



马伟 张海英 雷贤卿 等 编著

CATIA V5 R16 曲面造型及逆向设计



科学出版社

www.sciencep.com

CATIA V5 R16 曲面造型 及逆向设计

马 伟 张海英 雷贤卿 等 编著

本书由河南科技大学学术著作出版基金资助出版

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

CATIA V5 软件是集设计、分析、制造为一体的计算机辅助设计软件,具有强大的曲面造型功能。适合于正向设计、逆向设计及 A 级曲面设计,它不仅能够完成复杂曲面的设计工作,而且提供了强大的数字化外形编辑模块,可以实现逆向工程在 CAD 系统中更高层次地集成。

本书是基于 CATIA V5 R16 编写的,全面介绍了 CATIA V5 R16 曲面设计的流程、方法与技巧等内容。全书共 7 章,分为 CATIA 基础教程篇和应用实例篇。主要内容包括 CAD 技术发展史、常规曲面设计、自由曲面设计、数字化曲面设计、曲面造型设计实例以及逆向造型设计案例等。

本书层次清晰、实例经典、讲述具体,不仅适合初级用户由浅入深、循序渐进地全面掌握和应用 CATIA 软件,也适合高级用户学习 CATIA 的曲面设计方法和技巧。

图书在版编目(CIP)数据

CATIA V5 R16 曲面造型及逆向设计/马伟等编著. —北京:科学出版社,2009

ISBN 978-7-03-023654-8

I. C… II. 马… III. 曲面-机械设计:计算机辅助设计-应用软件, CATIA V5 R16 IV. TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 195643 号

责任编辑:耿建业 王向珍/责任校对:李奕萱

责任印制:赵 博/封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新蕾印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2009 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2009 年 1 月第一次印刷 印张: 32 1/4

印数: 1—3 000 字数: 638 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新蕾〉)

前 言

制造业信息化的发展改变了产品设计、产品加工和产品检验过程中的工程信息表达方式与传递方式，产品的三维设计技术已成为现代制造业工程技术人员必备的专业技能之一。

曲面建模是三维建模的基础，也是 CAD 三维建模技术的难点，一旦掌握了曲面建模技术，制约三维建模应用的“瓶颈”问题也就迎刃而解。要构建出高质量的曲面就要求技术人员不仅具有正确的空间曲面概念，熟悉曲面质量的检查机理，而且要了解不同行业、不同产品对曲面的制作要求以及具有丰富的软件操作经验。

本书的曲面造型基础平台是 CATIA V5 软件，该软件是法国 Dassault System（达索系统）推出的，是功能强大的三维计算机辅助绘图软件。它具有丰富的曲面造型功能，适合正向设计及逆向曲面设计。

本书与其他书的主要区别在于它的实用性。作者承担过大量的实际逆向设计项目，在从事这些项目的实施过程中积累了丰富的逆向设计经验，总结出一些高效的 CAD 曲面建模方法和曲面建模技巧，在本书中结合具体的例子展示出来，相信会给读者提供一些有益的参考。

本书第 1~4 章是 CATIA 基础教程篇：第 1 章介绍曲面造型技术的数学概念及其发展简史，使读者对曲面造型的本质及背景有初步的了解；第 2、3 章介绍曲线和曲面造型的设计和分析指令；第 4 章介绍数字化曲面设计指令，使读者了解逆向设计的前期处理工作。第 5~7 章为 CATIA 应用实例篇：第 5 章主要是典型曲面造型实例的介绍，引导读者活学活用曲面造型指令；第 6、7 章介绍逆向设计案例，与读者交流作者从事曲面造型的工程实践经验。

在介绍这些例子时，力求做到由浅入深、循序渐进。通过本书的学习，读者可以对曲面造型的本质有所了解，对曲面建模的要求、制作方法、检验标准及检验手段有比较系统的认识。随书附赠光盘中有本书案例的源文件，具有很强的指导性，方便读者学习使用。

本书主要由马伟、张海英、雷贤卿编著。参加本书编写的有：李济顺、李航（第 1、4 章）、雷贤卿（第 2 章）、薛玉君（第 3 章）、张海英（第 5 章及练习思考题答案）、马伟（第 6 章）、段明德（第 7 章）。李济顺教授对全书进行了通稿和审定。

