

3D

打印

3D 打印 丛书

模型设计及应用

陈 玲 杨继全 著
杨继全 主审



3D 打印丛书

3D 打印

模 型 设 计 及 应 用

陈 玲 杨继全 | 著
杨继全 | 主审

图书在版编目(CIP)数据

3D打印模型设计及应用 / 陈玲, 杨继全著. — 南京:
南京师范大学出版社, 2016.5

ISBN 978-7-5651-2378-8

I. ①3… II. ①陈… ②杨… III. ①立体印刷—印刷
术 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 246404 号

书 名	3D打印模型设计及应用
著 者	陈 玲 杨继全
主 审	杨继全
责任编辑	孙 沁 郑海燕
出版发行	南京师范大学出版社
地 址	江苏省南京市宁海路 122 号(邮编:210097)
电 话	(025)83598919(总编办) 83598412(营销部) 83598297(邮购部)
网 址	http://www.njnup.com
电子信箱	nspzbb@163.com
照 排	南京理工大学资产经营有限公司
印 刷	扬中市印刷有限公司
开 本	787 毫米×960 毫米 1/16
印 张	10
字 数	169 千
版 次	2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷
书 号	ISBN 978-7-5651-2378-8
定 价	26.00 元

出 版 人 彭志斌

南京师大版图书若有印装问题请与销售商调换

版权所有 侵犯必究

前 言

18 世纪末的工业革命使得大规模生产成为可能,随之产生的规模经济效应对当时的经济和社会产生了深远的影响。而新出现的 3D 打印技术的影响与工业革命正相反,3D 打印技术(Three Dimensional Printing)使得生产单个产品的成本和生产上千产品时一样低廉。3D 打印技术对未来产生的影响不亚于第二次工业革命。

随着信息技术的发展,“创客运动”蓬勃兴起,用户与生产者之间的界限正在变得模糊。如果说计算机让消费者能够参与产品的研发设计过程,3D 打印则使得消费者参与社会化生产成为可能。无数拥有 3D 打印机的个人或小型企业,通过分工协作构成的“云打印”网络,将能够生产更加复杂的产品,制造业也可随之呈现出大众创业、万众创新的特点。

本书的出现正好顺应了潮流,对大众了解掌握 3D 打印模型设计技术具有积极的指导作用。该书具有以下几个特点:

① 遵循“应用为目的”和“少而精、浅而广”的原则,突出实例讲解,理论内容由浅入深,初学者容易掌握,也适用于高校的教学。

② 具有相当强的实践性。书中举例全面,步骤详细,让理论学习和动手实践完美地结合。

③ 内容丰富全面。书中例举 9 种 CAD 软件的建模方法,基本满足目前所需要的 CAD 建模要求,并对每种软件的特征优势以及应用场合做了详细的介绍,让初学者可以更好地掌握 3D 打印建模的知识。

本书内容共分 4 章。第 1 章主要介绍了 3D 打印的一些技术工艺及其所采用的 CAD 建模的主要方法,对 CAD 三维建模技术的发展历程做了一个较为简单的概述;第 2 章介绍目前较为常用的一些造型设计方面的软件(3DS MAX、



Rhinocero、FreeForm),并通过建模实例讲解各软件造型设计的一些基本技能及方法;第3章介绍目前3D打印常用的结构设计方法和软件(Pro/Engineer、SolidWorks、UG),以及关于结构设计的一些基本的技能及方法;第4章主要介绍目前较为常用的一些通用设计方法和软件(Sketchup、Autodesk123D-123D Design、Autodesk123D-Tinkercad),以及关于通用设计的一些基本技能和方法。

本书在编写过程中,参考了大量的相关资料,除书末注明的参考文献外,其余的参考资料主要有:公开出版的各类报纸、刊物和书籍;因特网上的检索。本书中所采用的图片、模型等素材,均为所属公司、网站或个人所有,本书引用仅为说明之用,绝无侵权之意,特此声明。在此向参考资料的各位作者表示谢意!

本书由南京师范大学的陈玲、杨继全所著,仲苏明、徐冰、曹伟、魏秋雨参加编写。在本书的编写过程中,南京师范大学和江苏省三维打印装备和制造重点实验室的李超、冯春梅、郑梅、李娜、王琼、郭爱琴、程继红、褚红燕等老师对本书进行了认真细致地审阅,并提出了许多宝贵建议,给予了许多无私帮助与支持。在此向以上单位和个人致以诚挚的谢意。最后衷心感谢南师大出版社在本书出版过程中给予的大力支持。

本书得到国家自然科学基金(61273243、51175268、11102090)、江苏省重大科技支撑与自主创新基金(BE2012201)、江苏省科技支撑计划(工业)重点项目(BE2013012、BE2014009)、江苏省科技成果转化专项资金重大项目(BA20130518)等项目的支持。

