

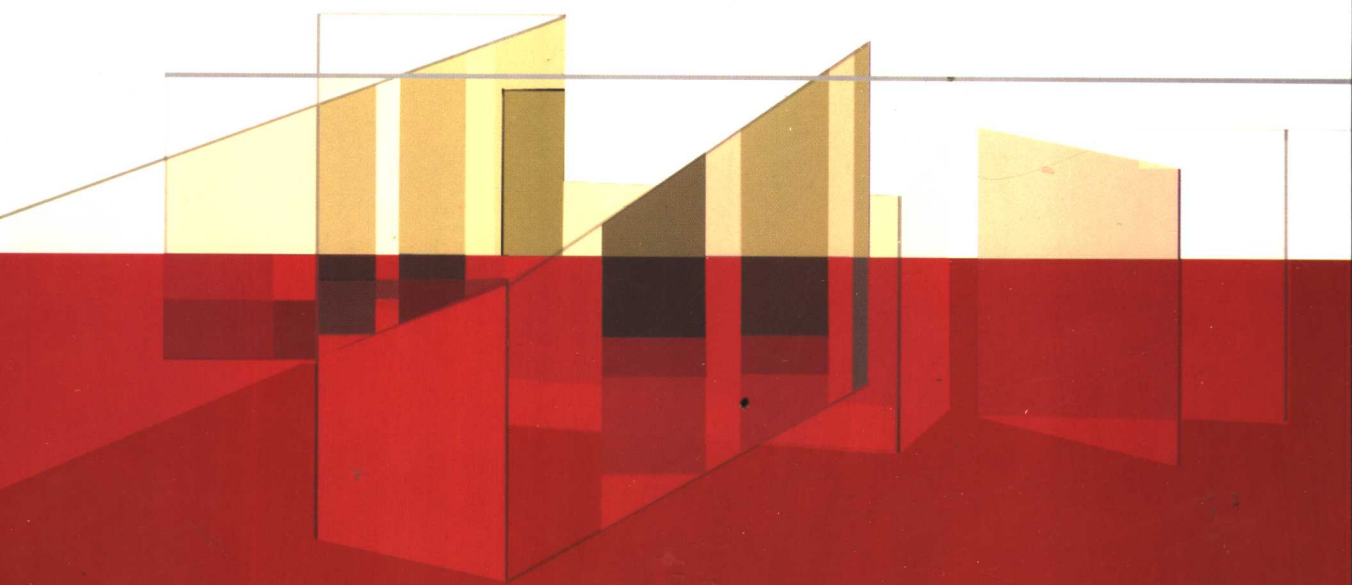
CAD/CAM/CAE 实用技术

Imageware 逆向造型技术基础

SUNNYTECH
浙大旭日科技

单 岩 谢斌飞 编著

- 必要的理论知识与实际的工程经验，奠定扎实的学习基础
- 典型的应用案例，有助于掌握 Imageware 的使用方法
- 明确的学习重点和丰富的使用技巧，大大提高实际技能
- 详细的操作步骤和重点提示，使学习更加方便



清华大学出版社

CAD/CAM/CAE 实用技术

Imageware 逆向造型 技术基础

单岩 谢斌飞 编著

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

本书针对三维逆向造型的实际需要,围绕 Imageware 软件的点云、曲线和曲面的生成、编辑及分析等相关内容,介绍了 Imageware 软件的功能、使用方法及注意事项。大部分功能均配有相应的实例操作来说明其应用思路和应用技巧,以帮助读者快速、直观地领会如何将 Imageware 软件中的功能运用到实际工作中,尽快地达到学以致用目的。

本书实例操作中用到的源文件可通过 <http://www.tupwk.com.cn/downpage> 下载。

本书结构清晰、语言简练、实例丰富、可操作性强,可作为 CAD 技术人员的自学教材、大专院校 CAD 专业课程教材以及 CAD 技术各级培训教材。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

