

# Imageware

## 逆向造型技术及 3D打印 (第2版)

钮建伟 主编  
曾 亮 副主编

### ◆ 改版亮点

软件升级，集作者最新科研教学经验。

### ◆ 领先技术

业界流行的逆向造型软件，3D打印。

### ◆ 内容丰富

建模思路、方法、技巧、实例操作步骤。



# Imageware 逆向造型技术及 3D 打印

(第 2 版)

钮建伟 主 编

曾 亮 副主编



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

## 内 容 简 介

Imageware 被誉为全球四大知名逆向造型软件之一, 具有强大的逆向造型功能, 在国内外已得到广泛的应用。本书在第 1 版教材基础上, 悉心听取广大读者的意见, 借鉴国内外同行的宝贵经验, 结合编者多年从事逆向造型教学、科研与培训的经验, 围绕三维点云的处理、曲线曲面的生成与优化、曲面的误差分析与质量控制等逆向工程领域最为重要的内容, 对 Imageware 软件的使用方法进行了深入浅出的介绍。本书前半部分主要介绍软件功能, 即基础操作、点云操作、曲线操作、曲面操作、误差分析, 并均配有相应的实例文件。后半部分为案例教程, 从规则零件、简单曲面到复杂曲面, 由浅入深、步步为营。每个案例开始均首先介绍逆向建模的思路、方法和技巧, 再结合具体实例详细演示操作步骤。作为逆向造型的延续与拓展, 最后一章就造型后模型的 3D 打印进行了详细阐述。

本书结构清晰, 语言简练, 图例丰富, 讲解直观, 操作性强。本书强调理论与实践相结合, 重在实际操作技能的掌握, 以帮助读者快速、直观地领会如何将 Imageware 软件运用到实际工作中, 切实掌握逆向造型的思路和方法, 尽快达到举一反三、学以致用目的。

本书可作为高等院校本专科机械工程、汽车设计、工业设计、艺术设计等相关专业的实践教材或培训教程, 也可供相关领域的专业工程技术人员和研究人员学习参考。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

### 图书在版编目 ( CIP ) 数据

Imageware 逆向造型技术及 3D 打印 / 钮建伟主编. —2 版. —北京: 电子工业出版社, 2018.7

ISBN 978-7-121-34640-8

I. ①I… II. ①钮… III. ①工业设计—造型设计—计算机辅助设计—应用软件 ②立体印刷—印刷术  
IV. ①TB472-39 ②TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 141237 号

策划编辑: 许存权 (QQ: 76584717)

责任编辑: 许存权 特约编辑: 谢忠玉 等

印 刷: 涿州市京南印刷厂

装 订: 涿州市京南印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 15.5 字数: 400 千字

版 次: 2014 年 1 月第 1 版

2018 年 7 月第 2 版

印 次: 2018 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 69.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888, 88258888。

质量投诉请发邮件至 [zlt@phei.com.cn](mailto:zlt@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

本书咨询联系方式: (010) 88254484, [xucq@phei.com.cn](mailto:xucq@phei.com.cn)。

## FOREWORD

## 前言

Imageware 是全球最知名的逆向工程软件之一，隶属于西门子自动化与驱动集团（A&D）旗下的 Siemens PLM 数字化开发系统，与 Geomagic、CopyCAD、RapidForm 一起被认为是全世界四大知名逆向工程软件。Imageware 具有强大的测量数据处理、曲面造型、误差检测功能，可以处理几万至几百万的点云数据，根据这些点云数据构造的曲面具有良好的品质和曲面连续性。Imageware 的模型检测功能可以方便、直观地显示所构造的曲面模型与实际测量数据误差以及平面度、圆度等误差。Imageware 采用 NURBS（非均匀有理 B-样条）技术，兼容性好，软件功能强大，易于应用。Imageware 对硬件要求不高，可运行于各种平台，如 UNIX 工作站、PC 等均可，操作系统可以是 UNIX、NT、Windows XP、Windows 7、Windows 10、Windows Server 及其他平台。该软件先进的技术保证了用户能在很短的时间内完成设计，并能够精确地构建曲面、检测曲面质量。最新版软件更侧重于高级曲面、3D 检测、逆向工程和多边形造型，为产品的设计、工艺和制造营造了一个符合直觉的柔性设计环境。

Imageware 拥有广大的用户群，以前该软件主要应用于航空航天和汽车工业，因为这两个领域对空气动力学性能要求很高，在产品开发的开始阶段就要认真考虑空气动力学。随着科学技术的进步和消费水平的不断提高，其他许多行业也开始纷纷采用逆向工程软件进行产品设计。

近年来我国制造产业模式悄然发生了巨大变化，“中国制造 2025”战略规划的发布，表明数字化工厂、Digital Twins 等概念已成大势所趋，对传统设计制造评价提出了前所未有的要求与挑战，正是在这样的环境下，逆向工程受到产业界越来越多的重视和青睐。掌握逆向工程技术的人才需求量供不应求，这就要求我国市场对逆向技术的培训推广力度应进一步做强、做大。

逆向工程、逆向造型在我国业界俗称“抄数”。我国东南沿海的广东、福建、浙江、江苏，特别是广州、深圳、东莞、厦门、晋江、杭州、温州、苏州等地，由于存在大量的代工厂，催生了逆向产业如雨后春笋般的迅猛发展。学习逆向造型是一个比较漫长而艰苦的过程。首先，初学者面临软件基本操作问题，对于软件中令人眼花缭乱的命令如何有效地组合运用缺乏经验；其次，初学者面对一个全新的逆向造型任务时，经常感到非常棘手，无所适从，有时候即便仓促开始，但往往做到一定阶段发现事倍功半，甚至不得不把方案推倒重来。编者基于自己多年逆向造型的经验与教训，认为若想熟练掌握逆向造型的要领，首先要多动脑，不要蛮干。逆向造型不仅仅是一门技术，更是一门艺术。就像庖丁解牛一样，“依乎天理，批大郤，道大窾，因其固然”，边实践边思考，琢磨专业人士一系列动作背后的原因和道理，才能达到“手之所触，肩之所倚，足之所履，膝之所踣，砉然响然，奏刀騞然，莫不中音”的境界。编者在实践过程中，经常喜欢琢磨



