算速度,促进设计工作的规范化、系列化和标准化。

由于 SolidWorks 2005 是运行在计算机平台上的通用机械设计 CAD 系统,具有操作方便、简便易学、易于掌握的特点,因此广泛应用于机械、汽车、航空等领域。

全书由天津中德职业技术学院的傅雅宁主编,天津理工大学的陈玲副教授主审。其中第一章由天津中德职业技术学院的吴顺毅编写,第二章~第七章由傅雅宁编写。在本书的编写过程中得到了天津中德职业技术学院宋宪一副教授的大力支持,在此表示感谢。

由于时间仓促,书中的疏漏和错误在所难免,恳请各位读者和专家批评指正。

编 者
2005.10

目 录

第一章 机械 CAD 概述	1
1.1 CAD 应用技术概述	1
1.2 CAD 的发展史	4
1.3 CAD 发展概况	9
1.4 机械 CAD 系统的组成	14
1.5 机械 CAD 软件的性能特点	18
1.6 国内、外 CAD 市场状况及 CAD/CAM 主流软件产品	21
1.7 CAD 技术在机械工业中的应用	28
1.8 机械 CAD 技术的发展趋势	29
1.9 CAD 软件与有限元软件	33
第二章 SolidWorks 2005 基础知识	37
2.1 SolidWorks 2005 的新功能介绍	37
2.2 基本概念和术语	39
2.3 设计意图和设计方法	40
2.4 文件窗口和草图	41
2.5 特征和属性管理器窗口	42
2.6 特征管理器设计树	43
2.7 零件、装配体和工程图	46
2.8 编辑模型	48
2.9 自定义 SolidWorks	49
第三章 草图绘制	54
3.1 草图绘制的简单流程	54
3.2 创建草图平面	55
3.3 草图的创建与约束	56

3.4	草图绘制工具	73
3.5	参考几何体	82
3.6	综合实例	87
第四章	实体特征造型	94
4.1	基于草图的特征	94
4.2	设计特征	111
4.3	复制特征	123
4.4	综合实例	128
第五章	曲线和曲面	147
5.1	曲线	147
5.2	曲面特征	167
5.3	曲面控制	180
5.4	综合实例	198
第六章	装配体绘制	209
6.1	装配体的设计方法	209
6.2	装配体文件的建立	210
6.3	装配体的配合	215
6.4	装配体中的零件操作	231
6.5	子装配体操作	234
6.6	装配体的干涉检查	235
6.7	装配体的爆炸视图	239
6.8	装配体的轴测剖视图	247
6.9	复杂装配体中零部件的压缩状态	248
6.10	装配体统计	250
6.11	综合实例	251
第七章	工程图	262
7.1	建立工程图	262
7.2	工程图选项	265
7.3	图纸格式设定	277
7.4	建立标准工程视图	281

7.5 派生工程视图	286
7.6 线型和图层	296
7.7 尺寸标注	300
7.8 尺寸公差	316
7.9 打印工程图	318
7.10 综合实例	321
参考文献	326

第一章 机械 CAD 概述

1.1 CAD 应用技术概述

计算机技术的发展,带来第三次技术革命浪潮,计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)技术则是计算机在工业领域中应用最为活跃的一项。

CAD 在早期是英文 Computer Aided Drafting (计算机辅助绘图)的缩写,随着计算机软、硬件技术的发展,人们逐步的认识到单纯使用计算机绘图还不能称为计算机辅助设计;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的一小部分;于是CAD的缩写也由Computer Aided Drafting改为Computer Aided Design, CAD也不再仅仅是辅助绘图,而是整个产品的辅助设计。

CAD/CAM(计算机辅助设计及制造)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,随着计算机软、硬件技术和计算机图形学技术的发展而迅速成长起来。1989年,美国国家工程科学院将CAD/CAM技术评为当代(1964—1989)十项最杰出的工程技术成就之一。三十几年来CAD技术和系统有了飞速的发展,CAD/CAM的应用迅速普及。在工业发达国家,CAD/CAM技术的应用已迅速从军事工业向民用工业扩展,由大型企业向中小企业推广,由高技术领域的应用向日用家电、轻工产品的设计和制造中普及。而且这一技术正在从发达国家“流向”发展中国家。