本书由河南科技大学学术著作出版基金、河南科技大学博士科研启动基金、国家科技支撑计划项目（2006BAF01B02）及国家 863 计划项目（2007AA041801）提供资助。

CATIA 技术复杂，功能强大，由于作者水平有限，书中难免会有不妥之处，恳请读者不吝赐教。

本书编者的邮箱：hongshanghaiying@163.com。

编 者

2008 年 6 月

目 录

前言

第一篇 基础教程篇

第 1 章 CAD 技术发展史	3
1.1 CAD 技术的发展阶段	3
1.2 选择 CAD 软件的注意事项	6
1.3 CATIA 软件简介及与其他同类软件比较	7
1.3.1 CATIA 软件简介	7
1.3.2 CATIA 软件与其他同类软件比较	8
1.4 CAD 模型的数学机理简介	9
1.4.1 曲线连续性	9
1.4.2 曲线的阶次	10
1.4.3 曲面的几何组成	10
1.4.4 曲面模型的评价指标	11
1.4.5 逆向工程中曲面设计的要点	12
1.5 逆向工程技术发展方向	13
1.6 小结	14
思考练习题	14
第 2 章 常规曲面设计	15
2.1 创成式曲面设计单元	15
2.2 创建线框	17
2.2.1 创建点	17
2.2.2 创建空间直线	25
2.2.3 创建空间圆弧曲线	30
2.2.4 创建空间样条曲线	38
2.2.5 创建螺旋线	39
2.2.6 创建曲线圆角及曲线桥接	47
2.2.7 投影变换	52
2.2.8 创建相交曲线	52

2.2.9	创建平行曲线	56
2.3	曲面架构	57
2.3.1	拉伸	57
2.3.2	旋转	58
2.3.3	圆球	59
2.3.4	偏移	59
2.3.5	轮廓扫掠	61
2.3.6	创建填充曲面	70
2.3.7	创建放样曲面	70
2.3.8	创建桥接曲面	73
2.4	曲面和曲线的编辑	76
2.4.1	合并	76
2.4.2	缝补	77
2.4.3	分解	78
2.4.4	曲线光顺	79
2.4.5	裁剪	80
2.4.6	恢复裁剪	82
2.4.7	提取元素	83
2.4.8	曲面圆角	85
2.4.9	几何变形	91
2.4.10	外插延伸	97
2.5	建立曲面基础特征	100
2.5.1	用曲面分割实体	100
2.5.2	增厚曲面生成实体	100
2.5.3	闭合曲面为实体	102
2.5.4	缝合曲面到实体	102
2.6	常规曲面设计的管理	103
2.6.1	编辑修改线架和曲面	103
2.6.2	使用辅助工具	105
2.7	小结	107
	思考练习题	108
第3章	自由曲面设计	109
3.1	CATIA 的自由造型单元简介	109
3.2	创建曲线	111
3.2.1	创建空间曲线	111

3.2.2	在曲面上创建曲线	113
3.2.3	曲线投影	115
3.2.4	曲线桥接	115
3.2.5	圆角造型	116
3.2.6	曲线匹配	117
3.3	创建曲面	119
3.3.1	缀面创建	119
3.3.2	拉伸曲面	122
3.3.3	偏移曲面	122
3.3.4	外插造型	124
3.3.5	桥接曲面	124
3.3.6	圆角曲面	127
3.3.7	填充曲面	129
3.3.8	有关联的填充曲面	130
3.3.9	网状曲面	132
3.3.10	扫掠曲面	133
3.4	曲面和曲面的编辑操作	135
3.4.1	对称	135
3.4.2	控制点调整	136
3.4.3	曲面匹配	144
3.4.4	外形拟合	148
3.4.5	外形延伸	149
3.4.6	曲面分割	150
3.4.7	恢复剪切	151
3.4.8	连接	151
3.4.9	分段	152
3.4.10	分解	154
3.4.11	转换	155
3.4.12	参数复制	156
3.5	外形分析	158
3.5.1	曲线连续性分析	158
3.5.2	曲线曲率梳分析	160
3.5.3	截面曲率分析	163
3.5.4	反射分析	165
3.5.5	拐点曲线分析	167