国内外同行的作品,揣摩其构思,并与自己的思路相互比对,有时候不得不对大师级的构思拍案叫绝。其次必须多练,拿到一个产品或任务时不要急于动手,先要对产品进行分析和讨论,清楚地了解该产品在结构上的特征、曲面间的相互关系,做到“胸中有丘壑”。这个事先在头脑中先行分析的习惯刚开始可能比较痛苦,让新手望而却步,但如若长期坚持下去会大有裨益。对于软件的学习,建议从基础命令、常见点云、基本造型学起,不要好高骛远、急于求成,在使用命令时应尽可能提高自己的速度,并注意多总结经验。模型的逆向造型视不同产品的不同要求而定,没有一个固定的套路可以遵循,但要秉承如下原则:抓大放小,先大后小,由面到点,点面结合。具体来说,就是先做大的面,然后再去做细节部分;而如果只见树木不见森林,刚开始就在细节上耗费太多时间和精力,结果总体结构却无法满用户要求,这是逆向造型中经常出现的大忌。

本书分为10章,第1章首先介绍逆向工程的定义、关键技术、应用、发展趋势、主流逆向工程软件及ImageWare中文版简介;第2章介绍ImageWare基础操作、用户界面等;第3~6章,分别就点云处理、曲线处理、曲面处理、逆向造型质量分析加以详细讲解,重要命令均提供实例操作图形,并提供了原始点云。第7~9章则提供了三个逆向造型的实例,分别为规则零件、简单曲面(吸顶灯、后视镜)、复杂曲面(头盔曲面、汽车曲面)。考虑到读者需求,第7~9章均首先根据产品结构特点,剖析逆向造型思路,然后才一步一步具体地讲解实现过程。作为逆向造型的延续与拓展,第10章就造型后模型的3D打印进行了详细阐述。随书附赠配套资源提供了各章涉及的点云文件,读者可以在华信教育资源网([www.hxedu.com.cn](http://www.hxedu.com.cn))的本书页面下载,或与本书编辑联系。

本书自2014年第1版以来,获得了广大读者的热烈反响。读者一方面肯定了我们的探索性工作,另一方面也提出了中肯的意见和建议。适逢ImageWare新版本发布,编者悉心听取广大读者的批评指正,借鉴国内外同行的宝贵经验,在第1版基础上,对本书进行了更新,在保持原书图文并茂、娓娓道来的基础上,删除了与逆向造型无关的内容,增加了相当篇幅的曲面逆向造型案例的比重,重新构筑章节内容。在此,要感谢我的家人、同事,感谢我的学生们,正是他们给予了我大量的帮助和鼓励,才使我能够完成此书。感谢常年使用ImageWare软件和逆向工程领域进行研究的专家、学者,以及其他众多支持关注我的同行、朋友,他们为本书提供了大量的宝贵意见和建议。

参加本书编写的人员有钮建伟、曾亮、胡莉飞、徐洲、盛俞汇、冉瑞聪,其中钮建伟负责统筹第1~6章,曾亮负责统筹第7~10章,胡莉飞负责第2~3章,徐洲负责第4章和第9章的一部分,盛俞汇负责第5章和第9章的一部分,冉瑞聪负责第6~8章。

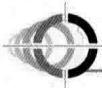
另外,参加本书第1版编写的人员还有马驭、唐梓淇、刘宇坤、王昱和唐璐,他们付出了辛勤的劳动,在此一并致谢。

本书用到的点云数据,部分来源于网络,已尽可能地在参考文献中列出,但囿于编者能力,不能一一列举。由于时间仓促,水平有限,不可避免有错误出现,恳请广大读者批评指正。

钮建伟  
于北京科技大学

# CONTENTS 目录

<b>第 1 章 逆向工程概论</b> .....	1	3.3.1 偏移点云	29
1.1 逆向工程的定义	1	3.3.2 剖面截取点云	30
1.2 逆向工程的关键技术	2	3.3.3 特征提取点云	34
1.3 逆向工程的应用	4	3.3.4 构建点	35
1.4 逆向工程的发展趋势	6	3.3.5 三角形网格化	40
1.5 主流逆向工程软件介绍	6	<b>3.4 修改点云</b>	40
1.6 Imageware 中文版简介	7	3.4.1 数据简化	40
小结	10	3.4.2 光顺处理	41
<b>第 2 章 基础操作</b> .....	11	3.4.3 抽取点云	42
2.1 用户界面	11	3.4.4 扫描线	48
2.2 鼠标使用	15	3.4.5 定位点云	49
2.3 菜单栏	17	<b>3.5 分析点云数据</b>	52
2.3.1 文件	17	3.5.1 点云测量	52
2.3.2 编辑	18	3.5.2 距离测量	53
2.3.3 显示和观察	21	3.5.3 点之间角度	53
2.3.4 创建/构造/修改/评估/测量	21	3.5.4 点的位置	54
2.3.5 帮助	21	3.5.5 曲率半径	54
2.4 常用快捷键	22	小结	54
小结	24	<b>第 4 章 曲线</b> .....	55
<b>第 3 章 点云处理</b> .....	25	4.1 概述	55
3.1 点云预处理	25	4.2 曲线创建	57
3.1.1 读入点云	25	4.2.1 3D 曲线	57
3.1.2 点云设置	25	4.2.2 简单曲线	59
3.2 生成点云	27	4.2.3 结构线	67
3.2.1 创建点	27	<b>4.3 曲线构造</b>	70
3.2.2 设置点标签	28	4.3.1 点拟合曲线	70
3.2.3 删除点标签	29	4.3.2 提取表面上的曲线	77
3.3 点云构建	29	4.3.3 桥接曲线	78
		4.3.4 曲线倒角	79