CAD是一个包括范围很广的概念,概括来说,CAD的设计对象有两大类: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(Architecture、Engineering和Construction, AEC)。而如今,CAD技术的应用范围已经延伸到艺术、电影、动画、广告和娱乐等领域,产生了巨大的经济及社会效益,有着广泛的应用前景。

CAD在机械制造行业的应用最早,也最为广泛。采用CAD技术进行产品设计不但可以使设计人员“甩掉图板”,更新传统的设计思想,实现设计自动化,降低产品的成本,提高企业及其产品在市场上的竞争能力;还可以使企业由原来的串行式作业转变为并行作业,建立一种全新的设计和生产技术管理体制,

缩短产品的开发周期,提高劳动生产率。如今世界各大航空、航天及汽车等制造业巨头不但广泛采用 CAD/CAM 技术进行产品设计,而且投入大量的人力物力及资金进行 CAD/CAM 软件的开发,以保持自己技术上的领先地位和国际市场上的优势。

计算机辅助建筑设计(Computer Aided Architecture Design, CAAD)是 CAD 在建筑方面的应用,它为建筑设计带来了一场真正的革命。随着 CAAD 软件从最初的二维通用绘图软件发展到如今的三维建筑模型软件,CAAD 技术已开始被广为采用。这不但可以提高设计质量,缩短工程周期,还可以节约 2%~5% 的建设投资。而近几年来我国每年的基本建设投资都有几千亿元之多,如果全国大小近万个工程设计单位都采用 CAAD 技术,则可以大大提高基本建设的投资效益。

CAD 技术还被用于轻纺及服装行业中。以前我国纺织品及服装的花样设计、图案的协调、色彩的变化、图案的分色、描稿及配色等均由人工完成,速度慢、效率低,而目前国际市场上对纺织品及服装的要求是批量小、花色多、质量高、交货要迅速,这使得我国纺织产品在国际市场上的竞争力不强。采用 CAD 技术以后,大大加快了我国纺织及服装企业走向国际市场的步伐。

CAD 是 CAE、CAM 和 PDM 的基础。在 CAE 中无论是单个零件,还是整机的有限元分析及机构的运动分析,都需要 CAD 为其造型、装配;在 CAM 中,则需要 CAD 进行曲面设计、复杂零件造型和模具设计;而 PDM 则更需要 CAD 进行产品装配后的关系及所有零件的明细(材料、件数、质量等)。在 CAD 中对零件及部件所做的任何改变,都会在 CAE、CAM 和 PDM 中有所反映。所以,如果 CAD 开展的不好,CAE、CAM 和 PDM 就很难做好。

CAD 集数值计算、仿真模拟、几何模型处理、图形学、数据库管理系统等方面的技术于一体,把抽象的、平面的、分离的设计对象具体化、形象化,它能够通过“虚拟现实”技术把产品的形状、材质、色彩甚至加工过程淋漓尽致地表现出来,并能把产品的设计过程,通过数据管理,实现系统化、规范化,这正是工业设计与 CAD 技术必然结合的基础所在。

如今,CAD 技术已进入到人们的日常生活中,在电影、动画、广告和娱乐等领域大显身手。电影拍摄中利用 CAD 技术已有十余年的历史,美国好莱坞电影公司主要利用 CAD 技术构造布景,可以利用虚拟现实的手法设计出人工不可能做到的布景。这不仅能节省大量的人力、物力,降低电影的拍摄成本,而且还可以给观众造成一种新奇、古怪和难以想象的环境,获得极大的票房收入。比如美国的《星球大战》、《外星人》、《侏罗纪公园》等科幻片以及完全用三维计算机动画制作的影片《玩具总动员》,都取得了极大的成功。轰动全球的

