

应用型本科 汽车类专业“十三五”规划教材

CATIA

逆向设计基础

主 编 左克生 胡顺安
副主编 焦洪宇 林 玲

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造

应用型本科 汽车类专业 “十三五”规划教材

CATIA逆向设计基础

主 编 左克生 胡顺安
副主编 焦洪宇 林 玲



西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

CATIA 软件以其方便的操作和强大的曲面数字化设计功能而在飞机、汽车等设计领域得到了广泛应用。本书对 CATIA 的曲面数字化设计所涉及的创成式外形设计、自由曲面设计、数字曲面编辑器以及快速曲面重构等五个功能模块进行了详细介绍,并结合多个实例详细介绍了 CATIA 在正向设计和逆向设计建模中的操作过程及应用技巧。

本书紧密结合零部件数字化设计应用型人才工程素质培养要求,系统性和实用性强。本书可作为高等院校理工科本科生的相关课程教材或参考书,同时也可作为广大从事正向与逆向工程设计的技术人员的自学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

CATIA 逆向设计基础 / 左克生, 胡顺安主编. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2018.2
ISBN 978-7-5606-4811-8

I. ① C… II. ① 左… ② 胡… III. ① 机械设计—计算机辅助设计—应用软件
IV. ① TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 002510 号

策 划 高 樱

责任编辑 张 玮

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467

邮 编 710071

网 址 www.xduph.com

电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西利达印务有限责任公司

版 次 2018 年 2 月第 1 版 2018 年 2 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 15.5

字 数 362 千字

印 数 1~3000 册

定 价 35.00 元

ISBN 978-7-5606-4811-8 / TH

XDUP 5113001-1

*** 如有印装问题可调换 ***

应用型本科 汽车类专业规划教材

编审专定委员会名单

主 任：陈庆樟(常熟理工学院 汽车工程学院 院长/教授)

副主编：夏晶晶(淮阴工学院 交通工程学院 院长/教授)

倪晓骅(盐城工学院 汽车工程学院 院长/教授)

贝绍轶(江苏理工学院 汽车与交通工程学院 院长/教授)

成 员：(排名不分先后)

许广举(常熟理工学院 汽车工程学院 副院长/副教授)

陈 浩(上海工程技术大学 汽车工程学院 副院长/副教授)

胡 林(长沙理工大学 汽车与机械工程学院 副院长/副教授)

甘树坤(吉林化工学院 汽车工程学院 副院长/副教授)

伏 军(邵阳学院 机械与能源工程学院 副院长/教授)

侯锁军(河南工学院 汽车工程系 副主任/副教授)

赵景波(江苏理工学院 汽车与交通工程学院 副院长/副教授)

胡朝斌(常熟理工学院 机械工程学院 副院长/副教授)

前 言

CATIA软件是由法国达索公司(Dassault System)开发的一款CAD/CAE/CAM一体化软件。CATIA软件以其方便的操作和强大的曲面数字化设计功能而在飞机、汽车等设计领域得到了广泛应用。曲面数字化设计功能提供了极丰富的造型模块,包括创成式外形设计、自由曲面设计、数字曲面编辑器和快速曲面重构等模块,可实现用户进行产品正向设计和逆向设计所要求的曲面质量。本书以点、线和面由简入繁的方式详细介绍了创成式外形设计、自由曲面设计、数字曲面编辑器和快速曲面重构等模块的各命令及其应用,并选取了具有代表性的实例,旨在让读者能够在产品设计过程中灵活运用曲面数字化设计的各命令,从而培养读者CATIA软件曲面数字化设计的综合运用能力。

本书共分为八章。第一章全面介绍了CATIA曲面数字化设计的概念和主要模块,使读者对曲面数字化设计的正向设计和逆向设计有基本的认识;第二章介绍了创成式外形设计模块草图编辑器、创建线框、创建曲面等工具栏中各主要命令的作用与用法;第三章通过六通管和导风管两个实例讲述了创成式外形设计模块的曲面设计功能;第四章介绍了自由曲面设计模块创建曲线、创建曲面、各种操作、形状修改以及曲线/曲面分析等工具栏中各主要命令的作用与用法;第五章通过花瓶和汽车车身两个实例讲述了自由曲面设计模块的曲面设计功能;第六章介绍了数字曲面编辑器模块点云数据由来、点云编辑、铺面与补洞、创建交线以及创建曲线等工具栏中各主要命令的作用与用法;第七章介绍了快速曲面重构模块创建轮廓、曲线与曲面操作、创建曲面、划分点云以及点云分析等工具栏中各主要命令的作用与用法;第八章通过椅子、自行车座椅、沙光机和汽车后备箱盖四个实例介绍了CATIA软件在逆向设计建模过程中的一般应用及其应用技巧。本书力求系统和全面地表述CATIA曲面数字化设计的相关内容。主体章节围绕曲面数字化设计的具体命令介绍了详细的操作步骤,并辅以示例和实例强化认知,从而使读者能够快速达到熟练、准确、灵活而高效地运用CATIA曲面

