



- 国内一流大学、汽研院所机械(汽车)专业资深教师、工程技术人员合力编著的权威之作
- 全书通俗易懂、精心设计的实例翔实可靠, 300多实例涵盖了全部常用知识点
- 内容体系完整, 知识循序渐进, 功能讲解详尽、图文并茂, 便于系统学习
- 迄今, 市面体系最完整、知识最深入的CATIA V5学习教程, 适合不同层次的读者学习及培训使用
- 随书附赠光盘, 提供所有实例的源文件, 供使用者学习模拟

CATIA V5

机械(汽车)产品CAD/CAE/CAM

全精通教程

◎ 王登峰 黄 博 等编著



人民交通出版社

China Communications Press

U462-39

10

2007

CATIA V5

机械(汽车)产品 CAD/CAE/CAM

全精通教程

王登峰 黄博 等 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

本书力求系统、透彻地讲解 CATIA 产品设计、分析、制造方面的常用模块,由浅入深地阐述了:CATIA 软件特性;产品 2D 剖面设计、3D 零件设计、装配件设计、工程图、钣金件设计;创成式曲面设计;自由造型、逆向工程设计、快速曲面重建、汽车 A 级曲面;零部件有限元分析、装配件有限元分析、模态分析;DMU 数字化样机、运动学模拟、人体工程学分析;2.5 轴铣加工、曲面加工、快速成型等知识。全方位帮助读者系统地提升 CATIA 综合运用能力。

本书适合:CATIA V5 初学者;产品设计、工程分析、CAM 工程师;机械类专业本科生、研究生;CATIA 培训班师生;CATIA 深入学习读者使用。

光盘使用指南

本书附赠的光盘中提供了所有实例的源文件。将这些源文件拷贝至硬盘,然后去掉其“只读”属性即可利用 CATIA 打开操作并修改。源文件只能在 CATIA V5 R14 以上版本打开。

图书在版编目(CIP)数据

CATIA V5 机械(汽车)产品 CAD/CAE/CAM 全精通教程/
王登峰等编著. —北京:人民交通出版社, 2007.3
ISBN 978-7-114-06444-9

I .C... II .王... III .汽车-计算机辅助设计-应用软件, CATIA V5 IV .U462-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 032701 号

CATIA V5 Jixie (Qiche)Chanpin CAD/CAE/CAM Quanjingtong Jiaocheng

书 名: CATIA V5 机械(汽车)产品 CAD/CAE/CAM 全精通教程

著 作 者: 王登峰 黄 博 等

责任编辑: 张 森

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpres.com.cn>

销售电话: (010)85285838,85285995

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 37

字 数: 920 千

版 次: 2007 年 4 月 第 1 版

印 次: 2007 年 4 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-06444-9

印 数: 0001—3000 册

定 价: 69.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书,由本社负责调换)

作者名单

主 编 王登峰 (吉林大学)
副主编 黄 博 (哈尔滨工业大学)

参 编 (排名不分前后)
王登峰 (吉林大学)
陈 鑫 (吉林大学)
杨昌海 (吉林大学)
靳春宁 (吉林大学)
陈 静 (吉林大学)
黄 博 (哈尔滨工业大学)
王剑峰 (哈尔滨工业大学)
白 欣 (哈尔滨工业大学)
姚玉峰 (哈尔滨工业大学)
黄亚莲 (中国一汽集团汽车技术研究中心)
齐 靖 (中国一汽集团汽车技术研究中心)
殷金祥 (上海交通大学)
罗爱辉 (上海交通大学)
沈利冰 (上海交通大学)
李 香 (哈尔滨工程大学)

主 审 王登峰 (吉林大学)
黄 博 (哈尔滨工业大学)

编写策划 张 森 (人民交通出版社)
张 俐 (北京航空航天大学)
陈效华 (南京理工大学)

前 言

CATIA 是法国达索公司开发的 CAD/CAE/CAM/PDM 集成化高端应用系统,在计算机辅助设计集成化平台领域处于领导地位。CATIA 起源于航空工业,专长复杂模型设计,被广泛应用于航空航天、汽车制造、造船、机械制造、电子电器以及消费品行业,其集成化的解决方案基本覆盖了所有的产品设计、分析与制造领域,能很好地满足工业领域中各类企业的数字化设计需求,包括工业设计、机械设计、机构仿真、工程分析、NC 加工、产品数据管理等。