大片《泰坦尼克》应用了大量的三维动画制作，用计算机真实地模拟了“泰坦尼克”航行、沉船的全过程。此外，动画和广告制作中也充分利用了计算机造型技术，实质上也是一种虚拟现实技术。虚拟现实技术还被用于各种模拟器及景物的实时漫游、娱乐游戏中。

近十年来，在 CIMS 工程和 CAD 应用工程的推动下，我国计算机辅助设计技术应用越来越普遍，越来越多的设计单位和企业采用这一技术来提高设计效率、产品质量和改善劳动条件。目前，我国从国外引进的 CAD 软件有数十种，国内的一些科研机构、高校和软件公司也都立足于国内，开发出了自己的 CAD 软件，并投放市场，我国的 CAD 技术应用呈现出一片欣欣向荣的景象。

计算机辅助技术和手段在产品中的应用，不但拓宽了计算机应用领域，同时也对传统的设计观念和方法产生了很大冲击。具体体现在产品设计上可以概括为以下几个方面。

1. 设计向“无纸笔化”转变

计算机辅助产品设计，不需要各种各样的尺、规、笔、纸等传统工具，计算机的操作平台提供了用之不尽的空间，表现的实施过程就是鼠标的点击与键盘的操作，从前繁杂的工作瞬间即可完成，而且干净、简单、高效。数字化仪与手写板的出现和普及，更使得设计在创意草图阶段也可以脱离纸笔手绘的传统模式，从而形成彻底的“无纸笔化”设计。

2. 设计方案交流方便快捷

网络的发展拉近了人与人之间的距离，在计算机网络中，设计者与委托方之间，可以更加方便地交流设计观点，而且可以在任何地方在第一时间与对方交流。另外，可以通过网上的资源共享，进行分工合作。

3. 整体设计程序更具灵活性和高效性

在计算机上，产品的创意方案可以通过快速的三维建模、渲染，实现立体设计，并且在形体感觉、形态调整、色彩、肌理等方面进行随时的改变调整，传统的效果图失去了原有的地位。设计中，大量的时间、精力可用在分析、评价、调整上，使传统的设计程序在侧重点上有了变化。同时，计算机的内容都是数字化的，文件复制没有任何损失，这样对同一设计，其他人也可共享，设计任务也可分阶段、分人、分地点完成，大大提高了工作效率。

4. 产品开发周期缩短，设计成果更为真实可靠

工作效率的提高使产品开发周期明显缩短，计算机辅助制造使样机的制作周期也大大缩短。计算机辅助设计的结果具有真实的立体效果和质量感，尤其是数字技术的迅速发展，使虚拟现实成为可能，计算机虚拟现实技术能使静止的设计结果成为虚拟的真实世界，人置身于真实的产品模拟使用环境中，以检

验产品的各方面性能。

计算机辅助产品设计中,产品的生产工艺过程也可以通过计算机模拟出来,由此可以极大地增强生产计划的科学性和可靠性,并能及时发现和纠正设计阶段不易察觉的错误。

5. 设计仿真和设计检验

利用 CAD 系统的三维图形功能,设计师可在计算机屏幕上模拟出所设计产品的外形状态,在设计之初就对产品进行优化。这样不但可使产品具有优越的品质、最低的消耗和最漂亮的外观,而且在新产品试投产前,就可以对其制造过程中的结构、加工、装配、装饰和动态特征做到恰如其分的分析和检验,从而提高了产品设计的一次成性。

6. 设计与制造的紧密结合

CAD 的设计数据既可用于设计仿真 CAE (计算机辅助工程),也可以通过数据传输系统与数控加工设备连接,将设计数据直接用于产品零配件的加工,即 CAM。计算机辅助设计 CAD 的引入可自动完成从设计到加工程序的转换。

1.2 CAD 的发展史

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,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 CADAM 软件,近十年来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例。

1. 第一次 CAD 技术革命——贵族化的曲面造型系统

20 世纪 60 年代出现的三维 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。

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。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准确表达曲面的落后的工作方式。