4.3.5	偏置曲线	80	5.4.7	反转曲面法向	124
4.3.6	曲线相交	82	5.5	曲面评估与测量	125
4.4	曲线修改	83	5.5.1	曲面连续性	125
4.4.1	曲线连续性	83	5.5.2	曲率分析	126
4.4.2	曲线参数控制	84	5.5.3	曲面间差异分析	127
4.4.3	形状控制	87	5.5.4	曲面与点云偏差	128
4.4.4	延伸曲线	89	5.5.5	曲面光顺度	129
4.4.5	截断曲线	90	小结		130
4.5	曲线的评估与测量	91	第6章	逆向造型效果评估与测量	131
4.5.1	连续性	91	6.1	评估	131
4.5.2	曲率	92	6.1.1	控制点矢量图	131
4.5.3	测量操作	93	6.1.2	法线/相切	131
小结		95	6.1.3	流线分析和连续性	132
第5章	曲面	96	6.1.4	偏差	132
5.1	概述	96	6.1.5	点云特性	133
5.1.1	概念	96	6.1.6	可加工性	134
5.1.2	曲面要素	97	6.1.7	三角形网络模型	135
5.1.3	曲面显示方式	98	6.1.8	物件信息	136
5.2	曲面创建	99	6.2	测量	136
5.2.1	创建平面	99	6.2.1	距离测量	136
5.2.2	创建简单曲面	100	6.2.2	面积测量	137
5.3	曲面构造	104	6.2.3	角度	137
5.3.1	由点云构建曲面	104	6.2.4	位置坐标	138
5.3.2	曲线参考构建曲面	107	6.2.5	曲率半径	139
5.3.3	扫掠曲面	111	6.2.6	交互方式及二次 曲面检测	139
5.3.4	凸缘面	113	小结		140
5.3.5	桥接曲面	114	第7章	ImageWare 逆向造型实例——规则 零件	141
5.3.6	倒圆角	115	7.1	逆向造型思路	141
5.3.7	偏置曲面	116	7.2	点云处理	142
5.3.8	剖面截取	117	7.2.1	分割点云	142
5.3.9	曲面交线	118	7.2.2	点云分层	145
5.4	曲面修改	119	7.2.3	创建剖断面	145
5.4.1	缝合曲面	119	7.3	曲面制作	147
5.4.2	曲线参数控制	119	7.3.1	顶面制作	147
5.4.3	曲面延伸	121	7.3.2	侧面制作	150
5.4.4	曲面合并	121	7.3.3	内孔制作	153
5.4.5	分割曲面	122			
5.4.6	修剪曲面	123			



7.3.4	曲面裁剪	155	9.5.1	信息查询与数据量修改	206
7.3.5	镜像	161	9.5.2	显示模式修改	207
<b>第8章 Imageware 逆向造型——简单</b>			9.5.3	点云修正	208
	曲面	162	9.6	头盔曲面拟合	208
8.1	吸顶灯逆向造型思路	162	9.6.1	顶盖点云逆向处理	208
8.2	吸顶灯点云处理	163	9.6.2	中部点云逆向处理	215
8.2.1	分割点云	163	9.6.3	下部点云逆向处理	218
8.2.2	点云分层	164	9.7	头盔误差分析与光顺性检查	224
8.3	吸顶灯曲面制作	165	9.7.1	误差分析	224
8.3.1	顶面制作	165	9.7.2	光顺性检查	225
8.3.2	四周侧面制作	166	<b>第10章 3D 打印及其应用</b>		226
8.3.3	内孔制作	168	10.1	3D 打印的前世今生	226
8.3.4	顶面修剪	170	10.2	3D 打印的原理	226
8.4	反光镜逆向造型思路	172	10.3	3D 打印的主流技术	227
8.5	点云处理	173	10.3.1	光固化快速成型 (SLA)	227
8.5.1	反光镜投影点云	173	10.3.2	叠层实体制造工艺 (LOM)	228
8.5.2	点云分层	174	10.3.3	选择性激光烧结成型 (SLS)	229
8.5.3	创建剖断面	175	10.3.4	熔融沉积制造 (FDM)	229
8.6	曲面制作	175	10.3.5	三维印刷工艺	230
8.6.1	外侧面制作	175	10.3.6	聚合物喷射技术 (PolyJet)	231
8.6.2	拱形弧面制作	179	10.4	3D 打印技术的应用	232
8.6.3	内孔修剪	182	10.4.1	3D 打印人偶	232
<b>第9章 Imageware 逆向造型实例——复杂</b>			10.4.2	3D 打印无人机	233
	曲面	185	10.4.3	3D 打印火箭核心部件	234
9.1	汽车曲面逆向造型思路	185	10.4.4	3D 打印文物	235
9.2	汽车曲面点云处理及各主要 曲面构造	186	10.4.5	3D 打印建筑	236
9.2.1	车顶面的逆向	186	10.4.6	3D 打印汽车	236
9.2.2	车前端的逆向	191	10.5	3D 打印的未来	237
9.2.3	车侧门的逆向	195	<b>参考文献</b>		239
9.2.4	车后端及轮缘的逆向	199			
9.3	汽车曲面拼接及镜像处理	201			
9.3.1	曲面拼接	201			
9.3.2	镜像处理及桥接	202			
9.4	头盔曲面逆向造型思路	205			
9.5	头盔曲面点云处理	206			