近年来,CATIA 软件加大了国内的推广力度,已逐步占领了我国各大汽车制造企业的市场,正在成为国内汽车制造企业的主导 CAD 软件。

鉴于国内许多汽车产品配套企业以及机械(汽车)专业师生不断高涨的学习热情,特组织吉林大学、哈尔滨工业大学、上海交通大学、哈尔滨工程大学、南京理工大学、北京航空航天大学及中国一汽集团汽车技术研究中心的资深教师、工程技术人员精心编著了这本精通教程。

- 本书的读者对象

本书力求系统、透彻地讲解 CATIA 产品设计、分析、制造方面的常用模块,立足于 CATIA 市场主流 V5 R14 以上版本,从定位上顾及不同层次的读者,既能让初学者跟随本书的讲解轻松上手,更能让已经具有中高级水平的读者深入系统地学习达到精通水平。

- 本书特点

全书体系完整、内容循序渐进、功能讲解详尽,图文并茂、通俗易懂。精心设计的 300 来个实例涵括 CATIA 所有常用模块和功能。由国内一流大学、知名院所机械(汽车)类专业的博导、教授、工程技术人员等资深 CAD 高手精心编著,是目前市面上体系最完整、知识层次最深入的 CATIA 学习帮手。

- 本书内容

一般来说,用户使用 CATIA 需要进行产品创意设计、工程分析、生成工程图或者编制 CAM 数控程序。本书深入系统地阐述了这些工作的绝大部分知识和要领。

第一章 数学模型基础:简要地阐述了 CAD 技术的发展历程、造型技术的发展趋势,且阐明了常用曲线曲面的性质,奠定读者曲线曲面操作的理论基础。

第二章 CATIA 概述:展示了 CATIA 软件的功能模块及应用方式、CATIA 混合建模的特性、产品模型操控的基本技巧、CATIA 工作环境的使用及设置。引领读者步入 CATIA 软件之门。

第三章 CATIA 机械设计:系统地阐述了 CATIA 机械设计的常规功能,由剖面草绘设计入手,逐步展开零件设计模块、产品装配件设计模块、二维工程图模块、钣金件设计模块等深入系统的学习。

第四章 外形设计和曲面造型:复杂模型的设计往往需要新颖的曲线曲面创意,这是常规机械设计模块所很难企及的,这一章详尽地阐述了 CATIA 创成式曲面设计模块、自由造型模块、逆向数字外形编辑模块、快速曲面重建及汽车 A 级曲面模块的使用,帮助读者系统学习复杂模型的构建。

第五章 工程分析:细致的工程分析是产品设计的重要环节,本章以实例形式清晰地讲授

了 CATIA 支持的所有工程分析类型,由浅入深地引导读者掌握静态分析、屈曲分析、频率分析、组合案例分析、装配件分析、动/静态响应分析等。

第六章 数字化样机与人体工程学:产品的数字化样机能够提前预知设计问题,有利于加速产品设计和降低成本;机械产品的人机工程性能也将很大程度影响产品的实用性。本章讲授了 CATIA DMU 空间分析、机构运动仿真功能;人机工程学分析等功能。

第七章 数控加工技术:本章以入门实例引导读者步入 CAM 设计,然后系统地阐述数控加工基本设置,并重点阐述了三个常用模块:2.5 轴铣加工、曲面加工、快速成型。

第八章 汽车零部件设计综合实例:以汽车等速驱动轴的所有部件设计实例阐述了机械设计模块的综合运用;同时以车门的点云数据为基础展开逆向车门外形设计,然后辅以内板结构设计完成车门设计实例并声称二维工程图。

作 者

2007 年 3 月

目 录

第1章 数学模型基础	1
1.1 CAD 中数学模型简介	1
1.1.1 线框模型	1
1.1.2 曲面模型	1
1.1.3 实体模型	2
1.1.4 特征模型	2
1.1.5 参数化模型	3
1.1.6 变量化模型	3
1.2 Bezier 曲线曲面	4
1.2.1 Bezier 曲线	4
1.2.2 Bezier 曲面	5
1.3 B 样条曲线曲面	6
1.3.1 B 样条曲线	6
1.3.2 B 样条曲面	7
1.4 NURBS 曲线曲面	8
1.4.1 NURBS 曲线曲面的定义	9
1.4.2 有理基函数的性质	9
1.4.3 NURBS 曲线曲面的性质特点	10
1.5 曲线曲面的编辑与光顺	10
1.5.1 B 样条曲线曲面的编辑	10
1.5.2 B 样条曲线曲面的光顺	11
1.6 本章小结	13
第2章 CATIA 概述	14
2.1 CATIA 软件系统特点	14
2.1.1 典型应用	14
2.1.2 发展历程	15
2.1.3 软件的技术特点	16
2.2 CATIA 功能模块简介	17
2.2.1 机械设计模块组	17
2.2.2 曲面造型模块组	20
2.2.3 分析与仿真模块组	21
2.2.4 数控加工模块组	22
2.2.5 其他功能模块	23
2.3 CATIA 文档(File)及其基本操作	24
2.3.1 文件类型及多文档支持	25