此时的 CAD 技术价格极其昂贵(也许还有人记得,曾几何时,在国内租用一套 CATIA 的年租金为 15 万~20 万美元),而且软件商品化程度低,开发者本身就是 CAD 大用户,彼此之间技术保密。只有少数几家受到国家财政支持的军火商,在 20 世纪 70 年代冷战时期才有条件独立开发或依托某厂商发展 CAD 技术。

曲面造型系统带来的技术革新,使汽车开发手段比旧的模式有了质的飞跃,新车型开发速度也大幅度提高,许多车型的开发周期由原来的 6 年缩短到只需约 3 年。CAD 技术给使用者带来了巨大的好处及颇丰的收益,汽车工业开始大量采用 CAD 技术。20 世纪 80 年代初,几乎全世界所有的汽车工业和航空工业都购买过相当数量的 CATIA,其结果是 CATIA 跃居制造业 CAD 软件榜首,并且保持了许多年。最近几年,从造型理论上来说, CATIA 并没有突破性的进展, CAD 技术本身已相对落后。达索公司公布的 1996 年营业额只有 2.68 亿美元,这并不足以使其稳据世界排名第二的位置,但其庞大用户群的巨大惯性以及由 IBM 提供的约 3 亿美元的强有力系统集成支持,使得它依然排在 CAD 行业前列。

2. 第二次 CAD 技术革命——生不逢时的实体造型技术

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 为代表的系统开始朝各自的发展方向前进。20 世纪 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;CV 和 CALMA 则将主要精力都放在 CAD 市场份额的争夺上。

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。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,给设计带来了很大的方便。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。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。推动了此次技术革命的 SDRC 公司与幸运之神擦肩而过,失去了一次大飞跃的机会。在以后的 10 年里,随着硬件性能的提高,实体造型技术又逐渐为众多 CAD 系统所采用。

3. 第三次 CAD 技术革命——一鸣惊人的参数化技术

正当 CV 公司业绩蒸蒸日上以及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。如果说在此之前的造型技术都属于无约束自由造型的话,那么进入 20 世纪 80 年代中期,CV 公司内部以高级副总裁为首的一批人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。从算法上来说,这是一种很好的设想。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。是否马上投资发展这项技术呢?CV 公司内部展开了激烈的争论。由于参数化技术核心算法与以往的系统有本质差别,若采用参数化技术,必须将全部软件重新改写,投资及开发工作量必然很大。当时 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),更何况当时 CV 公司的软件在市场上几乎呈供不应求之势,于是,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在新思想无法实现时,集体离开了 CV 公司,另

成立了一个参数技术公司（Parametric Technology Corporation, PTC），开始研制命名为 Pro/E 的参数化软件。早期的 Pro/E 软件性能很低，只能完成简单的工作，但由于第一次实现了尺寸驱动零件设计修改，使人们看到了它今后将给设计者带来的方便性。

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，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。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。由于他们设计的工作量并不大，零件形状也不复杂，更重要的是他们无钱投资大型高档软件，因此他们很自然地把目光投向了中低档的 Pro/E 软件。了解 CAD 市场的人都知道，它的分布几乎呈金字塔型。在高端的三维系统与低端的二维绘图软件之间，事实上存在一个非常大的中档市场。PTC 在起家之初就瞄准这个充满潜力的市场，迎合众多的中小企业对 CAD 的需求，一举进入，获得了巨大的成功。进入 20 世纪 90 年代，参数化技术变得成熟起来，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。踌躇满志的 PTC 先行挤占低端的 AutoCAD 市场，致使在几乎所有的 CAD 公司营业额都呈上升趋势的情况下，Autodesk 公司营业额却增长缓慢，市场排名连续下挫；继而 PTC 又试图进入高端 CAD 市场，与 CATIA、I-DEAS、CV、UG 等群雄逐鹿，打算进入汽车及飞机制造业市场。目前，PTC 在 CAD 市场份额排名上已名列前茅。可以认为，参数化技术的应用主导了 CAD 发展史上的第三次技术革命。