数字化设计所涉及各模块进行工业产品设计的水平。

本书由常熟理工学院左克生、胡顺安担任主编，焦洪宇、林玲担任副主编，其中，第一章由胡顺安编写；第二章由左克生编写；第三章由焦洪宇编写；第四章由左克生、焦洪宇共同编写；第五章由林玲编写；第六章由胡顺安编写；第七章由胡顺安、焦洪宇共同编写；第八章由左克生、林玲共同编写。全书由左克生、胡顺安统稿。本书在编写过程中得到了李任任、徐帆、陈龙以及网格天成科技有限公司的大力支持，在此表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中的疏漏在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

2017 年 10 月

目 录

第一章 CATIA 曲面数字化设计概论 1	
1.1 CATIA 曲面数字化设计..... 1	
1.2 CATIA 曲面正向设计..... 2	
1.3 CATIA 曲面逆向设计..... 2	
1.4 CATIA 曲面数字化设计主要模块介绍..... 3	
1.4.1 创成式外形设计..... 3	
1.4.2 自由曲面..... 3	
1.4.3 数字曲面编辑器..... 4	
1.4.4 快速曲面重构..... 4	
第二章 创成式外形设计模块 6	
2.1 创成式外形设计模块功能介绍..... 6	
2.2 草图编辑器..... 8	
2.2.1 草图编辑器的进入与退出..... 8	
2.2.2 草图编辑器的命令简介..... 8	
2.3 创建线框..... 15	
2.3.1 点..... 15	
2.3.2 直线..... 17	
2.3.3 轴线..... 21	
2.3.4 平面..... 21	
2.3.5 投影..... 25	
2.3.6 混合..... 26	
2.3.7 反射线..... 26	
2.3.8 相交..... 27	
2.3.9 平行曲线..... 28	
2.3.10 偏移 3D 曲线..... 28	
2.3.11 圆..... 29	
2.3.12 圆角..... 30	
2.3.13 连接曲线..... 30	
2.3.14 二次曲线..... 31	
2.4 创建曲面..... 32	
2.4.1 拉伸..... 32	
2.4.2 旋转..... 32	
2.4.3 球面..... 33	
2.4.4 圆柱面..... 33	
2.4.5 偏移..... 34	
2.4.6 扫掠..... 35	
2.4.7 适应性扫掠..... 38	
2.4.8 填充..... 39	
2.4.9 多截面曲面..... 40	
2.4.10 桥接曲面..... 40	
2.5 操作..... 41	
2.5.1 接合..... 41	
2.5.2 修复..... 42	
2.5.3 曲线光顺..... 43	
2.5.4 拆解..... 44	
2.5.5 分割..... 45	
2.5.6 修剪..... 46	
2.5.7 边界..... 47	
2.5.8 提取/多重提取..... 48	
2.5.9 圆角..... 49	
2.5.10 平移..... 53	
2.5.11 旋转..... 54	
2.5.12 对称..... 55	
2.5.13 缩放..... 56	
2.5.14 仿射..... 57	
2.5.15 定位变换..... 57	
2.5.16 外插延伸..... 58	
2.5.17 反转方向..... 59	
2.5.18 近接..... 60	
第三章 创成式外形设计实例 61	
3.1 六通管实例..... 61	
3.2 导风管实例..... 69	