Imageware 逆向造型技术基础/单岩,谢斌飞 编著. —北京:清华大学出版社,2006.2

(CAD/CAM/CAE 实用技术)

ISBN 7-302-12211-3

I. I… II. ①单… ②谢… III. 三维—造型设计:计算机辅助设计—应用软件, Imageware IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 144376 号

出 版 者:清华大学出版社 地 址:北京清华大学学研大厦

<http://www.tup.com.cn> 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 客户服务:010-62776969

组稿编辑:胡伟卷

文稿编辑:刘金喜

封面设计:于洁 王永

版式设计:康博

印 装 者:三河市春园印刷有限公司

发 行 者:新华书店总店北京发行所

开 本:185×260 印张:14.5 字数:341 千字

版 次:2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-12211-3/TP·7867

印 数:1~4000

定 价:26.00 元

《CAD/CAM/CAE 实用技术》丛书特色

▼ 基础知识与实用技术相结合

了解和掌握一定的基础知识，有助于深刻领会 CAD/CAM/CAE 技术中的各种实用功能，做到“知其然，更知其所以然”，从而提高学习效率，保证学习效果，为技术水平的不断提高打下坚实的基础。本丛书中的基础知识内容均经过仔细的筛选，与丛书中所讲授的各种实用技术密切相关。同时，以通俗直观的形式进行讲解，便于读者理解和掌握。

▼ 突出核心内容

CAD/CAM/CAE 软件虽然种类繁多，但其中的核心功能基本相同，并且构成了 CAD/CAM/CAE 技术的主要组成部分。丛书将各种 CAD/CAM/CAE 技术中的大量功能进行归纳、分类和总结，重点讲解具有共性的、最实用的部分，使读者从整体上把握 CAD/CAM/CAE 技术中的核心功能，并了解其中的规律性，从而达到学精学透的目的。

▼ 功能操作与实际应用相结合

本丛书不仅讲解了 CAD/CAM/CAE 软件中各种实用功能的操作步骤，更重要的是讲解这些功能的应用背景、应用方法和技巧，使读者能够将所学的知识应用到实际工作中，从而达到学以致用目的。

丛书编委会

主 编 单岩（浙江大学）

副主编 吴立军（浙江科技学院）

编 委 周瑜（浙大旭日科技） 周超明（浙大旭日科技） 王刚（浙江大学）
王蓓（浙大旭日科技） 褚专祺（浙大旭日科技）

丛 书 序 言

工业技术不断进步的一个重要标志是计算机应用的日益普及。在机械制造业, 计算机辅助设计/制造/工程分析(CAD/CAM/CAE)技术的地位和角色正在发生深刻的转变——由稀有昂贵的高级技术资源普及成为常规的和必备的技术手段。随着全球制造业向我国的转移, 这种转变已呈现出加速的趋势, 形成了对该领域技术人才巨大的市场需求。

在这一趋势的带动下, CAD/CAM/CAE 技术已成为机械行业从业人员和高等院校相关专业学生的学习和培训热点。

CAD/CAM/CAE 技术的发展十分迅速, 各种软件层出不穷, 版本更新越来越快。面对种类繁多的软件以及日益复杂的功能, 初学者往往会感到十分茫然, 难以把握学习的要领, 以致影响学习的效果和积极性。

为帮助读者扎实、高效地学习和掌握 CAD/CAM/CAE 技术中最实用的部分, 我们组织编写了这套《CAD/CAM/CAE 实用技术》丛书。这套丛书总结了我们多年的 CAD/CAM/CAE 技术应用和培训经验, 不仅包括了 CAD/CAM/CAE 技术中的经典内容, 还讲授了一些比较专业的高级实用技术。其中包括:

- 通用的、基础性的 CAD 技术, 如工程制图、三维造型等。
- 应用较为广泛的高级技术, 如模具分析、逆向工程等。
- 常用的 CAE 分析技术。

本丛书希望达到的学习目标是:

- 使初学者快速、扎实地掌握 CAD/CAM/CAE 的基础知识和基本技能, 并具备一定程度的三维造型能力。
- 使具有一定 CAD/CAM/CAE 技术基础和工作经验的读者掌握更专业的高级技术, 达到较高的应用水平。

本丛书可供具有中专以上文化程度的机械工程师自学, 或作为高等院校相关专业课程的教材, 以及用于 CAD/CAM/CAE 技术的普及和高级培训。

限于编写时间和作者的水平, 丛书中必然会存在需要进一步改进和提高的地方。希望读者及专业人士提出宝贵意见与建议, 以便我们今后不断加以完善。可通过网站 <http://www.51cax.com> 与我们交流。

本丛书是编委会全体成员共同努力的结果, 在此深表谢意。杭州浙大旭日科技开发有限公司的工程师们为本丛书提供了大量的技术资料和技术支持, 在此也对他们表示衷心的感谢。

最后, 感谢清华大学出版社为本丛书的出版提供的机遇和帮助。

《CAD/CAM/CAE 实用技术》丛书编委会

前 言

EDS 公司是全球领先的 IT 服务公司,其 Imageware 软件是当今世界上最先进的 CAD/CAM/CAE 一体化软件之一,广泛应用于航空、航天、汽车、模具、通用机械和电子等工业领域。学习 Imageware 软件的三维造型技术已成为当前 CAD 应用培训的一个热点。

本书详细地介绍了 EDS 公司 2005 年初发布的 Imageware 软件 12.0 版本的功能及使用方法。在点云、曲线及曲面的创建、编辑和分析等内容的介绍中采用了具体的实例来讲解这些功能的使用方法,力求使读者更加深刻地理解软件功能的实际应用。

全书共分 6 章,前两章主要介绍 Imageware 的基本菜单,后面几章按照逆向工程的流程介绍点、线、面的处理过程和最后的分析过程。

第 1 章 逆向工程。介绍逆向工程的定义、逆向工程的应用以及逆向工程的关键技术等内容,最后介绍逆向工程中的 CAD 模型重建的基本流程。

第 2 章 基础操作。从基本的软件安装开始,进而介绍 Imageware 的用户界面、File 菜单和 Edit 菜单的使用、常用的工具条、鼠标操作和 Imageware 快捷键等。

第 3 章 点云处理过程。介绍点云的预处理法,创建点云、编辑点云的方法以及常用的点云数据分析命令的使用方法。

第 4 章 曲线。介绍曲线相关的显示、生成、编辑和常用的分析方法等。

第 5 章 曲面造型。介绍生产曲面、编辑曲面和常用的分析曲面的方法。

第 6 章 分析与测量。系统地介绍 Imageware 中的各种分析、测量命令。

从第 3 章的创建、构建、编辑和分析点、线、面的功能讲解部分开始,每一个需要用到素材的操作步骤的讲解都配有所需的部件文件,以供读者亲自实践,加以理解和体会。这些文件可通过 <http://www.tupwk.com.cn/downpage> 下载。

恳请读者对本教材中的不足提出宝贵意见和建议,以便我们不断改进。读者可通过网站 <http://www.51cax.com> 与我们交流。

作 者

目 录

第 1 章 逆向工程	1
1.1 逆向工程的定义	1
1.2 逆向工程的应用	2
1.3 逆向工程中的关键技术	3
1.4 CAD 模型重建	5
第 2 章 基础操作	7
2.1 概况	7
2.1.1 Imageware 简介	7
2.1.2 主要模块	8
2.1.3 Imageware 的优点	9
2.1.4 安装及启动	11
2.1.5 使用 Imageware 的一般流程	13
2.2 用户界面	15
2.3 菜单栏	17
2.3.1 File(文件)	18
2.3.2 Edit(编辑)	21
2.3.3 Display(显示)和 View(观察)	27
2.3.4 Create(创建)	40
2.3.5 Construct(构建)	40
2.3.6 Modify(修改)	40
2.3.7 Evaluate(分析)	40
2.3.8 Measure(测量)	41
2.3.9 Help(帮助)	41
2.4 常用工具条	42
2.4.1 浮动工具条	42
2.4.2 曲面浮动工具条	42
2.4.3 主工具条	43
2.4.4 自定义工具条	44
2.5 鼠标操作	45
2.5.1 鼠标左键	45