4. 第四次 CAD 技术革命——更上一层楼的变量化技术

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。由于 CATIA、CV、UG、EUCLID 都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，包括 CAM、PIPING 和 CAE 接口等，在 CAD 方面也做了许多应用模块开发。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，何况它们在参数化技术上并没有完全解决好所有问题。因此它们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。考虑到这种参数化的不完整性以及需要很长时间的过渡时期，CV、CATIA、UG 在推出自己的参数化技术以后，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，只是主模型技术的雏形，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其他不利条件。这样的系统由于其在参数化

技术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。

可是 30 年的 CAD 软件技术发展也给了我们这样一点启示：决定软件先进性及生命力的主要因素是软件基础技术，而并非特定的应用技术。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：要么它同样采用逐步修补方式，继续将其 I-DEAS 软件参数化下去，这样做风险小但必然导致产品的综合竞争力不高；但是否一定要走参数化这条路呢？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 公司的开发人员发现了参数化技术尚有许多不足之处。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。

一定要全约束吗？一定要以尺寸为设计的先决条件吗？欠约束能否将设计正确进行下去？沿着这个思路，在对现有各种造型技术进行了充分地分析和比较以后，一个更新颖大胆的设想产生了。SDRC 公司的开发人员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，作为今后的开发方向。SDRC 公司的决策者们权衡利弊，同意了这个方案，决定在公司效益正好之时，抓住机遇，从根本上解决问题，否则日后落后无疑。于是，从 1990 至 1993 年，历经 3 年时间，投资一亿多美元，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。

众所周知，已知全参数的方程组去顺序求解比较容易。但在欠约束的情况下，其方程联立求解的数学处理和在软件实现上的难度是可想而知的。SDRC 公司攻克了这些难题，并就此形成了一整套独特的变量化造型理论及软件开发方法。

变量化技术既保持了参数化技术的原有优点，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。而且 SDRC 公司这几年业务的快速增长，也证明了它走的这条当时看起来是充满风险的研发道路是绝对正确的。也许 DaraTech 的 96CAD 市场评论是对的：“看起来 SDRC 公司要飞黄腾达了”。事实上，I-DEAS MS1 发布时，SDRC 公司市场排名仅位居第 9，而在此以后，SDRC 公司每年的排位都要超越一、两位同行，截止

到去年,SDRC 公司的市场排名已上升至第 3 位。无疑,变量化技术成就了 SDRC 公司,也驱动了 CAD 发展的第四次技术革命。

以史为鉴,可知兴衰。众多 CAD 厂商的成败无一不与其技术发展密切相关。温故而知新。CAD 技术基础理论的每次重大进展,无一不带动了 CAD/CAM/CAE 整体技术的提高以及制造手段的更新。技术发展,永无止境。没有一种技术是常青树,CAD 技术一直处于不断的发展与探索之中。正是这种此消彼长的互动与交替,造就了今天 CAD 技术的兴旺与繁荣,促进了工业的高速发展。今天,越来越多的人认识到 CAD 是一种巨大的生产力,不断加入到用户行列之中。愿 CAD 技术的发展伴随着人们对它认识及应用水平的提高,日新月异,更上一层楼。

1.3 CAD 发展概况

1.3.1 国内 CAD/CAM 领域的技术现状

在我国,虽然很久就提“甩图板”的口号,但至今 CAD 技术在国内的普及使用程度仍然很低,国外机械企业 CAD 技术的普及率接近 100%,而我国则不到 30%。目前国内用于机械 CAD 的计算机台数仅 50 万台,企业中还有相当一部分在图板上进行手工绘图设计;用上计算机开展 CAD 工作的企业中,绝大多数使用的是初级平台的国内外软件,实用性不高。因此,国内 CAD 的应用还处于低水平,这相对于硬件投资、人力投入来讲无疑是一个巨大的浪费。根据世界经济黄皮书的统计数字:我国机械工业主导产品达到 20 世纪 90 年代国际水平的仅占 30%;我国制造业的新产品贡献率仅为国内生产总值的 5.9%