由于编者水平有限,书中的疏漏和错误在所难免,恳请读者批评指正,多提宝贵意见,使之不断完善,编者在此预致谢意。

目 录

前 言	1
第 1 章 概 论	1
1.1 3D 打印技术简介	1
1.1.1 3D 打印的整体工艺	1
1.1.2 3D 打印建模在工艺中的作用	2
1.2 3D 打印建模技术的主要方法	3
1.2.1 正向设计	3
1.2.2 逆向设计	4
1.2.3 正逆向混合设计	4
1.3 计算机辅助设计三维建模发展历程	4
1.3.1 CAD 发展史	4
1.3.2 CAD 软件技术的发展历程	11
1.3.3 CAD 技术的应用	12
第 2 章 3D 打印中常用的造型设计软件	15
2.1 3DS MAX 造型设计基础	16
2.1.1 3DS MAX 简介及特点	16
2.1.2 3DS MAX 工作界面	17
2.1.3 实体建模实例一	18
2.1.4 实体建模实例二	28



2.1.5	3DS MAX 模型在 3D 打印机上的实现	38
2.2	Rhinocero 造型设计	43
2.2.1	Rhinocero 简介及特点	43
2.2.2	Rhino 工作界面	44
2.2.3	实体建模实例	44
2.2.4	Rhino 造型设计在 3D 打印机上的实现	52
2.3	FreeForm 造型设计	53
2.3.1	FreeForm 简介及特点	53
2.3.2	FreeForm 工作界面	54
2.3.3	实体建模实例	55
2.3.4	FreeForm 造型设计在 3D 打印机上的实现	59
第 3 章	3D 打印常用的结构设计方法与软件	61
3.1	Pro/Engineer 零件设计	61
3.1.1	Pro/Engineer 简介及特点	61
3.1.2	Pro/Engineer 工作界面	62
3.1.3	实体建模实例一	62
3.1.4	实体建模实例二	72
3.1.5	Pro/Engineer 模型在 3D 打印机上的实现	80
3.2	SolidWorks 结构设计基础	81
3.2.1	SolidWorks 简介及特点	81
3.2.2	SolidWorks 工作界面	82
3.2.3	实体建模实例一	83
3.2.4	实体建模实例二	92
3.2.5	SolidWorks 模型在 3D 打印机上的实现	98
3.3	UG 结构设计	98
3.3.1	UG NX 9.0 简介及特点	98
3.3.2	UG NX 9.0 工作界面	99
3.3.3	实体建模实例	101
3.3.4	曲面建模实例	110



3.3.5 UG 模型在 3D 打印机上的实现(以支座为例)	119
第 4 章 3D 打印常用的通用设计方法与软件	121
4.1 Sketchup 软件	123
4.1.1 Sketchup 简介及特点	123
4.1.2 Sketchup 工作界面	124
4.1.3 通用设计实例	124
4.1.4 Sketchup 模型在 3D 打印机上的实现	132
4.2 Autodesk 123D - 123D Design 软件	132
4.2.1 123D Design 简介与特点	132
4.2.2 123D Design 工作界面	133
4.2.3 实体建模实例	134
4.2.4 123D Design 模型在 3D 打印机上的实现	142
4.3 Autodesk 123D - Tinkercad 软件	143
4.3.1 Tinkercad 简介及特点	143
4.3.2 创建 Tinkercad 账号	144
4.3.3 Tinkercad 工作界面	145
4.3.4 实体建模实例	146
4.3.5 Tinkercad 模型在 3D 打印机上的实现	151
参考文献	152

第1章 概 论

1.1 3D 打印技术简介

1.1.1 3D 打印的整体工艺

1. 熔融沉积制造

熔融沉积制造(Fused Deposition Modeling, FDM)是目前应用比较广泛的一种工艺。

FDM 加热头把热熔性材料(ABS 树脂、尼龙、蜡等)加热到临界状态,使其呈现半流体状态,然后加热头会在软件控制下沿计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)确定的二维几何轨迹运动,同时喷头将半流动状态的材料挤压出来,材料瞬时凝固形成有轮廓形状的薄层。由于 3D 打印机的打印头或底座能够在垂直方向移动,所以它能让材料逐层进行快速累积,并且每层都是由 CAD 模型确定的轨迹打印出确定的形状,最终能够打印出设计好的三维物体。

2. 光固化成型

光固化成型(Stereo Lithography Apparatus, SLA)是较早出现的成型制造工艺,也是发展较为成熟的工艺。

用特定波长与强度的激光聚焦到光固化材料表面,使之由点到线,由线到面顺序凝固,完成一个层面的绘图作业,然后升降台在垂直方向移动一个层片的高度,再固化另一个层面,这样层层叠加构成一个三维实体。