2.3.2	文件新建	26
2.3.3	文件的保存及数据交换	26
2.3.4	文档在多工作台 Workbench 之间切换操作	28
2.4	CATIA 的模型操控	28
2.4.1	鼠标操控	28
2.4.2	模型树(Specification Tree)	29
2.4.3	罗盘	33
2.4.4	对象/操作和操作/对象(Object/Action & Action/Object)	36
2.4.5	拷贝粘贴和拖放操作(Copy/Paste & Drag/Drop)	36
2.4.6	扫描或定义工作对象(Scan or Define Work Object)	37
2.4.7	搜索(Search)	37
2.5	视图(View)菜单及工具栏(Toolbars)	38
2.5.1	标准(Standard)工具条	38
2.5.2	选择(Select)工具条	39
2.5.3	视图(View)工具条	39
2.5.4	智能(Knowledge)工具条	42
2.5.5	选择集(Selection Set)工具条	45
2.5.6	命令列表(Command List)	46
2.5.7	几何图形、模型树、罗盘的可见性操作	46
2.5.8	光照	47
2.5.9	地线	47
2.6	工具(Tools)菜单	48
2.6.1	图像及视频捕捉	48
2.6.2	带过滤器的显示/隐藏	48
2.6.3	定制(Customize)工作台	49
2.6.4	选项(Options)菜单设置工作环境	51
2.7	本章小结	56
第3章	CATIA 机械设计	58
3.1	草绘(Sketcher)	58
3.1.1	草绘工作台(Workbench)	58
3.1.2	草绘简单截面(Sketching Simple Geometry)	61
3.1.3	草图编辑与修改(Operations)	73
3.1.4	三维形体投影(3D Geometry)	79
3.1.5	草图约束(Constraints)	80
3.1.6	剖面绘制综合实例	83
3.2	零件设计(Part Design)	90
3.2.1	零件设计界面和工作台(Workbench)	90
3.2.2	基于草绘的特征(Sketch-Based Features)	91
3.2.3	修饰特征(Dress-Up Features)	103
3.2.4	基于曲面的特征(Surface-Based Features)	112

3.2.5	特征转换(Transformation Features)	114
3.2.6	零件修改(Edit)	120
3.2.7	约束(Constraints)	121
3.2.8	注释(Annotations)	123
3.2.9	体运算(Body)	124
3.2.10	强力复制(PowerCopy)	128
3.2.11	汽车零件实例	130
3.3	CATIA 装配模块(Assembly Design)	132
3.3.1	装配设计入门实例	134
3.3.2	装配工作台环境设置	141
3.3.3	部件(或库内标准件)的载入及新建	143
3.3.4	装配件的结构体系	145
3.3.5	约束的设置及编辑	146
3.3.6	零部件的操作	153
3.3.7	装配件的分析	156
3.3.8	Top-Down 设计理念	160
3.3.9	Move 工具条及场景	166
3.3.10	公开发表(Publication)	168
3.3.11	生成 BoM 报告	171
3.3.12	小结	172
3.4	工程绘图	172
3.4.1	产品介绍	172
3.4.2	工程图纸(Drawing)	172
3.4.3	图标功能介绍(基本概念、基本界面介绍)	175
3.4.4	绘图	178
3.4.5	标注尺寸(Dimensioning)	186
3.4.6	尺寸生成(Generation)	191
3.4.7	注释(Annotations)	194
3.4.8	修饰(Dress up)	197
3.4.9	汽车工程图纸实例	198
3.5	钣金设计	201
3.5.1	参数设置	201
3.5.2	钣金成型	204
3.5.3	钣金折弯	210
3.5.4	扫掠弯边	214
3.5.5	钣金冲压	216
3.5.6	钣金特征	224
第4章	外形设计和曲面造型	233
4.1	创成式曲面设计平台(Generative Shape Design)	233
4.1.1	生成线框几何(Creating Wireframe Geometry)	234