3.5.6	高亮分析	167
3.5.7	环境映射	169
3.5.8	斑马线分析	169
3.5.9	A 级曲面高亮分析	171
3.6	小结	172
	思考练习题	172
第 4 章	数字化曲面设计	174
4.1	数字化曲面编辑器简介	174
4.2	点云数据加载和输出	176
4.3	编辑点云	179
4.4	点云网格化	184
4.5	绘制交线	194
4.6	矫正点云	199
4.7	点云分析	204
4.8	小结	206
	思考练习题	206

第二篇 应用实例篇

第 5 章	曲面造型设计实例	209
5.1	菜碟设计	209
5.1.1	菜碟设计综述	209
5.1.2	菜碟模型的创建过程	210
5.2	太极鱼设计	216
5.2.1	太极鱼设计综述	217
5.2.2	太极鱼的创建过程	217
5.3	显示器外壳造型设计	226
5.3.1	显示器外壳造型设计综述	226
5.3.2	显示器外壳的创建过程	226
5.4	手镯的造型设计	241
5.4.1	手镯设计综述	241
5.4.2	手镯模型的创建过程	241
5.5	花篮的设计	248
5.5.1	花篮设计综述	248
5.5.2	花篮的设计过程	248

5.6 沐浴露瓶的造型设计	276
5.6.1 沐浴露瓶设计综述	276
5.6.2 沐浴露瓶模型的创建过程	276
5.7 淋浴喷头的造型设计	294
5.7.1 淋浴喷头设计综述	294
5.7.2 淋浴喷头模型的创建过程	294
5.8 世界杯足球的造型设计	318
5.8.1 足球设计的综述	318
5.8.2 足球模型的创建过程	319
5.9 玫瑰花设计	338
5.9.1 玫瑰花设计综述	338
5.9.2 玫瑰花模型的创建过程	339
5.10 卡通玩具的造型设计	352
5.10.1 卡通玩具设计综述	352
5.10.2 卡通模型创建过程	353
5.11 小结	382
思考练习题	382
第6章 拖拉机覆盖件的逆向设计	383
6.1 拖拉机的覆盖件逆向设计综述	383
6.1.1 拖拉机覆盖件的逆向设计背景	383
6.1.2 拖拉机覆盖件的逆向开发流程	384
6.2 拖拉机的前机罩逆向设计	386
6.2.1 输入前机罩的曲面点云	386
6.2.2 编辑点云	387
6.2.3 曲线、曲面的创建	392
6.2.4 曲面的质量分析	406
6.3 拖拉机轮罩的逆向设计	409
6.3.1 输入拖拉机轮罩的曲面点云	409
6.3.2 编辑点云	411
6.3.3 曲面重构	413
6.3.4 拖拉机轮罩曲面质量分析	448
6.3.5 拖拉机轮罩实体化	449
6.4 小结	450
思考练习题	452
第7章 柴油机排气道的逆向设计	453

7.1 柴油机排气道的逆向设计概述	453
7.1.1 工程背景	453
7.1.2 柴油机排气道曲面的分块	454
7.1.3 柴油机排气道逆向设计的技术要求	454
7.2 柴油机排气道的逆向设计的具体步骤	454
7.2.1 输入及编辑排气道曲面点云	454
7.2.2 排气道的曲面重构	457
7.3 小结	500
思考练习题	501
参考文献	502
思考练习题答案	503

第一篇 基础教程篇

第 1 章 CAD 技术发展史

随着综合国力的进一步增强和加入世界贸易组织,我国已逐步成为全球制造业的中心,并与国际制造业市场接轨,但目前我国制造业在技术含量和生产附加值较高的产品方面仍缺乏国际竞争力。我国政府已经提出信息化带动工业化的战略构想,CAD 技术作为信息技术的一个组成部分,是促进新技术的开发和转化、实现设计自动化、降低消耗、缩短新产品开发以及工程建设周期、大幅度提高劳动生产率的重要手段,是制造企业提高自主开发能力和管理水平、参与国际合作和竞争的重要条件,是制造业信息化的源头,也是进一步向计算机集成制造系统发展的重要基础。

1.1 CAD 技术的发展阶段

从 CAD 技术发展史来看,CAD 三维造型技术的发展经历了线框造型、曲面造型、实体造型、参数化造型及变量化造型技术五个阶段^[1]。下面对这五个阶段分别加以介绍。