第四章 自由曲面设计模块	78	4.6.4 切除面分析.....	112
4.1 自由曲面设计模块功能介绍.....	78	4.6.5 反射线分析.....	114
4.2 创建曲线.....	79	4.6.6 衍射线分析.....	115
4.2.1 3D 曲线.....	79	4.6.7 强调线分析.....	115
4.2.2 曲面上创建曲线.....	81	4.6.8 曲面曲率分析.....	116
4.2.3 等参数曲线.....	82	4.6.9 拔模分析.....	117
4.2.4 曲线投影.....	83	4.6.10 映射分析.....	119
4.2.5 自由桥接曲线.....	84	4.6.11 等照度线映射分析(斑马线分析)	120
4.2.6 样式圆角.....	84		
4.2.7 匹配曲线.....	85	第五章 自由曲面设计实例	121
4.3 创建曲面.....	86	5.1 花瓶.....	121
4.3.1 缀面.....	86	5.2 汽车车身.....	123
4.3.2 拉伸曲面.....	88		
4.3.3 外插延伸.....	88	第六章 数字曲面编辑器模块介绍	138
4.3.4 桥接曲面.....	89	6.1 数字曲面编辑器功能简介.....	138
4.3.5 样式圆角.....	90	6.2 点云数据.....	139
4.3.6 填充.....	92	6.2.1 非接触式扫描厂家介绍.....	139
4.3.7 自由填充.....	92	6.2.2 点云数据的由来.....	139
4.3.8 网状曲面.....	93	6.2.3 点云数据的导入和导出.....	142
4.3.9 样式扫掠.....	94	6.3 点云的编辑.....	144
4.4 操作.....	95	6.3.1 激活点云.....	144
4.4.1 中断曲面或曲线.....	95	6.3.2 移除点云.....	145
4.4.2 取消修剪.....	96	6.3.3 过滤点云.....	146
4.4.3 连接.....	97	6.4 铺面与补洞.....	148
4.4.4 分段.....	97	6.4.1 铺面.....	148
4.4.5 拆解.....	98	6.4.2 偏移.....	149
4.4.6 转换器向导.....	98	6.4.3 补洞.....	149
4.4.7 复制几何参数.....	99	6.5 点云导入的综合实例.....	149
4.5 形状修改.....	100	6.6 创建交线.....	152
4.5.1 对称.....	100	6.6.1 曲线投影.....	152
4.5.2 控制点.....	100	6.6.2 截面线.....	153
4.5.3 匹配曲面.....	102	6.6.3 点云交线.....	154
4.5.4 拟合几何图形.....	104	6.6.4 自由边界.....	154
4.5.5 全局变形.....	105	6.6.5 曲线离散化.....	155
4.5.6 扩展.....	106	6.7 创建曲线.....	155
4.6 曲线/曲面分析.....	107	6.7.1 3D 曲线.....	155
4.6.1 连接性分析.....	107	6.7.2 网格面曲线.....	156
4.6.2 距离分析.....	108	6.7.3 交线曲线.....	156
4.6.3 箭状曲率分析.....	111		

第七章 快速曲面重构模块介绍	158	7.7.5 自动生成曲面	176
7.1 快速曲面重构功能介绍	158	7.8 划分点云	177
7.2 点云编辑	159	7.8.1 曲率划分	177
7.3 创建交线	159	7.8.2 倾斜方向划分	179
7.4 创建曲线	159	7.9 点云分析	180
7.5 创建轮廓	159	第八章 逆向工程设计实例	181
7.5.1 创建规则轮廓	159	8.1 椅子的逆向设计	181
7.5.2 网格曲线	161	8.2 自行车座椅逆向设计	199
7.6 曲线/曲面操作	163	8.3 沙光机的逆向设计	206
7.7 创建曲面	169	8.4 汽车后备箱盖逆向设计	224
7.7.1 基本曲面辨识	169	参考文献	238
7.7.2 强力拟合	170		
7.7.3 多截面曲面	173		
7.7.4 网格曲面	174		



第一章

CATIA 曲面数字化设计概论

CATIA 软件是由法国达索公司(Dassault System)开发的一款 CAD/CAE/CAM 一体化软件。从 20 世纪 80 年代 CATIA 诞生以来, CATIA 系列产品在汽车、航空航天、船舶制造、厂房设计、建筑、电力与电子、消费品和通用机械制造等领域提供了 3D 设计和模拟解决方案。CATIA V5 版本的开发始于 1994 年, 是 IBM 长期以来在为数字化企业服务过程中不断探索的结晶。围绕数字化产品和电子商务集成概念进行系统结构设计的 CATIA V5 版本, 可为数字化企业建立一个针对产品整个开发过程的工作环境。