4.1.2	生成曲面(Creating Surfaces)	247
4.1.3	几何外形操作(Performing Operations on Shape Geometry)	259
4.1.4	线框和曲面编辑(Editing Surfaces and Wireframe Geometry)	271
4.1.5	生成参数化曲线(Creating a Parameterized Curve)	273
4.1.6	阵列(Pattern)	274
4.1.7	强力复制(Powercopy Creation)	276
4.2	自由造型(Free Style)	278
4.2.1	曲线(Creating and Managing Curves)	278
4.2.2	曲面(Surface Creation)	283
4.2.3	分析曲线和曲面(Analyzing Curves & Surfaces)	291
4.2.4	自由造型优化(FreeStyle Optimizer)	299
4.2.5	自由造型与优化的协同操作(Interoperability FreeStyle & Optimizer)	301
4.2.6	仿形自由造型	304
4.3	数字外形编辑器(Digital Shape Editor)	306
4.3.1	点云文件的导入(Import Files)及导出(Export Files)	306
4.3.2	点云编辑	309
4.3.3	点云定位(Align)	312
4.3.4	点云的网格化及相关操作	314
4.3.5	点云操作(Operation)	318
4.3.6	生成 scans(Scan Creation)	320
4.3.7	曲线生成	324
4.3.8	点云显示(Cloud Display)	326
4.4	快速曲面重建(Quick Surface Reconstruction)	327
4.4.1	生成轮廓线(Contour Creation)	327
4.4.2	曲面重建(Surface Creation)	329
4.4.3	分割(Segmentation)	333
4.5	汽车 A 级曲面(Automotive Class A)	335
4.5.1	生成曲线(Creating Curves)	335
4.5.2	生成曲面(Creating Surfaces)	337
4.5.3	修改曲线曲面(Modifying Curves and Surfaces)	340
4.5.4	分析曲面(Analyzing Surfaces)	342
4.5.5	外形优化(Shape Optimizer)	345
4.6	应用实例	349
第 5 章	工程分析	352
5.1	GPS 入门实例	352
5.2	前处理(Preprocessing)	357
5.2.1	网格划分(Meshing Parts)	357
5.2.2	虚拟零件(Virtual Part)	358
5.2.3	定义约束(Restraints)	361
5.2.4	定义载荷(Loads)	363

5.2.5 类型组 (Group)	366
5.3 求解和后处理 (Computation & Post Processing)	367
5.3.1 求解	367
5.3.2 后处理	368
5.4 CATIA 的分析类型	371
5.4.1 屈曲分析 (Buckling Analysis)	371
5.4.2 频率分析 (Frequency Analysis)	372
5.4.3 组合分析案例 (Combined Case)	374
5.4.4 动态响应分析 (Dynamic Response Case)	375
5.4.5 静约束模态 (Static Constrained Analysis)	378
5.5 装配件有限元分析 GAS 简介	378
5.5.1 创建连接关系	379
5.5.2 创建连接特性	379
5.5.3 装配件分析实例	382
5.6 汽车零件分析实例	388
5.6.1 静态分析实例 (连杆)	388
5.6.2 模态分析实例 (曲轴)	394
5.7 本章小结	399
第 6 章 数字化样机与人体工程学	400
6.1 DMU 导航器	400
6.1.1 进入 DMU 导航器模块	400
6.1.2 建立 Review	401
6.1.3 建立 Annotated View	401
6.1.4 生成注释文字 3D Annotation	403
6.1.5 生成超级链接 (Hyperlink)	403
6.1.6 生成组 (Group)	404
6.1.7 生成 (Enhanced Scene)	405
6.1.8 生成演示 (Presentation)	406
6.1.9 断面分析 (Sectioning)	406
6.2 DMU 空间分析 (DMU Space Analysis)	408
6.2.1 进入 DMU 空间分析界面	408
6.2.2 最小距离测定 (Measuring Minimum Distances)	409
6.2.3 断面分析 (Sectioning)	411
6.2.4 冲突检测 (Detecting Clashes)	411
6.2.5 距离测定功能 (Measure Between)	411
6.3 DMU 运动机构模拟 (DMU Kinematics)	413
6.3.1 进入 DMU 运动机构模拟 (DMU Kinematics)	413
6.3.2 创建运动机构及运动副	413
6.3.3 定义命令	417
6.3.4 定义固定部件	418