2.5.2	鼠标中键	46
2.5.3	鼠标右键	46
2.6	常用快捷键	47
第 3 章	点云处理过程	50
3.1	预处理点云	50
3.1.1	读入点云	50
3.1.2	点云的显示	51
3.1.3	对齐点云	53
3.2	生成点	57
3.2.1	创建点	57
3.2.2	构建点	59
3.2.3	特征提取点云	66
3.3	编辑点云	67
3.3.1	析出点云	68
3.3.2	删除杂点	76
3.3.3	剖面	77
3.3.4	偏置点云	82
3.3.5	多边形化点云	83
3.3.6	标签点	84
3.4	分析点云数据	86
3.4.1	测量点坐标	86
3.4.2	测量点-点距离	86
3.4.3	点云曲率	87
第 4 章	曲线	89
4.1	概述	89
4.1.1	曲线的要素	89
4.1.2	曲线的类型	90
4.1.3	曲线的显示	91
4.2	生成曲线	93
4.2.1	3D 曲线	93
4.2.2	直线	96
4.2.3	圆弧	102
4.2.4	圆	105
4.2.5	椭圆	106
4.2.6	长方形	107

4.2.7 槽形	108
4.2.8 多边形	109
4.2.9 由点拟合曲线	110
4.2.10 由面析出曲线	114
4.3 编辑曲线	116
4.3.1 混成曲线	116
4.3.2 倒圆角	117
4.3.3 偏置曲线	119
4.3.4 两曲线交点	120
4.3.5 匹配两曲线	121
4.3.6 重新参数化曲线	122
4.3.7 插入或删除节点	123
4.3.8 重定义 B 样条线	124
4.3.9 插入或删除控制点	125
4.3.10 延伸	126
4.3.11 平顺	127
4.3.12 剪断曲线	128
4.3.13 改变曲线方向	129
4.4 分析曲线	130
4.4.1 控制顶点	130
4.4.2 曲率	131
4.4.3 连续性	132
4.4.4 曲线一点云差异	133
4.4.5 曲线—曲线差异	134
4.4.6 测量曲线一点距离	135
第 5 章 曲面造型	137
5.1 概述	137
5.1.1 曲面的要素	137
5.1.2 生成曲面的一般方法	138
5.1.3 曲面的显示	138
5.2 生成曲面	140
5.2.1 平面	140
5.2.2 基本曲面	145
5.2.3 由点云拟合曲面	152
5.2.4 由点云和曲线拟合曲面	157
5.2.5 由边界曲线创建曲面	158

5.2.6	UV 向量线构建曲面	159
5.2.7	通过曲线的曲面	161
5.2.8	旋转曲面	163
5.2.9	边界线构建平面	164
5.2.10	直纹面	164
5.2.11	扫掠曲面	165
5.2.12	拉伸曲面	167
5.2.13	管状曲面	167
5.3	编辑曲面	168
5.3.1	凸缘面	168
5.3.2	桥接曲面(Blend)	170
5.3.3	倒圆角	171
5.3.4	偏置曲面	173
5.3.5	剖断面	174
5.3.6	曲面交线	175
5.3.7	匹配曲面	176
5.3.8	重新参数化	177
5.3.9	插入曲面节点	178
5.3.10	延伸曲面	179
5.3.11	清理曲面	180
5.3.12	合并曲面(Merge)	181
5.3.13	剪断曲面	182
5.3.14	修剪曲面(Trim)	183
5.3.15	改变曲面法向	183
5.3.16	曲面的自由编辑	184
5.4	分析曲面	186
5.4.1	曲面连续性	187
5.4.2	曲面与点云的差异	188
第 6 章	分析与测量	190
6.1	分析	190
6.1.1	控制顶点	190
6.1.2	法线	192
6.1.3	曲率	193
6.1.4	连续性(Continuity)	195
6.1.5	偏差	195
6.1.6	点云特性	196