曲面造型(Surface Modeling)是 CATIA 软件的重要组成部分, 它是计算机辅助几何设计(Computer Aided Geometric Design, CAGD)和计算机图形学(Computer Graphics)的一项重要内容, 主要研究在计算机图像系统的环境下对曲面的表示、设计、显示和分析。在曲面造型领域内, 除了 CATIA 软件外, 还有其他曲面造型软件, 如 EDS 公司的 Unigraphics NX(UG)软件, 后来被 Siemens 公司收购, 以及 PTC 公司的 CREO 软件, 它们在不同领域有着各自的应用。而 CATIA 软件拥有超强于对手的曲面设计模块, 在曲面数字化设计领域得到广泛应用。

1.1 CATIA 曲面数字化设计

数字化设计有别于传统的二维设计, 它是以三维设计为核心, 并结合产品设计过程中具体的需求, 如曲面造型设计、数字样机评审等所形成的一套解决方案。

CATIA 曲面数字化设计主要包含正向设计和逆向设计两部分。早期的设计大多以正向设计为主, 其历史渊源已经无法探寻。而逆向设计的诞生, 是由于 20 世纪 50 年代, 二战后的日本为紧跟美国的步伐, 对电脑、消费品、通信产品进行拆解, 对每个部件进行彻底的研究, 进而吸收其设计思想, 还把制造产品的机械装置作为研究的对象, 融会贯通以改进和创新, 这就是早期逆向设计的渊源。世界上第一台计算机和第一台数码照相机都是在美国诞生的, 而日本人经过模仿和消化后, 掌握了许多实用的核心技术, 在数码相机、计算机领域后来居上, 成为全球最大的数码相机生产供应地, 直至 1980 年欧美国家许多学校及工业界才开始注意逆向工程这一领域。1990 年初期, 包括中国台湾在内的各国地区学术

界团队大量投入逆向工程的研究并发表成果。2003 年, CATIA 用于逆向工程 CAD/CAM 高阶曲面系统等方面技术成熟。直至今日, 逆向设计作为掌握、改进和发展技术的一种手段, 可使产品研制周期缩短 40% 以上, 从而极大地提高生产率。逆向设计的实际应用为许多企业的发展带来了生机, 进而为创新设计和各种新产品开发奠定了良好基础。

1.2 CATIA 曲面正向设计

正向设计一般有严格的设计流程, 包括从功能与规格的预期指标, 到构思产品、设计各个零部件、制造、组装、测试等环节。如图 1-1 所示, 汽车的正向设计流程主要有三个阶段: 项目概念阶段、项目规划阶段、项目实施阶段。CATIA 曲面正向设计, 主要是在方案设计阶段, 采用 CATIA “形状” 模块对所设计的零部件进行构思、设计, 直到三维模型生成, 满足一定的设计目标。