3. 选择性激光烧结

选择性激光烧结(Selective Laser Sintering, SLS)工艺与光固化成型工艺有



相似之处,即都需要借助激光将物质固化为整体。不同的是,选择性激光烧结工艺使用的是红外激光束,材料则由光敏树脂变成了塑料、蜡、陶瓷、金属或其复合物的粉末。

由 CAD 模型各层切片的平面几何信息生成 X-Y 激光扫描器在每层粉末上的数控运动指令,铺粉器将粉末一层一层地撒在工作台上,再用滚筒将粉末滚平、压实,每层粉末的厚度均应该对应于 CAD 模型的切片厚度。各层粉末被二氧化碳激光器选择性烧结到基体上,而未被激光扫描、烧结的粉末仍留在原处起支撑作用,直至烧结出整个零件。

4. 分层实体制造

分层实体制造(Laminated Object Manufacturing, LOM)具有较强的传统切削的特点,不再使用大块原材料进行整体切削,而是将原来的零部件模型分割为多层,然后进行逐层切削、黏结,最后形成实体零件。

根据 CAD 模型各层切片的平面几何信息驱动激光头,对底部涂覆有热敏胶的纤维纸(厚 0.1~0.2 mm)进行分层实体切割,随后工作台下降一层高度,送进机构又将新的一层材料铺上并用热压辊碾压使其紧黏在已经成型的基体上,激光头再次进行切割运动切出第二层平面轮廓,如此重复直至整个三维零件制作完成。

5. 三维印刷成型

三维印刷工艺(Three Dimension Printing, 3DP),与 SLS 工艺一样,也是通过将粉末黏结成整体来制作零部件,不同之处在于,它不是通过激光熔融的方式黏结,而是通过喷头喷出的黏结剂进行黏结。

喷头在电脑控制下,按照模型截面的二维数据运行,选择性地在相应位置喷射黏结剂,最终构成层。在每一层黏结完毕后,成型缸下降一个等于层厚度的距离,供粉缸上升一段高度,推出多余粉末,并由铺粉辊推到成型缸,铺平再被压实。如此循环,直至完成整个物体的黏结。

1.1.2 3D 打印建模在工艺中的作用

在传统制造业中整套工艺文件应当包括:工艺目录、工艺文件变更记录表、工艺流程图与工位/工序工艺卡片。

工艺目录,是指整个文件的目录,需要标明当前各文件的有效版本;工艺文件变更记录表,通常是在文件内容变更后,进行走变更流程的记录,主要内



容有:变更的内容页名称、变更的依据文件(通常为 ECO)编号、变更前和变更后的版本。工艺流程图提供了工艺流程中的操作者及对操作的素质要求,需要的人力,每一个工序需要时间,操作要点,要达到的标准,所用的特殊工具等相关参照。工位/工序的工艺卡片,就是具体到每一个环节,通常为操作者使用,同时要写明本工位(或工序)名称,前工位(或工序)名称,后工位(或工序)名称,所用材料与工具,操作中的注意事项,执行标准,更多的主要内容是操作步骤顺序和方法。

从上文的介绍来看,对于一套产品的提出到最后的加工成型,所历经的步骤繁多且对于产品的改变可能改变整套工艺,从操作性而言,过于繁琐。从经济角度来看,由于工艺过程中所涉及环节较多,各环节涉及模具成本较大,产品工艺链越长,产品改型的经济损耗便越大。工艺的编制涉及的加工资料甚多。而 3D 打印在整个制造过程中缩减了生产既定产品的外围生产资料,从产品模型到产品成为可能。而在产品概念形成时,所需关注的也就是产品的数字模型,即产品建模。3D 打印将产品模型直接生产出来。而对产品的修改只需对模型进行修改,改善了产品工艺的柔性,也缩短了产品的加工过程。另外 3D 打印工艺是近几十年发展起来的全球先进技术,它与传统切削材料的“去除法”不同,增材技术将采用细微原材料一层一层的堆叠而生成三维立体的实体,因此被通俗地称为“3D 打印”,也可以把 3D 打印理解为无数个 2D 打印平面堆叠而成的。该工艺只需在电脑上设计出模型或者扫描实体得到数据,就可以用 3D 打印机打印出实物。该工艺无需传统的刀具、模具、车床或复杂工艺,就可快速地将设计生产为实物,减少了不必要的费用。

1.2 3D 打印建模技术的主要方法

3D 打印技术中的 CAD 建模方法主要分为正向设计、逆向设计和正逆向混合设计。

1.2.1 正向设计

正向设计的方法是一个从概念设计起步到 CAD 建模、数控编程、数控加工的过程,它是早期设计师在进行产品的造型设计时主要采用的方法。

正向设计的一般流程:产品功能要求采集→产品概念设计→建立模型绘制



详细图纸→编制工艺→加工。

缺点:对于复杂的产品,设计过程难度系数大、周期较长、成本高、产品研制开发难。由于设计师无法完全预估产品在设计过程中会出现什么样的状况,如果每次因为一些局部的问题而推倒整个产品重来,不管从时间上还是从成本上都是不可接受的。