(1997 年),而美国在 1995 年就已达到 52%;美国、西欧诸国及日本机械工业企业的专业化水平为 75%~95%,而中国仅为 15%~30%。因此,CAD 的应用和普及程度已成为决定我国经济腾飞的关键所在。

我国 CAD/CAM 研究普遍存在着科研水平较高、商品化程度低的特点,很多科研成果不能及时转换为生产力,这样,长期以来进口软件便成为唯一的选择。许多企业上了 CAD/CAM 项目,有的投资额高达数百万元,购置了当时较为先进的工作站、小型机系统,但现在绝大多数都已束之高阁,造成了大量人力、物力的浪费。究其原因:一是国外 CAD/CAM 软件和工作站等硬件产品价格昂贵,动辄几万、几十万美金,给企业造成沉重的经济负担;二是软、硬件操作复杂,不但要求使用者具有较高的数控加工经验,而且要求具有较高的计算机水平和英语基础,这样的人才十分难得且培训周期长;三是国外 CAD/CAM

软件企业主要通过国内代理销售,由于客观原因,大多技术支持能力较弱,响应缓慢。这些因素使得 CAD/CAM 技术成为国内制造企业的一块心病。

近年来,情况有了转机。随着改革开放的深入,沿海和内地的一些地区经济活动日益活跃,特别是广东沿海和江南地区产生了一大批中、小型制造企业。由于面对激烈的市场竞争,产品生命周期不断缩短,多品种、小批量生产比例增加,如何缩短产品的设计、制造周期成为这些企业生存的关键。这一批中、小型制造企业迫切要求配备功能完备、价格低廉、学习简便和技术支持良好的 CAD/CAM 软件,形成了强大的市场需求。更重要的是随着 PC 机功能的不断增强,在很多领域已可替代工作站,使硬件投资大大降低。在这一时期,国产 CAD/CAM 技术也得到了长足的发展,大批优秀国产 CAD/CAM 软件推向市场,它们不仅在技术上已经接近或达到世界先进水平,而且在价格、使用习惯和技术支持上更有进口软件难以比拟的优势。原国家科委提出“甩图板”号召以来,设计人员使用自主知识产权的国产 CAD/CAM 软件已成为大势所趋。看来,继国产绘图软件全面占领市场之后,高品质、低价位、自主知识产权的 CAD/CAM 软件即将大行其道。

1.3.2 CAD 技术的特点

CAD 技术是一项综合性的、集计算机图形学、数据库、网络通信等计算机及其他领域知识于一体的高新技术,是先进制造技术的重要组成部分,也是提高设计水平、缩短产品开发周期、增强行业竞争能力的一项关键技术。CAD 技术的特点是涉及面广而复杂、技术变化快、竞争激烈,而且投资大、风险高、产出高。现代有名的 CAD/CAM 软件都是规模巨大、功能众多、系统复杂,所以投资大、开发周期长,难以及时跟上硬件平台和开发环境的迅速发展以及广大用户需求的变化和不断增长的要求。

1.3.3 当今 CAD/CAM 领域的主流技术

1. 基础造型技术(参数化设计、变量化设计及特征造型技术)

在 CAD 技术发展的初期,CAD 仅限于计算机辅助绘图,随着计算机软、硬件技术的飞速发展,CAD 技术才从二维平面绘图发展到三维产品建模,随之也就产生了三维线框造型、曲面造型以及实体造型技术。而如今参数化及变量化设计思想和特征造型则代表了当今 CAD 技术的发展方向。

传统的 CAD 绘图软件都是用固定的尺寸值定义几何元素,要进行图面修改只有删除原有的线条后重画,而新产品的打样设计不可避免的要进行多次的修改,进行零件形状和尺寸的综合协调、优化,而且大多数设计工