6.3.5	机构运动模拟	418
6.3.6	记录运动仿真	419
6.3.7	定义重放	419
6.3.8	重放模拟	420
6.3.9	干涉检查	420
6.3.10	轨迹	421
6.3.11	扫掠体	421
6.3.12	汽车应用实例	421
6.4	人体构建 (Human Builder) 模块	424
6.4.1	进入人体构建模块	425
6.4.2	加入人体 (New Manikin)	425
6.4.3	正向运动功能 (Forward Kinematics)	426
6.4.4	姿态编辑器 (Posture Editor)	427
6.4.5	操作者逆向运动 (Inverse Kinematics (IK) Worker Frame Mode)	427
6.5	人体尺寸编辑 (Human Measurement Edit)	428
6.5.1	进入人体尺寸编辑 (Human Measurement Editor) 模块	428
6.5.2	更改人体性别	429
6.5.3	人体尺寸编辑	429
6.5.4	控制人体尺寸显示的滤波器 (Anthropometric Filter)	429
6.5.5	控制人体模型的显示 (Display)	430
6.5.6	退出人体尺寸编辑模块	430
6.6	人体姿态分析 (Human Posture Analysis)	431
6.6.1	进入人体姿态分析 (Human Posture Analysis)	432
6.6.2	手伸及界面的确定 (Computer a reach envelop)	432
6.6.3	视野分析 (Open Vision Window)	432
6.7	汽车应用实例	434
6.7.1	模型准备	434
6.7.2	生成装配模型	434
6.7.3	断面分析 (sectioning)	435
6.7.4	人体模型加入	437
6.7.5	人体模型定位	437
6.7.6	人体姿态的调整	437
6.7.7	视野分析	437
6.7.8	手伸及界面的确定	439
6.8	本章小结	439
第7章	数控加工技术	440
7.1	入门实例	440
7.2	数控加工基本设置	446
7.2.1	进入加工模块	446
7.2.2	特征树结构	446

7.2.3	定义零件操作	446
7.2.4	加工操作管理	448
7.2.5	刀具管理	449
7.2.6	进退刀设置	451
7.2.7	刀路仿真与切削检验	455
7.2.8	后处理	456
7.3	2.5 轴铣加工(Prismatic Machining)	458
7.3.1	平面铣削加工(Facing)	458
7.3.2	型腔铣削(Pocketing)	463
7.3.3	轮廓铣削(Profile Contouring)	470
7.3.4	曲线铣削(Curve Following)	476
7.3.5	凹槽铣削(Groove Milling)	477
7.3.6	点到点铣削(Point to Point)	478
7.3.7	粗加工(Prismatic Roughing)	481
7.3.8	钻孔加工(Drilling)	482
7.3.9	应用实例	484
7.4	曲面加工	490
7.4.1	面向加工基本操作	491
7.4.2	加工区域定义基本操作	517
7.4.3	综合应用实例	523
7.5	快速成型(STL Rapid Prototyping)	528
7.5.1	命令简介	528
7.5.2	应用实例	541
第8章	汽车零部件设计综合应用实例	545
8.1	汽车等速驱动轴设计实例	545
8.1.1	滚针设计	545
8.1.2	球环设计	545
8.1.3	弹性挡圈设计	546
8.1.4	轴体设计	548
8.1.5	三枢轴设计	548
8.1.6	三柱槽壳设计	550
8.1.7	钢球设计	551
8.1.8	钢球保持架(球笼)设计	551
8.1.9	星形架设计	552
8.1.10	钟形壳设计	552
8.1.11	滚针外挡圈设计	553
8.1.12	装配	554
8.2	车门板件结构设计	556
8.2.1	结构设计	556
8.2.2	制作二维工程图	561

第 1 章 数学模型基础

CAD 技术起源于航空业,现在广泛应用于汽车行业,正是由于飞机、汽车的外形复杂,含有大量的自由曲面,因此 CAD 技术一开始就与自由曲线曲面造型技术紧密相连。1963 年,美国麻省理工学院(MIT)的研究生 Sutherlands 在美国计算机联合会的年会上发表了《SKETCH-PAD-A》论文,首次提出了计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)的概念,揭开了对 CAD 系统开发的序幕。许多年来,人们不断探索方便、灵活、实用的曲线曲面造型构造方法。从提出样条函数至今 50 年间,曲线曲面造型经历了参数样条方法、Coons 曲面、Bezier 曲线曲面和 B 样条,形成了以有理 B 样条曲面(Rational B-spline Surface)参数化特征设计和隐式代数曲面(Implicit Algebraic Surface)表示这两类方法为主体,以插值(Interpolation)、拟合(Fitting)、逼近(Approximation)这 3 种手段为骨架的几何理论体系。