6.1.7 拔模角..... 197

6.1.8 多边形模型..... 198

6.1.9 实体信息(Object Information)..... 200

6.1.10 曲面品质..... 202

6.2 测量..... 204

6.2.1 基于点云的差异..... 204

6.2.2 基于曲线的差异..... 207

6.2.3 基于曲面的差异..... 208

6.2.4 距离..... 209

6.2.5 面积..... 209

6.2.6 角度..... 210

6.2.7 位置坐标..... 212

6.2.8 曲率半径..... 213

6.2.9 交互式..... 215

6.2.10 二次曲面..... 216

第1章 逆向工程

【内容提要】

本章是对逆向工程的简介，包括逆向工程的定义、逆向工程的应用和逆向工程中的关键技术等。

【学习重点】

- 了解逆向工程概念及其工艺流程
- 掌握 CAD 模型重构的工艺流程

1.1 逆向工程的定义

“逆向工程”(Reverse Engineering, RE)，也称反求工程、反向工程、三坐标点测绘、三坐标点造型、抄数等。它是将实物转变为 CAD 模型相关的数字化技术、几何模型重建技术和产品制造技术的总称，是将已有产品或实物模型转换为工程设计模型和概念模型，并在此基础上对已有产品进行解剖、深化和再创造的过程。它源于精密测量和质量检验，是设计下游向设计上游反馈信息的回路。

传统的产品实现通常是从概念设计到图样，再制造出产品，我们称之为正向工程(或者顺向工程)，而产品的逆向工程是根据零件(或原型)生成图样，再制造产品。目前大多数的逆向工程技术的研究和应用都集中在几何形状，即重建产品实物的 CAD 模型和最终产品的制造方面。

做一个逆向工程的工作，可能比做一个正向设计更具有挑战性，因为如果想做出一个完美的产品，首先必须尽量理解原有模型的设计思想，在此基础上还需要修复或克服原有模型上存在的缺陷。

从某种意义上看，逆向也是一个重新设计的过程。它是一种以先进产品设备的实物、样件或模型作为研究对象，以当前高速发展的计算机相关软件以及硬件设施作为应用工具，进而开发出同类的更为先进的产品的技术，是针对消化、吸收先进技术采取的一系列分析方法和技术的结合。

总的来说，逆向工程就是从模型、样品到设计、造型的过程。

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)、快速原型制造(RP)、快速模具和 PDM 系统等先进技术对其进行处理或

管理的一个系统过程。

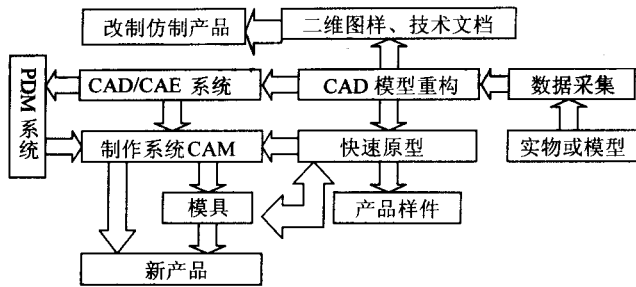


图 1-1 逆向工程工作流程图

1.2 逆向工程的应用

作为产品设计制造的一种手段，在 20 世纪 90 年代初，逆向工程技术开始引起各国工业界的高度重视。从此以后，由于市场发展的需求，有关逆向工程技术的研究就一直备受关注，而且逆向工程技术在制造业领域中的应用也越来越广泛。逆向工程有以下一些应用背景。