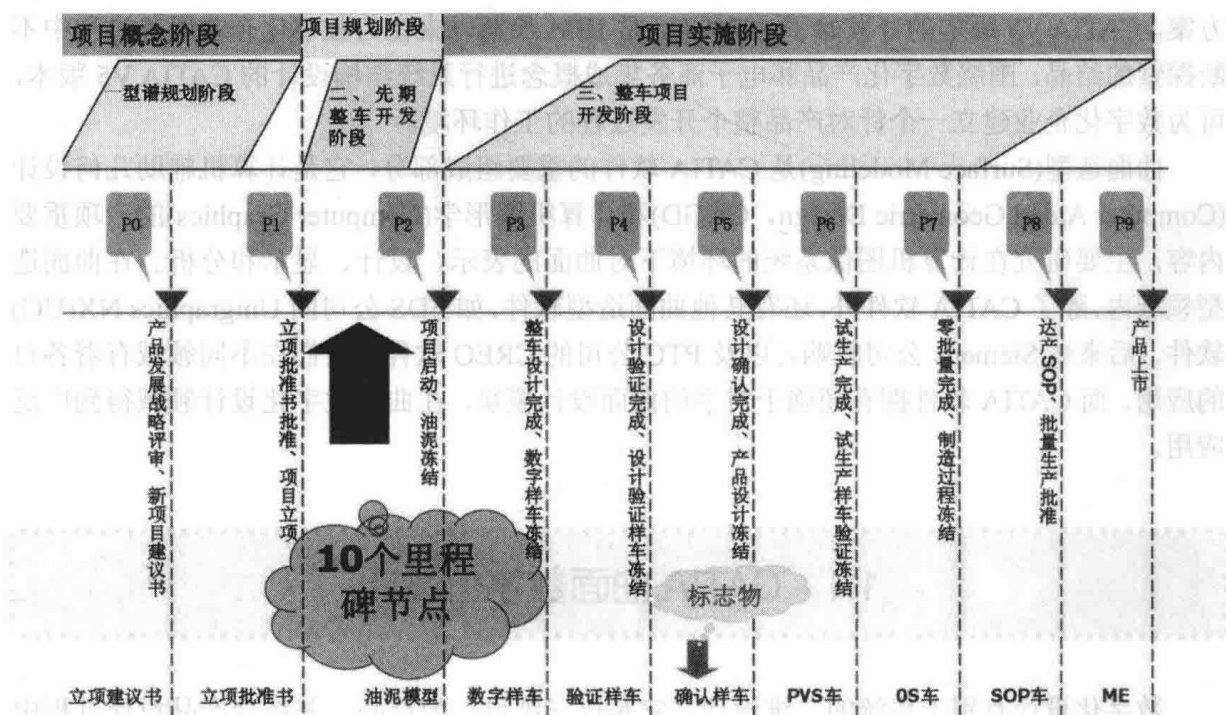


图 1-1 汽车的正向设计流程

1.3 CATIA 曲面逆向设计

逆向设计主要是通过一定的测量手段对实物或模型进行测量, 根据测量数据通过三维几何建模方法重构实物的 CAD 模型的过程, 是一个从样品生成产品数字化信息模型的过程。CATIA 曲面逆向设计, 即在测量获得点云后, 通过 CATIA 中的 Digitized Shape Editor

(DSE)模块将点云导入，采用点、线、面等方法构造出与实物或模型相近的三维模型过程。图 1-2 所示为采用 CATIA 进行汽车后备箱盖三维逆向建模的结果。

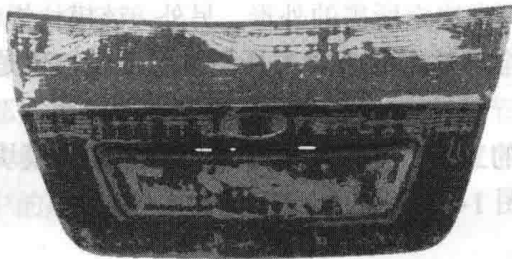


图 1-2 汽车后备箱盖 CATIA 三维逆向建模的结果

1.4 CATIA 曲面数字化设计主要模块介绍

1.4.1 创成式外形设计

创成式外形设计(Generative Shape Design, GSD)是 CATIA 进行曲面设计的主要模块之一，也是曲面设计的基础，可以使用线框和曲面特征快速创建简单或复杂的外形。该模块提供了非常完整的曲线操作工具和最基础的曲面构造工具，除了可以完成所有曲线操作以外，还可以完成拉伸、旋转、扫描、边界填补、桥接、修补碎片、拼接、凸点、裁剪、光顺、投影、高级投影和倒角等功能，连续性最高达到 G2 等级，生成封闭曲面，完全达到普通三维 CAD 软件曲面造型功能。该模块提供了大量的表面设计和表面创建工具，与其他模块配合使用，可满足实体造型功能。如图 1-3 所示，在创成式外形设计模块中采用草绘、拉伸、多截面曲面和合并曲面等操作完成导风管的曲面外形，通过零件设计模块中的厚曲面命令对该封闭曲面进行加厚处理，即可完成实体化操作，如图 1-4 所示。

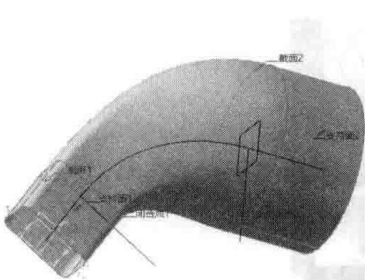


图 1-3 导风管多截面曲面的创建

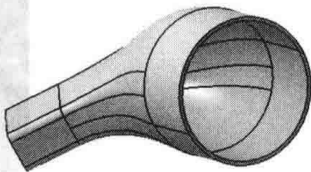
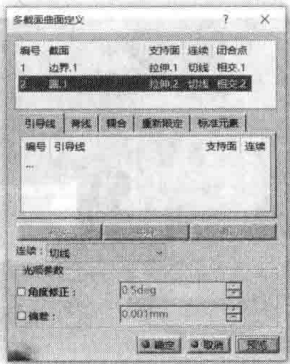