典型的正向设计软件:Pro/E、UG、CATIA、Solidworks。

1.2.2 逆向设计

逆向设计过程是指设计师对产品实物的表面进行数字化处理(包括借助扫描仪的面数据采集、数据处理),并利用可实现逆向三维造型设计的软件来重新构造实物的三维 CAD 模型(曲面模型重构),并进一步用 CAD/CAE/CAM 系统实现分析、再设计、数控编程、数控加工的过程。逆向设计通常是应用于产品外观表面的设计。

逆向设计的一般流程:产品样件→三维面数据采集→数据处理→CAD/CAE/CAM 系统→模型重构→制造系统→新产品。

典型的逆向设计软件:Imageware、Trace、CopyCAD。

1.2.3 正逆向混合设计

混合设计的提出,结合了正向设计的规范性与逆向设计的灵活性,形成灵活且规范的设计构架。

首先通过对实物进行三维面数字测量获取实物模型的表面数据并形成网格模型,然后采用特征建模,并结合产品功能和设计草图,恢复产品正向设计特征,最后通过实体模型运算设计完成产品的数字模型。

典型的正逆向混合设计软件:3-Matic,Geomagic Spark。

1.3 计算机辅助设计三维建模发展历程

1.3.1 CAD 发展史

随着 CAD 正版化的日益来临,很多公司都在致力于 CAD 行业软件的研



发,国内公司在这方面几乎是群雄并起,但都摆脱不了国外软件的模式和核心。

在CAD软件发展初期,CAD的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CAD (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。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用户特别是早期CAD用户中,二维绘图仍然占有相当大的比重。

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(计算机辅助制造)及CAE(计算机辅助工程)均无法实现。

进入70年代,正值飞机和汽车工业的蓬勃发展时期。在此期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,因此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,能在计算机辅助设计系统(Computer Aided Design And Manufacturing, 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(Computer-graphics Aided Three-dimensional interactive Application, 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,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 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。例如:

CADAM 由美国洛克希德(Lochheed)公司支持

CALMA 由美国通用电气(GE)公司开发

CV 由美国波音(Boeing)公司支持

I-DEAS 由美国国家航空及宇航局(NASA)支持

UG 由美国麦道(MD)公司开发

CATIA 由法国达索(Dassault)公司开发

这时的 CAD 技术主要应用在军用工业。受此项技术的吸引,一些民用主干工业,如汽车业的巨人也开始摸索开发一些曲面系统为自己服务,如:大众汽车公司 SURF、福特汽车公司 PDGS 与雷诺汽车公司 EUCLID。

另外还有丰田、通用汽车公司等都开发了自己的 CAD 系统。由于无军方支持,开发经费及经验不足,其开发出来的软件商品化程度都较军方支持的系统要低,功能覆盖面和软件水平亦相差较大。

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 3 年左右。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 软件,其结果是 CATIA 跃居制造业 CAD 软件榜首,并且保持了许多年。到了 90 年代,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 技术无法打开更广阔的市场。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,通过美国宇航局的



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它特性,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,给设计带来了惊人的方便性。它代表着未来 CAD 技术的发展方向。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。

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。

CV 公司最先在曲面算法上取得突破,计算速度得到较大提高。由于 CV 提出了集成各种软件,为企业提供全方位解决方案的思路,并采取了将软件的运行平台向价格较低的小型机转移等有利措施,一跃成为 CAD 领域的领导者,市场份额上升到第 1 位,兼并了 CALMA 公司,实力迅速膨胀。

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,进入 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。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,必须重新编写全部软件,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 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 Corp.),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的设计修改,使人们看到了它今后将给设计者带来的方便性。

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一下子降到只需几万美元。一个更加广阔的 CAD 市场被打开,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着一个非常大的中档市场。PTC 在起家之初即已瞄准这个充满潜力的市场,在旧时王榭堂前燕尚未来得及飞入寻常百姓家之时,迎合众多的中小企业的 CAD 需求,一举进入并获得了巨大的成功。进入 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,并且进入汽车及飞机制造业市场,很快使得 PTC 在 CAD 市场份额排名上名列前茅。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 90 年代初期,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 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它应用,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,何况他们在参数化技术上并没有完全解决好所有问题。因此他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它不利条件。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。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:是否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华山一条路呢?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 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(即参数)为出发点。一旦所设计的零件形状较为复杂时,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。事实上,全约束是对设计者的一种硬性规定。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 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 的决策