# 第1章

## 逆向工程概论

### 1.1 逆向工程的定义

逆向工程也称作反求工程或逆向设计，英文是 reverse engineering，是将已有产品模型（实物模型）转化为工程设计模型和概念模型，并在此基础上解剖、深化和再创造的一系列分析方法和应用技术的组合。逆向工程可有效改善技术水平，提高生产率，增强产品竞争力，是消化、吸收先进技术进而创造和开发各种新产品的重要手段。它的主要任务是将原始物理模型转化为工程设计概念和产品数字化模型：一方面为提高工程设计、加工分析的质量和效率提供充足的信息；另一方面为充分利用 CAD/CAE/CAM 技术对已有产品进行设计服务。

传统产品的开发实现通常是从概念设计到图样，再创造出产品，其流程为：构思—设计—产品，我们称之为正向工程或者顺向工程。它的设计理念恰好与逆向工程相反，逆向工程的产品设计是根据零件或者原型生成图样，再制造产品。目前逆向工程的应用领域主要是飞机、汽车、玩具和家电等模具相关行业。近年来随着生物、材料技术的发展，逆向工程技术也开始应用在人工生物骨骼等医学领域。但是逆向工程技术的研究和应用还仅仅集中在几何形状，即重建产品实物的 CAD 模型和最终产品的制造方面。

逆向工程把三坐标测量机、CAD/CAM/CAE 软件、CNC 机床有机而又高效地结合在一起，成为产品研发和生产的一个高效、便捷的途径。逆向工程不仅仅是产品的仿制，它更肩负着数学模型的还原和再设计的优化等多项重任。以往逆向工程通常是指对某一产品进行仿制工作。这种需求可能发生于原始设计图文件遗失、部分零件重新设计、或是委托厂商交付一件样品或产品，如高尔夫球头、头盔模，请制造厂商复制出来。传统的复制方式是立体雕刻机或液压三次元靠模铣床制造出等比例的模具，再进行生产。这种方法称为模拟式复制，无法建立工件尺寸图档，也无法做任何的外形修改，现在已渐渐被数字化的逆向工程系统所取代。

目前的逆向工程技术是指针对现有工件，利用 3D 数字化测仪器，准确、快速地取得轮廓坐标，经过曲面建构、编辑、修改后，传至一般的 CAD/CAM 系统，再由 CAM 产生的 NC 加工路径，以 CNC 加工机制做模具，之后就可以做产品进行批量生产。当前，虽然逆向工程发展已取得了长足进展，逆向工程的概念已深入人心，并被广泛应用于各个领域，不仅是机械产品的研发；先进企业都纷纷采用逆向工程模式进行产品研发和生产。但产品逆向工程还是一个不完全成熟的过程，各个环节仍有待于进一步完善、探索和研究，并没有非常完善的解决方案。

逆向工程的一般流程如图 1-1 所示，即首先利用实物样件转换为 CAD 模型，利用计算机



辅助制造 CAM、快速成型制造 RP、快速模具 PDM 系统等先进技术对其进行处理或管理的一个系统过程。

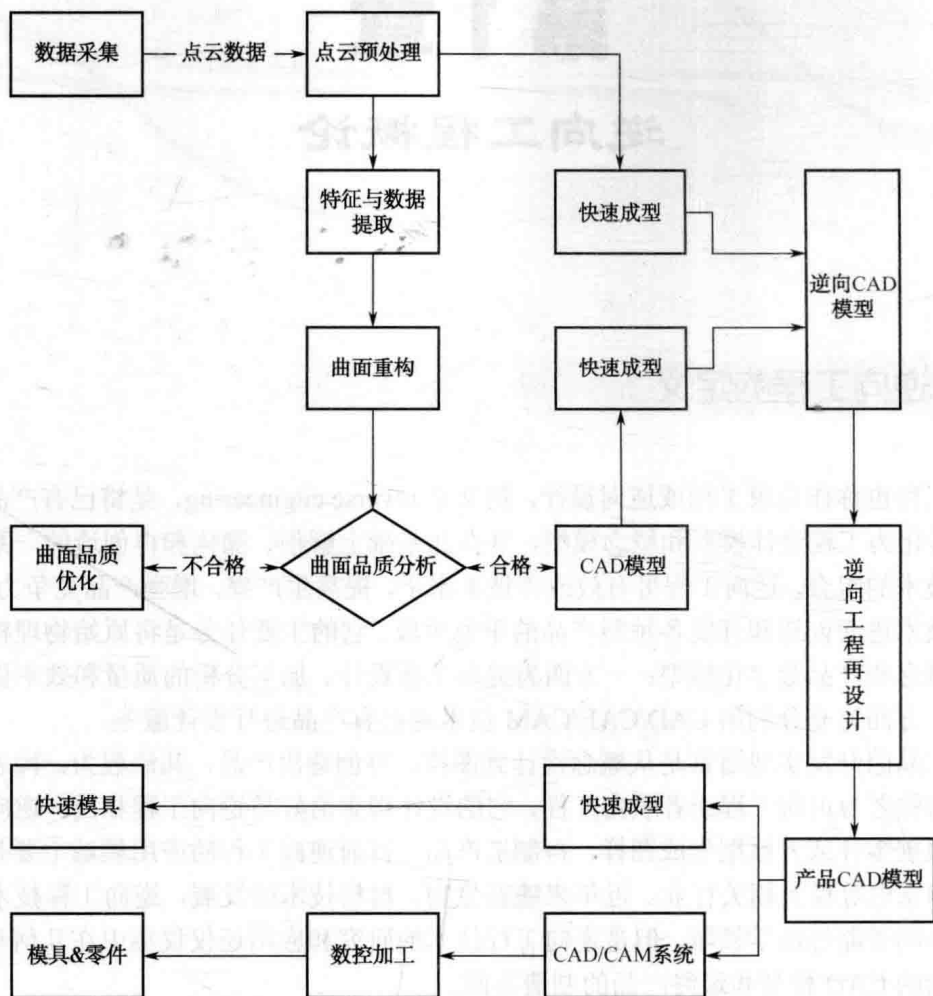


图 1-1 逆向工程一般流程

## 1.2 逆向工程的关键技术

逆向工程一般可分为六个阶段：数据获取、数据处理、复杂曲面反求、原型 CAD 模型重建、特殊技巧的应用、重建 CAD 模型的检验与修正。同时，这些阶段也为逆向工程的六大关键技术。