图 1-4 导风管的曲面加厚

1.4.2 自由曲面

自由曲面(FreeStyle, FS)模块可以创建出不规则的曲面，由于该模块非参数化，其绘图

方式自由。自由曲面模块的绘图大体上是通过移动、控制和编辑点的方式来定义曲面或曲线的外形。与创成式外形设计不同的是,自由曲面可以创建更为复杂的曲面,可脱离实体的限制,由用户的主观意识来决定所需的外形。另外,该模块提供了曲线和曲面分析工具,是三维逆向检测局部以及全部数据的必要工具和常用手段,也是保证逆向数模精度的重要工具。

图 1-5 所示为某车身的三维线型图,通过采用自由曲面模块中的相关命令,可以将车身三维线条图形绘制成如图 1-6 所示的车身三维曲面图形。

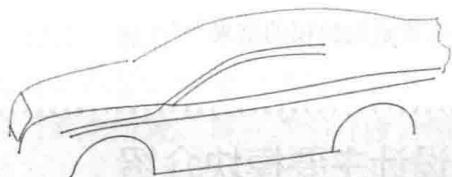


图 1-5 车身三维线型图

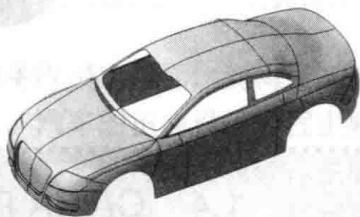


图 1-6 车身三维曲面图形

1.4.3 数字曲面编辑器

任何零件的外表面都是由平面与曲面组成的,逆向设计就是利用点云创建平面与曲面,将这些面修剪缝合成零件的外表面,再通过加厚或包络体生成实体零件。

数字曲面编辑器(Digitized Shape Editor, DSE)模块具有强大的点数据预处理功能,通过对点数据进行剪切、合并,过滤、三角网格化等处理,以不丢失特征的前提将庞大的点云转换为部分点数据,点云经过三角网格化处理后,工件的特征更容易观察,可以建立特征线提供给 CATIA 其他模块进行建模,也可以直接进行数控加工。

点云数据可通过多种仪器测量而获得,如采用思看 PRINCE 系列手持式激光三维扫描仪可灵活而高效地获取点云数据,然后通过 CATIA 中的数字曲面编辑器将点云导入进行逆向的相关处理和设计。图 1-7 所示为思看 PRINCE 手持式扫描仪的扫描过程及点云生成情况。