1. 线框造型阶段

在 20 世纪 50 年代后期,计算机技术的发展提高了计算机绘图的可行性。计算机绘图技术的出发点是以电子图纸为媒介,利用计算机绘图来摆脱烦琐、费事、绘制精度低的手工绘图,是二维计算机绘图技术的起源。

在此阶段,CAD 的含义仅仅为计算机辅助绘图(Computer Aided Drawing),利用传统的三视图方法来表达零件,而非现在所讲的计算机辅助设计(Computer Aided Design)。

二维 CAD 系统具有较好的二维表达功能,如绘图时编辑剖面线和图案绘制、尺寸标注以及二次开发等,可以帮助设计人员把图纸绘制规范、漂亮,在提高绘图效率的同时,便于图纸以后的修改及管理,因此二维计算机绘图技术得以迅速发展。

以二维计算机绘图技术为主要目标的算法在 20 世纪 70 年代末期基本发展成熟,其后作为 CAD 技术的一个分支平稳的发展起来。

2. 曲面造型阶段

二维图纸很难描绘三维空间机构的运动以及检查产品的装配干涉问题。采用二维设计模式时,一般是在对产品进行试装、调试时才发现干涉或设计不合理等现

象,在设计早期很难全面考虑整机的要求,因而导致设计修改工作量大、产品开发周期长、成本高等设计缺陷。

进入 20 世纪 70 年代,在飞机及汽车等制造业中遇到了大量的自由曲面的问题,当时只能采用多截面视图、特征纬线的方法来近似表示所设计的曲面。由于曲面造型是利用各种特征面来描述曲面的,如平面、圆柱面、旋转面等,三视图的方法不能完整的表达零件的信息,因而按设计图纸制作出来的样品与设计者所想象的有很大差异。法国的达索飞机制造公司率先推出了三维造型系统 CATIA,该系统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,首次实现以计算机来完整描述产品零件的主要信息,同时也使得 CAM 技术的发展有了实现的基础。

以曲面造型系统为代表的技术革新,使汽车开发的手段与传统的设计模式相比有了质的飞跃,新车型的开发速度大幅度提高。

3. 实体造型阶段

与线框模型和曲面模型相比,实体模型是最为完善的一种几何模型。采用这种模型,可以从 CAD 系统中得到工程应用所需要的各种信息,并将其用于 NC 编程、空气动力学分析、有限元分析等。SDRC 公司基于对 CAD/CAM 一体化技术的探索,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。实体造型技术能够精确表达零件的全部属性,在理论上有利于统一 CAD、CAE、CAM 的模型表达,给设计者带来了很大的方便。

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,在实际应用中用于设计有点勉强,实体造型技术也没能推广开。推动此次革命的 SDRC 公司失去了一次飞跃的机会,在以后的 10 年里,随着计算机硬件性能的提高,实体造型技术又为众多的 CAD 系统所采用。一直对曲面算法进行探索的 CV 公司首先取得了突破进展,提出了集成各种软件为企业提供全方位解决方案的思路,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,成为 CAD 领域的领导者,市场份额迅速得以上升。

4. 参数化造型阶段

如将过去的造型技术称为无约束的自由造型的话,20 世纪 80 年代中期,CV 公司的技术人员提出的更新颖、更高效的参数化三维实体造型方法可称为参数化实体造型。三维实体造型采用参数化设计,与传统的方法相比,其最大的不同点在于它存储了设计的整个过程。变化一个参数值时,无论是在三维造型上,还是在与之相关的二维工程图上修改,结果是相同的,都会引起三维模型和二维相关图线的重新生成。如配合力学分析的结果,这种更新和修改会更加可靠有效。这一点在