### 1. 数据获取

数据获取是逆向工程 CAD 建模的首要环节。通常采用的数据测量手段有：三坐标测量机 (CMM)、三维数字化扫描仪、工业 CT 和激光扫描测量仪等设备来获取零件原型表面的三维坐标值。

三坐标测量机虽然测量精度高，但测量速度和效率较低；激光扫描测量仪可以有效地测量



复杂型面，但是难以处理复杂零件的内部结构测量，如对发动机缸体、航空叶片等复杂零件的精确测量；工业 CT 能够实现复杂实物的完整测量，但测量精度还不高。

三坐标测量机与激光扫描测量仪如图 1-2 所示。近年来出现的层析三维数字化测量技术，可以实现任意复杂零件的完整测量，精度可以达到一个很理想的水平，是实现复杂形体的整体几何逆向工程 CAD 建模的最有前途的测量技术之一。

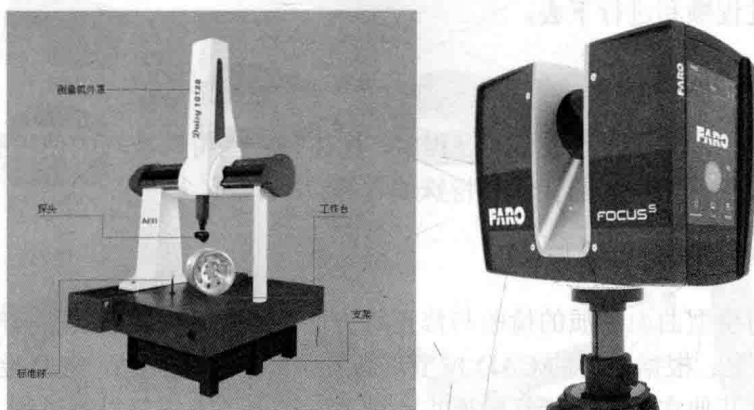


图 1-2 三坐标测量机与激光扫描测量仪

## 2. 数据处理

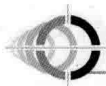
数据处理是逆向工程 CAD 建模的关键环节，它的结果可以直接影响后期重建模型的质量。它的主要内容包括：散乱点排序、多视拼合、误差别除、数据光顺、数据精简、特征提取和数据分块等。对于在数据获取的测量过程中，受某些仪器的影响，或者在测量过程中不可避免地会带进噪声、误差等，我们必须对点云数据进行某些补偿或者删除一些明显错误点；对于大量的海云数据，我们还得对其进行精简。因此，对于获取到的数据进行一系列数据拓扑的建立、数据滤波、数据精简、特征提取与数据分块的数据处理是必不可少的。对于一些形状复杂的点云数据，经过数据处理，将被分割成特征相对单一的块状点云，按测量数据的几何属性对其进行分割，采用几何特征匹配与识别的方法来获取零件原型所具有的设计与加工特征。

## 3. 复杂曲面反求

通过复杂曲面产品反求工程 CAD 模型，进而通过建模得到该复杂曲面的数字化模型是逆向工程的关键技术之一，此技术涉及计算机、图像处理、图形学、神经网络、计算几何、激光测量和数控等众多交叉学科和领域。该关键技术主要进行的方法有如下两种。

(1) 第一种方法：以三坐标测量机 (CMM) 或激光扫描测量仪为基础，在人为制定的测量规划原则的指导下，将一个复杂的自由曲面分成若干个拓扑结构为四边形边界的区域，在每个区域内按截面线进行测量，然后，对每个区域内的数据进行处理，转换为通用 CAD、CAM 系统可以接受的数学模型文件，完成产品的测量建模。

(2) 另一种方法：主要通过非接触式激光扫描测量仪完成对物理模型的密集扫描，并将这些数据直接用于数控加工，或者经过对扫描数据的一系列处理，产生构造物体表面模型所需要的主要几何特征。根据这些几何特征，最终由通用的 CAD/CAM 系统建立实物的表面模型。



#### ►4. 原型 CAD 模型重建

运用 CAD 系统模型, 将一些分割后形成的三维点云数据做表面模型的拟合, 并通过各曲面片的求交与拼接获取零件原型表面的 CAD 模型。目的在于获得完整一致的边界表示 CAD 模型, 即用完整的面、边、点信息来表示模型的位置和形状。只有建立了完整一致的 CAD 模型, 才可保证接下来的过程顺利进行下去。

#### ►5. 特殊技巧的应用

在逆向工程技术中, 进行逆向造型的过程中, 往往有一些特殊技巧的使用有利于加快模型的建立与完善, 如展开、抛物面的计算和特殊编程等。

#### ►6. 重建 CAD 模型的检验与修正

主要包括精度与模型曲面品质的检验与修正等方面。精度反映反求模型与产品实物差距的大小。该阶段的进程是: 根据获得的 CAD 模型重新测量和加工出样品, 来检验重建的 CAD 模型是否满足精度或者其他实验性能指标的要求, 对不满足要求者重复以上过程, 直至达到零件的设计要求。