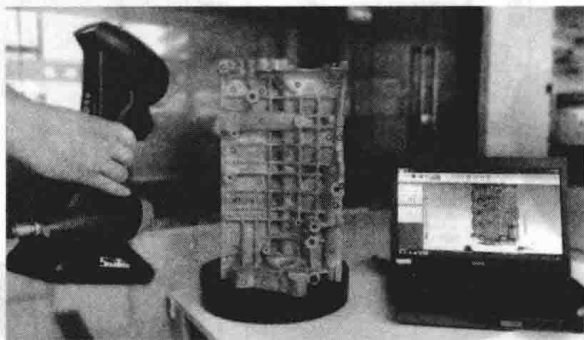


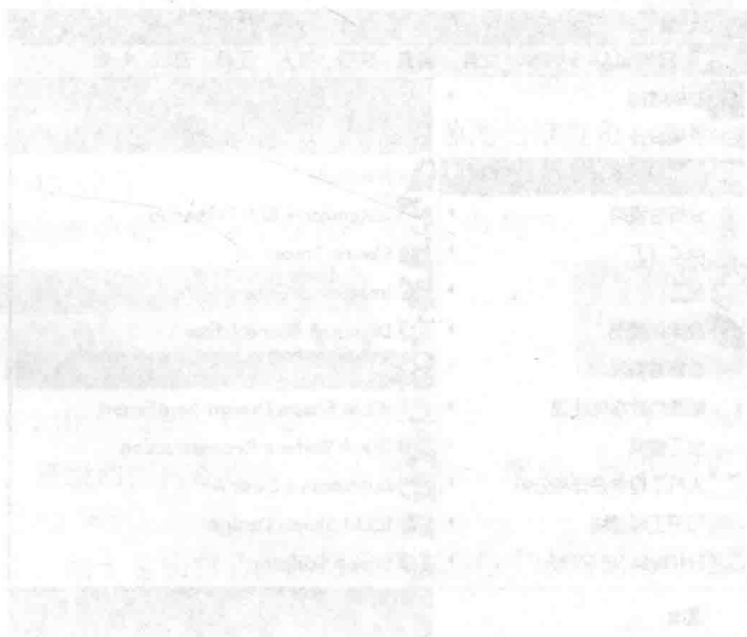
图 1-7 思看 PRINCE 手持式扫描仪的扫描过程及点云生成情况

1.4.4 快速曲面重构

点云经过数字曲面编辑器(DSE)处理后,可以在快速曲面重构模块中快速而有效地重构

曲面(缩短产品的开发流程)。快速曲面重构(Quick Surface Reconstruction, QSR)模块拥有强大的曲面重构功能,包括建立自由边界、提取特征曲线、多边界重构自由曲面、辨识与重建基本曲面(平面、圆柱、球、圆台等)。

CATIA 曲面数字化设计主要从上述的四个模块入手,本书将分章节对上述四个模块进行讲解,对于大部分命令都采用简单的实例进行叙述,并在章节后通过实际的正向或逆向设计问题将各模块中的工具栏综合调用。通常, CATIA 曲面数字化设计是逆向设计和正向设计的综合,在实际设计中的应用非常广泛。





第二章

创成式外形设计模块



创成式外形设计是 CATIA 进行曲面设计的主要模块之一，也是曲面设计的基础，可以使用线框和曲面特征快速创建简单和复杂的外形。该模块提供了大量的表面设计和表面创建工具，与其他模块配合使用，可满足实体造型功能。