零件改型或尺寸变动时特别有用,可以通过调整参数来修改和控制几何形状,自动实现产品的精确造型。

由于参数化设计技术的核心算法与以往的系统有着本质的差别,若采用参数化技术,必须重新改写以往的CAD软件,投资及开发工作量必然很大。而当时市场上自由曲面的CAD设计需求量非常大,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),考虑到这些问题,CV公司内部否决了参数化技术方案。而公司内部主张参数化技术的技术人员在新思想无法实现时,集体离开了CV公司,另成立了参数技术公司(Parametric Technology Corp.,PTC),开始研制命名为Pro/E(Pro/Engineer)的参数化软件,Pro/E最大的特点:一是它具有参数化、特征化定义实体造型的功能,可以给设计者提供设计上简易和灵活性;二是它采用单一数据库的设计,是一种全相关性的软件,即Pro/E中所有的模块完全互相连接,设计者在任何时候所做的修改都会扩展到整个设计中,自动修改所有的二维与三维尺寸,保证了数据的正确性,可以避免反复修改的麻烦,并在Pro/E中能直接由三维模型生成二维工程图。早期的Pro/E软件性能较低,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的技术,使人们看到了它的使用优势。

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,很多中小型企业也开始有能力使用CAD技术。由于中小型企业用于产品设计的工作量不大,零件形状也不复杂,更重要的是它们无钱投资大型高档软件,因此它们很自然地目光投向了中低档的Pro/E软件。PTC公司一举打入这块市场,获得了巨大的成功。进入90年代,参数化技术变得成熟起来,充分体现出其通用件、零部件设计上存在的简便易行优势。

5. 变量化造型阶段

参数化三维设计技术也存在许多不足之处,最主要的是全尺寸约束功能。参数化技术必须要求全尺寸约束,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(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。再一个是拓扑关系的依附性,即参数化技术使每对“父子”特征之间产生了强大的依附性,这使得在一些简单零件设计中修改十分方便,但对于复杂零件,在设计中若某些形体的拓扑关系发生改变,往往会使某些几何特征失去约束,造成系统数据混乱,从而造成修改的失败,这反而会给设计者带来麻烦。

根据参数化技术存在的不足,SDRC公司提出了一种比参数化技术更先进的实体造型技术,即变量化技术。变量化技术扩展了变量化产品的结构,允许用户对

一个完整的三维产品从几何造型、设计过程、特征到设计约束,都可以实时直接操作,能保留每一个中间结果以备反复使用或优化设计时使用。采用变量化技术,完全符合设计人员进行机构设计和工艺设计这一习惯,使得设计人员的设计工作更加方便。变量化技术为用户提出了一种交互操作模型的三维环境,在可编辑性及易编辑性方面得到极大的改善和提高。当用户准备作预期模型修改时,不必深入理解和查询设计过程。用户在一个主模型中,就可以实现动态的捕捉设计、分析和制造等意图。

CAD 技术的发展史,可以说是 CAD 软件的发展史,CAD 技术的发展不断推动着 CAD 软件的发展。但 CAD 软件的发展并非只是 CAD 技术的发展,CAD 软件包含的不仅是技术的先进性,还包含了许多其他因素,如市场的定位及销售、功能的实用性等。CATIA 是基于曲面造型的,其核心算法并没有实质性的改变,但现阶段却因其功能强大而依然高居 CAD 软件榜首。

1.2 选择 CAD 软件的注意事项

工程技术人员在选用 CAD 软件时,首先应广泛了解和对比各种软件性能及价格。每一种软件都有自己的优点和不足之处,最适用的软件才是最好的,应以满足需要为前提,除价格因素外,应考虑以下几方面的问题。

1. 操作使用方便

首先应注意软件对操作系统及计算机硬件的要求,能否直接运行于普通配置的微机上,需要增加哪些专用配件等;其次再检查软件的各个子系统,如界面设计是否符合逻辑和便于阅读、各级子菜单如何管理和显示、用户如何与系统交流等。一个好的软件还应便于初学者掌握,操作简便实用,一般应包含供初学者使用的学习模块和及时帮助系统。

2. 利于工程数据管理

一个完整的 CAD 软件系统是由多个功能模块组成的,如三维绘图、图形编辑、曲面造型、数控加工、有限元分析、仿真模拟、动态显示等。这些模块应该以工程数据库为基础,进行统一管理。这样既保持了底层数据的完整性和一致性,实现了数据共享,又节约了系统资源和运行时间。有些 CAD 软件则以文件管理为基础,导致数据冗余度大,占用存储空间大,缺乏数据安全保护措施,不利于工程数据管理。

3. 高效

优秀的 CAD 系统是一个高效设计工具,应具有参数化设计功能,三维实体模