目前, 精度的评价没有统一的标准, 但是根据通用的方式, 可以在曲面品质评价时, 采用控制顶点、曲率梳、反射线、高光线、等照度线和高斯曲率等方法, 对曲面拼接连续性精度和曲面的内部品质进行评价。

### 1.3 逆向工程的应用

仿制、仿造已经成为了我国一部分企业的固定生产方式, 针对市场热门产品的仿造品屡见不鲜, 逆向工程的广泛应用在其中起到了不可忽视的作用。因此, 下面介绍一些逆向工程技术的应用领域。

#### ►1. 对产品外形美学有特别要求的领域

由于此领域的要求特殊, 所以设计师并不是按照传统的方式, 先用 CAD 进行模型设计; 而是首先制作全尺寸的粘土模型或者比例模型, 然后利用逆向工程技术重建产品数字化模型。

#### ►2. 在航天航空、汽车等领域

为了满足各种复杂空气动力学, 因此要设计符合要求的动力模型, 必须借助逆向工程, 转化为产品的三维 CAD 模型及其模具。例如, 汽车后视镜的设计经过零件原形的数字化, 获取零件的设计与加工特征, 零件原形 CAD 模型的重建、重建 CAD 模型的检验与修正通过逆向工程的再设计, 实现对后视镜的反设计, 如图 1-3 所示。

#### ►3. 在损坏或磨损零件的还原领域

当零件损坏或磨损时, 可以直接采用逆向工程的方法重构出 CAD 模型, 对损坏的零件表



面进行还原和修补。同时还可以修复破损的文物和艺术品。

当零件损坏或磨损时，可以直接采用逆向工程方法重构出 CAD 模型，对损坏的零件表面进行还原和修补。由于被测零件表面的磨损、损坏等会造成测量误差，这就要求逆向工程系统具有推理、判断能力，如对称性、标准尺寸、平面间的平行、垂直等特性，最后加工出零件。

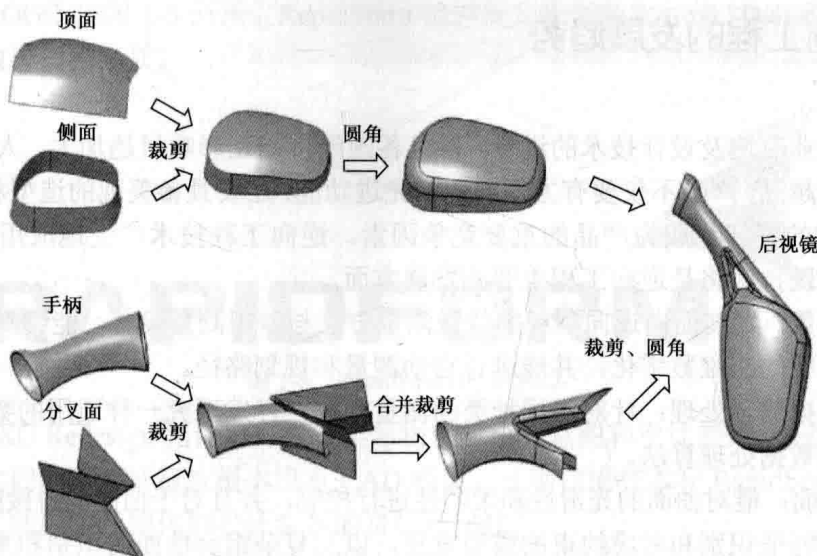


图 1-3 汽车后视镜的再设计过程

#### 4. 在模具行业领域

在模具行业，通过逆向工程技术，将实物通过数据处理测量与处理产生数字化模型，并与实物相比较，通过反复修改原始设计的模具型面，达到优化产品的作用，并且可以大大节约成本。例如，利用高速数控铣床的扫描功能将顶盖表面数据化，测量中必须考虑测量探头的补偿。由于存在测量误差，对得到的数据应进行处理加工，包括去除坏点、补齐测量盲区数据、数据均化和平滑等。

#### 5. 在快速原型设计领域

快速原型设计是指对人体的骨头、关节等的复制以及假肢制造等，要以人体为几何模型，再通过逆向工程技术进行反设计。

#### 6. 在造型设计领域

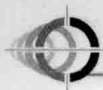
造型设计包括立体动画、多媒体虚拟实景、广告动画等。

#### 7. 在 RPM 领域

在 RPM 领域，通过逆向工程，可以方便地对快速原型制造的原型产品进行快速、准确的测量，找出产品设计的不足，并重新设计，经过多次设计可使产品完善。

#### 8. 在层析 X 射线领域

通过层析 X 射线摄像法，产生生物体的外部形态，快速发现、度量 and 定位物体的内部缺陷，



即可以无损探伤工业产品,为产品的检测与质量的提高提供重要的改进方法。

除了以上叙述的应用领域之外,在没有提及的其他方面也会有逆向工程技术应用的前景,并存在着巨大的潜能,这都有赖于将来人们的创造开发。

## 1.4 逆向工程的发展趋势

随着世界工业制造及设计技术的进步,以及各国经济相互影响日趋加大,人们对产品的各方面要求也越来越高。产品不仅要有方便实用的先进功能,还要具备美观的造型和个性的外观。而且外观和造型的好坏已成为产品的重要竞争因素。逆向工程技术广泛地应用在设计 and 制造中。下面一些关键技术将是逆向工程主要的发展方面。