(1) 尽管计算机辅助设计(CAD)技术发展迅速，各种商业软件的功能日益增强，但目前还无法满足一些复杂曲面零件的设计需要，还存在许多使用粘土或泡沫模型代替 CAD 设计的情况，最终需要运用逆向工程将这些实物模型转换为 CAD 模型。

(2) 外形设计师倾向使用产品的比例模型，以便于产品外形的美学评价，最终可通过运用逆向工程技术将这些比例模型用数学模型表达，通过比例运算得到美观的真实尺寸的 CAD 模型。

(3) 由于各相关学科发展水平的限制，对零件的功能和性能分析，还不能完全由 CAE 来完成，往往需要通过实验来最终确定零件的形状。例如，在模具制造中经常需要通过反复试冲和修改模具型面方可得到最终的、符合要求的模具。若将最终符合要求的模具测量并反求出其 CAD 模型，在再次制造该模具时就可运用这一模型生成加工程序，就可大大减少修模量，提高模具生产效率，降低模具制造成本。

(4) 以已有产品为基准点进行设计已经成为当今的一条设计理念。目前，我国在设计制造方面与发达国家还有一定的差距，利用逆向工程技术可以充分吸收国外先进的设计制造成果，使我国的产品设计立于更高的起点，同时加快某些产品的国产化速度。

(5) 艺术品、考古文物的复制。

(6) 人体中的骨头、关节等的复制，假肢制造，以及特种服装、头盔的制造要以使用者的身体为原始设计依据，此时，需首先建立人体的几何模型。

(7) 在 RPM 应用中，逆向工程的最主要表现为：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，进行重新设计，经过多

次迭代可使产品完善。

(8) 借助于层析 X 射线摄像法(CT 技术), 逆向工程不仅可以产生物体的外部形态, 而且可以快速发现、度量和定位物体的内部缺陷, 从而成为工业产品无损探伤的重要手段。

除了以上提到的应用背景, 在其他的应用背景上逆向工程技术也存在着巨大的潜能。

1.3 逆向工程中的关键技术

1. 三坐标测量数据处理

一般来说, 三维表面数据的采集方法可分为接触式数据采集和非接触式数据采集两大类。接触式有触发式和连续扫描式数据采集, 还有基于磁场、超声波的数据采集等; 而非接触式主要有激光三角测量法、激光测距法、光干涉法、结构光学法、图像分析法等。

三坐标测量的技术要求可以用下面 20 个字来概括: 数据整齐、方向合理、分层分色、疏密有致、对称测半。在质量上要求信息充分, 精度达标, 适应造型需要; 在效率上要求满足造型需求, 减少冗余数据。三坐标测量在功能扩充上还有超大超长柔性工件测量及数据处理。

三坐标测量的流程包括装夹、测量和数据处理。在装夹时要注意控制变形, 减少重定位, 方位便于测量和造型; 在测量时要注意测量次序、方向和密度, 前面所说的“数据整齐、方向合理、分层分色、疏密有致、对称测半”都是在这个环节上需要注意的问题; 数据处理包括对称基准重建、重定位整合、变形修正、拔模方向及其他特征识别。