2.1 创成式外形设计模块功能介绍

启动 CATIA V5，在菜单栏依次选择“开始”→“形状”→“创成式外形设计”，进入创成式外形设计模块，如图 2-1 所示。

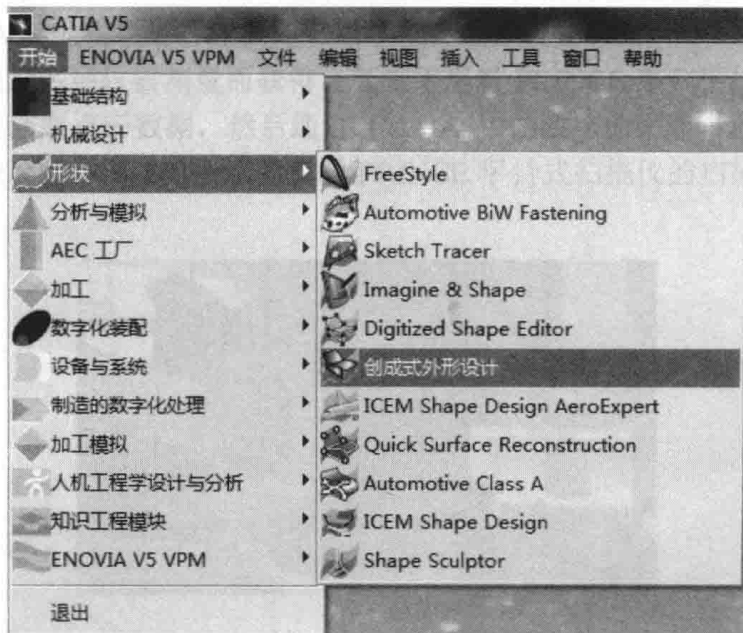


图 2-1 创成式外形设计模块的进入

创成式外形设计模块主要包括：

- 草图编辑器：在所选平面进行草绘操作，工具栏如图 2-2 所示。
- 线框：用于创建点、曲线以及基准平面，工具栏如图 2-3 所示。



图 2-2 “草图编辑器”工具栏



图 2-3 “线框”工具栏

- 法则曲线：用于定义公式参数，工具栏如图 2-4 所示。
- 曲面：用于构建曲面，工具栏如图 2-5 所示。



图 2-4 “法则曲线”工具栏



图 2-5 “曲面”工具栏

- 包络体：通过曲线、曲面生成实体，工具栏如图 2-6 所示。
- 操作：用于修改操作，可以对曲线和曲面等对象进行修改，工具栏如图 2-7 所示。



图 2-6 “包络体”工具栏

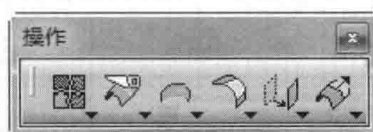


图 2-7 “操作”工具栏

- 约束：可以在 3D 空间下进行约束定义，工具栏如图 2-8 所示。
- 标注：用于注解标识，工具栏如图 2-9 所示。



图 2-8 “约束”工具栏



图 2-9 “标注”工具条

- 分析：可以分析曲线、曲面的连接性，对曲面的锥度角、曲线与曲面曲率等进行分析，工具栏如图 2-10 所示。
- 复制：高级复制功能，可以进行高级复制、阵列等，工具栏如图 2-11 所示。



图 2-10 “分析”工具栏



图 2-11 “复制”工具栏

- 高级曲面：高级曲面构建操作，可通过突起、变形、约束曲线、曲面等方式生成曲面，工具栏如图 2-12 所示。
- 已展开外形：用于生成曲面，包括展开曲面与生成曲面两种方式生成曲面，工具栏如图 2-13 所示。



图 2-12 “高级曲面”工具栏



图 2-13 “已展开外形”工具栏

2.2 草图编辑器

在建模的过程中,首先要绘制零件的轮廓线即草图,CATIA V5 中提供了草图编辑器,用于进行二维草图的绘制操作,本节介绍草图编辑器的用法及基本功能。

2.2.1 草图编辑器的进入与退出

单击按钮,并点击某一工作平面,即可进入草图编辑器,如图 2-14 所示。

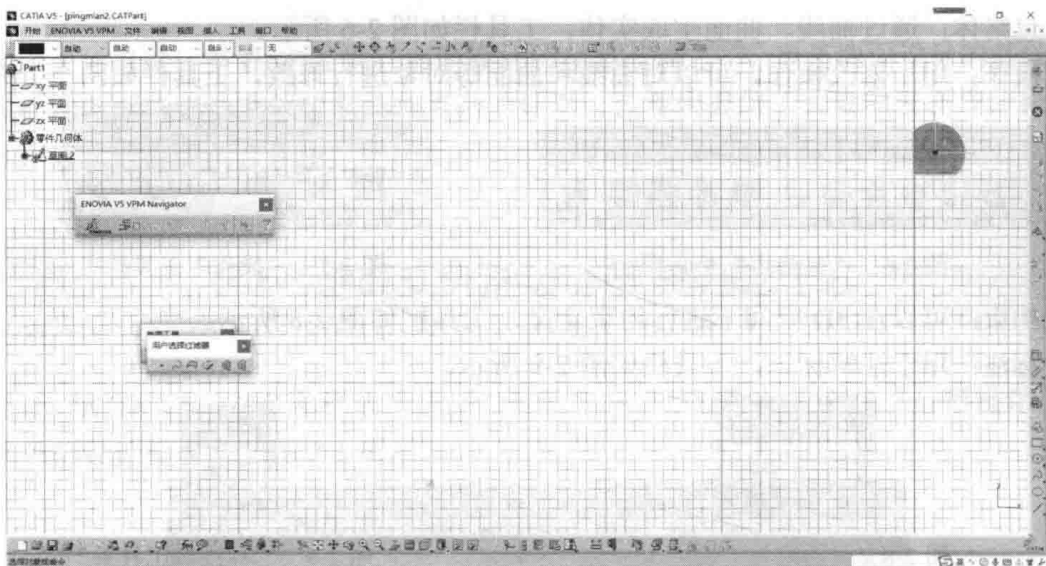


图 2-14 草图编辑器

在草图编辑器中单击按钮,即可退出草图编辑器。

2.2.2 草图编辑器的命令简介

1. 轮廓

“轮廓”工具栏由轮廓线、矩形、圆、样条线、椭圆、直线、轴以及点组成,如图 2-15 所示。



图 2-15 “轮廓”工具栏

(1) 轮廓线。

① 单击按钮,出现随草图状态变化而变化的工具栏,如图 2-16 所示。