(1) 数据测量:发展面向逆向工程的特殊测量方法与专用测量设备,能够高速、高精度地实现产品几何形状的三维数字化,并能进行自动测量和规划路径。

(2) 离散数据的预处理:针对不同种类的测量数据,开发研究一种通用的数据处理软件,完善改进目前的数据处理算法。

(3) 拟合曲面:能对曲面的光滑性和柔顺性进行控制,并且对于曲面的拼接能光滑地进行。

(4) 有效的特征识别和考虑约束的模型重建,以及复杂组合曲面的识别和重建方法。

(5) 发展测量技术、模型重建技术、基于网络的协同设计和数字化制造技术,并将它们集成于逆向工程技术,从而更加完善逆向工程技术。

## 1.5 主流逆向工程软件介绍

### ► 1. Geomagic Studio

Geomagic Studio 是 Geomagic 公司的一款逆向软件,可根据任何实物零部件通过扫描点云自动生成准确的数字模型。Geomagic Studio 的 LOGO 如图 1-4 所示。作为自动化逆向工程软件,Geomagic Studio 还为新兴应用提供了理想的选择,如定制设备大批量生产、即定即造的生产模式以及原始零部件的自动重造。它可以输出行业标准格式,包括 STL、IGES、STEP 和 CAD 等众多文件格式。



图 1-4 Geomagic Studio 的 LOGO



## 2. RapidForm

RapidForm 是韩国 INUS 公司出品的逆向工程软件, RapidForm 提供了新一代运算模式, 可实时将点云数据运算出无缝的多边形曲面, 使它成为 3D Scan 后处理之最佳化的接口。RapidForm 的 LOGO 如图 1-5 所示。RapidForm 能够提升工作效率, 使 3D 扫描设备的运用范围扩大, 并能改善扫描品质。



图 1-5 RapidForm 的 LOGO

RapidFormXO Redesign 允许用户捕捉实际物体的设计意图和设计参数, 这些东西可能在制造过程中失去它们的定义特征或根本没有 CAD 模型。三维扫描技术和 RapidFormXO Redesign 给制造者提供了抽取实际物体的设计参数的自由和弹性。

## 3. CopyCAD

CopyCAD 是由英国 DELCAM 公司出品的功能强大的逆向工程系统软件, 它能允许从已存在的零件或实体中产生三维 CAD 模型。CopyCAD 的 LOGO 如图 1-6 所示。该软件为来自数字化数据的 CAD 曲面的产生提供了复杂的工具。CopyCAD 能够接受来自坐标测量机床的数据, 同时跟踪机床和激光扫描器。

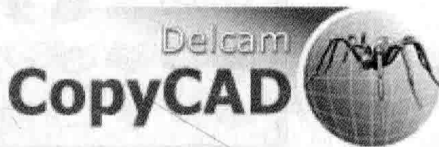


图 1-6 CopyCAD 的 LOGO

它采用全球首个 Tribid Modelling 三角形、曲面和实体三合一混合造型技术, 集三种造型方式为一体, 创造性地引入了逆向/正向混合设计的理念, 成功地解决了传统逆向工程中不同系统相互切换、烦琐耗时等问题, 为工程人员提供了人性化的创新设计工具, 从而使得“逆向重构+分析检验+外型修饰+创新设计”在同一系统下完成。

## 1.6 Imageware 中文版简介

### 1. 概况

随着科学技术的进步和消费水平地不断提高, 许多其他行业也开始纷纷采用逆向工程软件进行产品设计。以微软公司生产的鼠标器为例, 就其功能而言, 只要有三个按键就可以满足使用需要, 但是, 怎样才能让鼠标器的手感最好, 而且经过长时间使用也不易产生疲劳感却是生产厂商需要认真考虑的问题。因此微软公司首先根据人体工程学制作了几个模型并交给使用者评估, 然后根据评估意见对模型直接进行修改, 直至修改到大家都满意为止, 最后再将模型数



据利用逆向工程软件 ImageWare 生成 CAD 数据。当产品推向市场后, 由于外观新颖、曲线流畅, 再加上手感也很好, 符合人体工程学原理, 因而迅速获得用户的广泛认可, 产品的市场占有率大幅度上升。

ImageWare 由美国 EDS 公司出品, 后来被德国 Siemens PLM Software 公司所收购, 现在并入旗下的 NX 产品线, 是著名的逆向工程软件, 广泛应用于航空航天和汽车制造工业, 甚至在消费家电与模具的设计也有所涉及。它具有强大的数据处理、自由曲面造型和误差检测的能力, 可处理几万乃至几百万的点云数据。

ImageWare 采用 NURBS 技术, 软件功能强大, 易于应用。ImageWare 对硬件要求不高, 可运行于各种平台: UNIX 工作站、PC, 操作系统可以是 UNIX、NT、Windows XP、Windows 7、Windows 10、Windows Server 及其他平台。ImageWare 由于在逆向工程方面具有技术先进性, 产品一经推出就占领了很大市场份额, 如今仍以较稳定的速度增长。ImageWare 逆向工程软件的主要产品: Surfacer 逆向工程工具和 Class 1 曲面生成工具; Verdict 对测量数据和 CAD 数据进行对比评估; Build it 提供实时测量能力, 验证产品的制造性; RPM 生成快速成型数据; View 功能与 Verdict 相似, 主要用于提供三维报告。ImageWare 的总体截面如图 1-7 所示。