1.1 CAD 中数学模型简介

自 20 世纪 60 年代 CAD 技术诞生以来,经过几十年的飞速发展, CAD 的应用领域已从早期的计算机辅助设计和印刷电路板设计,逐步扩展到飞机、汽车、轮船、机械、建筑、家具和服装等行业。CAD 几何模型也经历了线框模型、曲面模型、实体模型、特征模型、参数化模型、变量化模型以及现今以网络化为中心的数学模型等不同阶段,各种数学模型在今天的 CAD 系统中相互补充,相得益彰。现对其作简略介绍。

1.1.1 线框模型

线框模型是以点、直线及圆弧等几何元素来表示三维物体几何形状模型。它是 CAD 中最早用来表示几何形体轮廓的模型,其优点在于:造型简单,数据存储量小,操作灵活,响应速度快,是进一步构造曲面模型和实体模型的基础。但这种造型方法不能无二义性的表达三维物体,无法实现图形的自动消隐,剖切,明暗处理,干涉检测等操作。如图 1-1 所示的曲面线框模型,从线框很难辨别曲线内部的具体形状。



图 1-1 曲面线框模型

1.1.2 曲面模型

曲面模型是以自由曲线为基础构造复杂几何形状模型。它能够进行图形消隐和真实感显示,被广泛应用于飞机、汽车、造船等含有不规则曲面的行业。但曲面造型没有明确地定义三维形体的实心部分,单纯的曲面模型无法提供曲面之间的相关信息,因此适用于包含复杂曲面零件的局部外形设计,不适用于大量普通机械零件的整体外形设计。这种造型方法常用在飞机和汽车车身设计中,特别是含有大量形状复杂薄板件的汽车车身零件,用曲面模型来表达

显得方便快捷,如图 1-2 所示的是用曲面造型方法所得的是某车身侧围焊接板。

1.1.3 实体模型

实体模型是用于定义产品的几何形状与尺寸,反映产品的完整三维几何与拓扑信息的模型。与线框模型和曲面模型相比,实体模型避免了形体表示的歧义性。实体模型最常用的两种表示方法为:边界表示(B-rep)和构造实体几何(Constructed Solid Geometry, CSG)。边界模型以显式方式存储组成形体的面、边、点的几何信息和反映面、边、点关系的拓扑结构信息。CSG 模型存储的是反映体素构造过程的隐匿信息。实体模型反映形体的几何与拓扑信息虽然是完整的,但在 CAD/CAM 集成方面具有明显不足。它缺乏特征关系表达式信息,不支持概念设计等。图 1-3 所示的就是用实体造型方法所得的某车轮胎,由图可见实体模型能反映产品的完整的三维几何与拓扑信息。

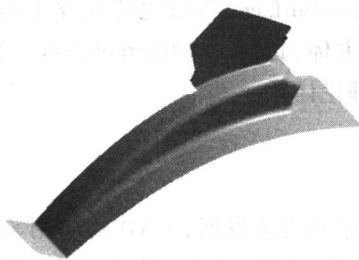


图 1-2 车身侧围焊接板曲面模型

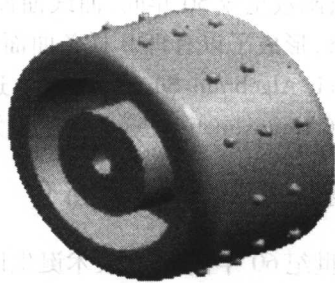


图 1-3 轮胎实体模型

1.1.4 特征模型

特征的概念首次是麻省理工学院于 1978 年提出的,特征模型是建立在实体造型技术之上的一种更高层次的造型技术。它是在形状特征、材料特征、工艺特征和精度特征的基础上,面向整个设计、生产制造和管理过程,改变了几何形状和加工工艺管理信息间的相互分离,资源不能共享的局面。在特征模型中,设计人员的操作对象不再是原始的线条和体素,而是产品的功能要素:如螺纹孔、定位孔、键槽、加强筋以及曲面特征等。这使得产品的外形设计与实际加工、分析、工艺准备等能更紧密地结合在一起。特征造型目前已在各种造型软件中得到广泛应用,如图 1-4 所示,分别是 CATIA 和 UG 中用来进行特征造型的部分功能,应用这些功能,可以方便地实现如螺纹孔、定位孔、键槽和加强筋等特征设计。