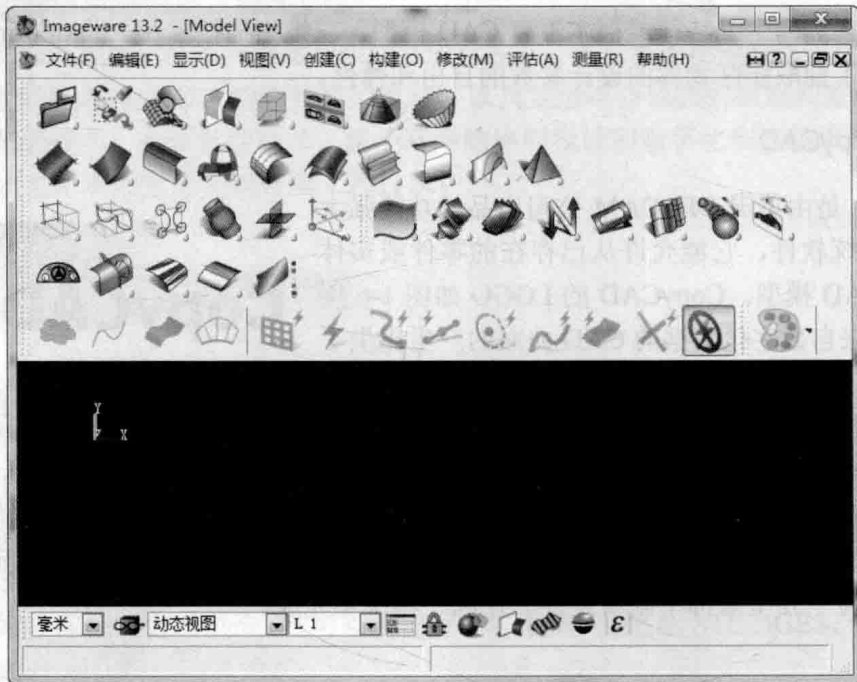


图 1-7 ImageWare 的总体截面

ImageWare 凭借新颖、完善的处理能力, 可对产品的反设计提供众多的思路。它对曲面造型的超光滑处理与误差检测, 吸引了更多的企业对它的重视。与此同时, 该软件并不限制用户的创意思法, 可以凭直觉随意地构思作品, 并且提供了 3D 环境下快速的探究和评估。该软件同时提供了直接的数据交换能力和标准 3D、CAD 接口, 允许用户很容易地将模型集成到任何环境。它的核心竞争力包括三维检测、高级曲面、多边形造型和逆向工程。因此, ImageWare 特别适用以下情况。

- (1) 对现有零件工装等建立数字化图库。
- (2) 企业只能拿出真实零件而没有图纸, 又要求对此零件进行修改、复制及改型。





(3) 在汽车、家电等行业要分析油泥模型,对油泥模型进行修改,得到满意结果后将此模型的外形在计算机中建立电子样机。

(4) 在模具行业,往往要用手工建模,修改后的模具型腔必须要及时反映到相应的 CAD 设计中,这样才能最终制造出符合要求的模具。

(5) 在计算机辅助检验中得应用。

## ► 2. Imageware 模块

Imageware 的主要模块包括:基础模块、点处理模块、评估模块、曲线建模、曲面建模模块、多边形造型模块、检验模块和混合建模。

(1) Imageware 基础模块:包含诸如文件存取、显示控制及数据结构。

(2) Imageware 点处理模块:包含操作由扫描仪获得的点云数据的工具。这是一个非常独特的能力,Imageware 优化的处理方法可以非常好地处理大数据量问题。操作点数据对于用户是非常重要的,特别是在逆向工程或检验的首项任务中。用户可以拥有完全的自由度在大量的工具中进行选择,以完成清理、稀疏及检查点云的工作。Imageware 解决方案在点处理领域具有十几年的经验,用强大的功能证明了产品的成熟性。这些功能都经过特殊优化以实现真正的设计捕捉并处理大量数据集。

(3) Imageware 评估模块:包含定性和定量地评定模型总体质量的工具。高效的连续性管理工具能够保持各个实体之间的位置、切线和曲率条件关系,而偏差检查工具用于精确评估各个实体之间的差别。全面评估和检查整体模型质量能够有效扩展功能、提高性能,并缩短了上市时间和开发周期。

(4) Imageware 曲线建模模块:新的增强命令提供了一套更加完整的曲线创建功能,用于开发基于曲线的曲面。对于高质量和 A 级曲面处理任务而言,这极为重要。这些新的增强命令减少了创建曲线簇通常需要的重复,同时无限构造线和平面功能增加了创建新几何图形的准确性。无限构造元素可以用于剪切和交叉操作的辅助工具。另外,新添加的无限工作面等其他工具可以方便通用建模的操作。该工作面能够作为一个简图面,或者用于使曲面和曲线相交。

(5) Imageware 曲面建模模块:提供了完整的曲线与曲面建立和修改的工具,这包括扫掠、放样及局部操作用到的圆角、翻边及偏置等曲面建立命令。几何的编辑可以用多种方法实现。首先就是通过直接编辑曲线及曲面的控制点。这对于初始的黑屏设计、输入的遗留数据或有小局部需要修改的情况非常有用。作为控制点编辑工具的补充,新增了完整的针对曲线网络及相关结构的新的三维约束解算器。这些工具捕捉引起自动更新物体之间的关系,从而快速改善设计人员的效率。Imageware 曲面模块也提供功能强大的曲面匹配能力,这将允许将临近的曲面片在边界线或内部点上进行曲面位置、相切及曲率连续的处理,同时提供丰富的匹配选项可以精确控制结果。

(6) Imageware 多边形造型模块:能完美地适合模块及三角形数据的处理。作为单独运行的模块,它提供了处理任何大小的多边形模型的能力。举例来说,对于三维扫描数据的处理与分析,与传统过程相比可以节约大量时间(如从逆向工程到生成 Nurbs 曲面),它与点处理和曲面模块相结合,就会形成市场上极具竞争力的造型工具。

(7) Imageware 检验模块:针对检测,尤其复杂数字形状与物理样机的三维模型的检验。密集的点云由不同类型的扫描测量设备获得,用与数字描述与 CAD 模型比较。