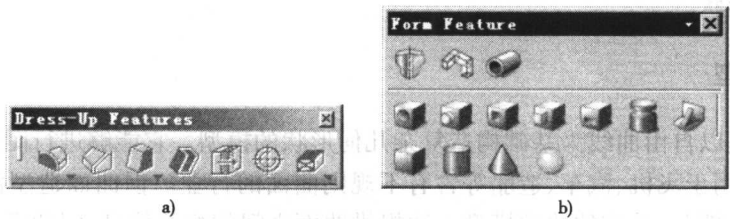


图 1-4 CAD 软件中的特征造型功能

a) CATIA 中特征造型功能; b) UG 中特征造型功能

1.1.5 参数化模型

参数化模型是采用预定义的方法建立图形的几何约束集,指定一组尺寸作为参数与几何约束集相关联,并将所有的关联式融入到应用程序中,然后采用人机交互方式通过对话框修改尺寸,最终由程序根据这些参数顺序地执行表达式来实现的几何模型。参数化设计极大地改善了图形的修改手段,提高了设计的柔性,在概念设计、动态设计、实体造型、装配、公差分析与综合、机构仿真、结构修改和优化设计等领域发挥着越来越大的作用,体现出很高的应用价值。目前,参数化设计在理论上已形成了几种求解方法,如基于几何约束的变量几何法;基于几何推理的人工智能法;基于构造过程的方法以及基于辅助线的方法等。现今的大部分 CAD 软件都能实现的产品的参数化建模,图 1-6 所示是车身的支撑板,由于支撑板的结构经常随着相关件的设计要求而变动,为了避免重复建模,增加设计的柔性,这里可采用参数化建模技术,将可能需要改变的尺寸要素设为可变参数;图 1-5 所示是 CATIA 中设置参数的对话框,利用它可方便地实现零件的参数化建模。图 1-6b) 所示的零件就是由图 1-6a) 所示的零件,利用参数改变不需要重新建模,直接得到的结果。

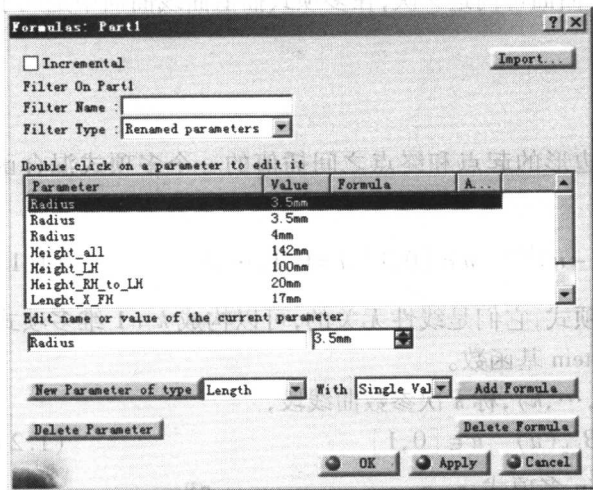


图 1-5 CATIA 中参数设置的对话框

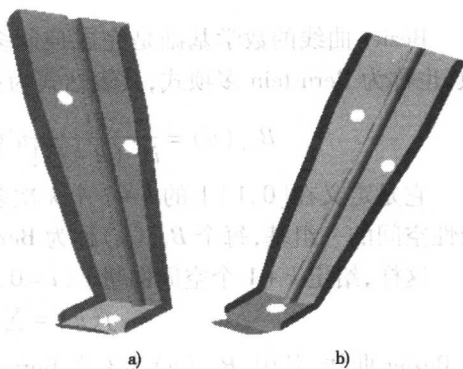


图 1-6 前围支撑板

a) 参数改变前的状态;b) 参数改变后的状态

1.1.6 变量化模型

变量化模型技术是在参数化的基础上做了进一步改进后提出的设计思想。设计者可以采用先绘制实体形状后给出尺寸的设计方式,允许采用不完全尺寸约束。它充分利用了形状约束和尺寸约束分开处理,无需全约束的灵活性。变量化技术解决了任意约束情况下的产品设计问题,不仅可以做到尺寸驱动(Dimension-Driven),也可以实现约束驱动(Constrain-Driven),即由工程关系来驱动几何形状的改变。它克服了参数化设计非全约束时设计难以继续的问题。这种造型方法,在 CAD 设计中已得到了初步应用,但需要进行一步完善和提高。

20 世纪 90 年代以来,随着计算机网络技术的迅猛发展,CAD 技术的研究也开始从单机应用转向网络环境下的分布式多用户应用,出现了并行工程,协同设计等新的网络环境下的几何模型。它与传统几何模型的侧重点不同,它不但要解决三维模型创建,计算检查与分析等问

题,更要着重解决适于网络环境的模型数据表示、数据交换与共享、模型数据传输、网络化几何造型服务等新问题。它的出现,为产品的全球设计与生产提供了可能。

以上简要介绍了 CAD 中几种常见的数学模型,每种模型都有各自的优缺点,但这些数学模型并非相互独立,而是互相交织、共同发展的。线框模型是曲面模型和实体模型的基础,而特征模型、参数化模型、变量化模型又是以传统数学模型为基础发展起来的,它们相互补充、相互关联、相互依赖。在实际产品设计过程中,不能仅靠一两种模型的造型方法来解决,而必须将上述各种数学模型的造型方法有机地结合起来,只有将这些数学模型有机融合,才能更快更好地设计出产品。在当前的 CAD/CAM 系统中,B 样条(B-Spline)曲线曲面已成为几何造型的核心部分。它是在 Bezier 曲线曲面方法的基础上提出来的,下面介绍一下 Bezier 曲线曲面的概念及相关性质。

1.2 Bezier 曲线曲面

Bezier 曲线曲面的概念是由法国雷诺汽车公司工程师 Bezier 在 1962 年提出的构造曲线曲面的方法。这种方法后来广泛应用于各种 CAD 软件中,CATIA 系统中也采用了这种方法,其中所用的 Bezier 曲线可高达 15 次,Bezier 曲面可高达 9 次,在多项式插值曲线曲面中是几乎不可能达到这样高的次数而不出问题的。

1.2.1 Bezier 曲线

Bezier 曲线的数学基础是完成控制多边形的起点和终点之间插值的一个多项式混合函数,也称为 Bernstein 多项式,其表达式为:

$$B_{i,k}(u) = \frac{k!}{i!(k-i)!} u^i (1-u)^{k-i} \quad u \in [0,1], i=0,1,\dots,k \quad (1.1)$$

它是定义在 $[0,1]$ 上的 $k+1$ 个 k 次多项式,它们是线性无关的,可以构成 $k+1$ 维多项式线性空间的一组基,每个 $B_{i,k}(u)$ 称为 Bernstein 基函数。

这样,给定 $k+1$ 个空间向量 $r_i (i=0,1,\dots,k)$,称 k 次参数曲线段,

$$f(u) = \sum_i r_i B_{i,k}(u) \quad u \in [0,1] \quad (1.2)$$

为 Bezier 曲线,其中, $B_{i,k}(u)$ 为 k 次 Bernstein 多项式, $r_0, r_1, \dots, r_n$ 称为 Bezier 曲线的控制点,依次用线段连接 $r_i (i=0, 1, \dots, n)$ 中相邻两向量终点,这样组成一个 n 边折线 $r_0 r_1 \dots r_n$ 称为 Bezier 多边形,或称为特征多边形,如图 1-7 所示。

根据 Bernstein 基函数的性质可以导出 Bezier 曲线的几何性质。

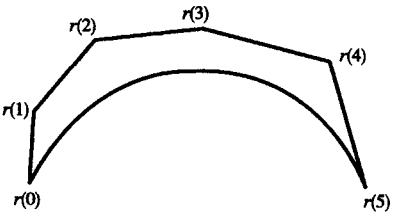


图 1-7 Bezier 曲线示图

1) 端点性质

以 $u=0$ 和 1 分别代入 Bezier 曲线定义中的式子可得到

$$r(0) = r_0, r(1) = r_n \quad (1.3)$$

因此,Bezier 曲线是以特征多边形的起点和终点为端点的,具有端点插值性质。

2) 凸包性质

凸包的定义是,对于给定的 $n+1$ 个点 $r_i (i=0,1,\dots,n)$ 的点集合,

$$\left\{ \sum_{i=0}^n \lambda_i r_i \mid \sum_{i=0}^n \lambda_i = 1, 0 \leq \lambda_i \leq 1 \quad (i=0,1,\dots,n) \right\} \quad (1.4)$$