三坐标测量设备有接触式和非接触式两种。

接触式的三坐标测量设备有三坐标测量划线机、三坐标测量机、机械手和机械臂等, 如图 1-2 所示。

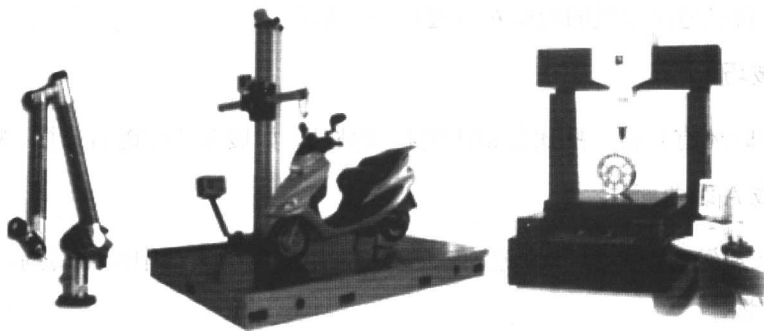


图 1-2 各类接触式三坐标测量设备

非接触式测量的三坐标测量设备有投影机、数码成像机、激光扫描机等。如图 1-3 中所示,左图为投影机,中间为数码成像机,右图为激光扫描机。



图 1-3 各类非接触式三坐标测量设备

2. 复杂曲面的造型

曲面构造是 CAD 逆向造型中的重要环节。在曲面构造中常常碰到一些十分复杂的曲面,对这些复杂曲面进行造型就成为逆向工程中的一项关键技术。

在构造曲面时还要注意把握产品的特征,这也是至关重要的,只有做到了这一点,才能保证构造出来的曲面符合要求,即曲面构造光滑,特征表达清晰、准确、流畅。

3. 产品缺陷处理

在逆向造型时,碰到的产品经常存在这样或那样的缺陷,比如变形或要进行误差修正。碰到变形的产品时,在逆向造型时要尽量使其恢复到原来的样子。

误差修正属于测量缺陷的处理,由于测量的数据存在着明显的误差,在逆向造型时,工程师们要根据自己逆向造型的经验对其进行误差修正。

4. 特殊的技巧

在逆向造型时还有其他一些比较常用的特殊技巧,如展开、抛物面计算、特殊编程等。

5. 高品质或 A 级曲面

高品质或者 A 级曲面在汽车、航空航天以及家用电器的设计中经常用到。这类曲面要求相当高的光顺性。

A 级曲面设计者所追求的经典数值是,位置连续性误差不大于 0.001mm ,相切连续性误差不大于 0.05° ,曲率连续性根据情况而定。但是,A 级曲面设计的视觉效果要求与触觉效果一致。

1.4 CAD 模型重建

本书着重讲述的是用专业逆向工程软件 Imageware 来实现 CAD 重构这一部分内容。

CAD 模型重建,即逆向造型,是根据坐标测量机得到的数据点实物对象的模型。根据实物外形的数字化信息,可以将测量得到的数据点分成两类:有序点和无序点(散乱点)。由不同的数据类型,形成了不同的模型重建技术。

目前较成熟的方法是通过重构外形曲面来实现实物重建。常用的曲面模型有 Bezier、B-Spline(B 样条)、NURBS(非均匀有理 B 样条)和三角 Beizer 曲面。

逆向工程的 CAD 模型重构过程主要包括:点处理过程、曲线处理过程和面处理过程。

- 点处理过程:对已经存在的物理模型进行分析→决定什么是下游工程的需要→用各种测量技术从模型中得到点的数据→读入点云的数据(如有需要对齐点云数据)→清除不需要的点→规划创建面所需的点并显示这些点。如图 1-4 所示。

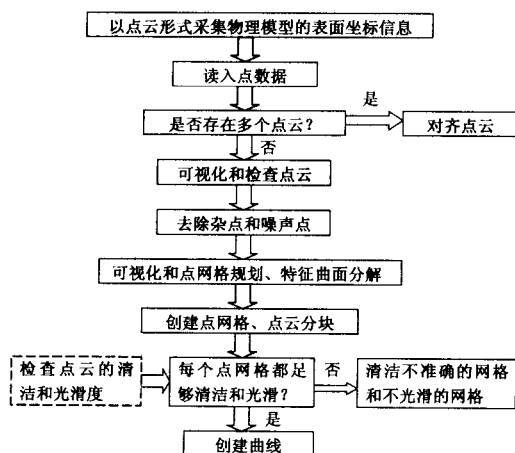


图 1-4 点处理过程

- 曲线处理过程:规划要创建曲线的类型→由已经存在的点创建曲线→检查和修改曲线。如图 1-5 所示。

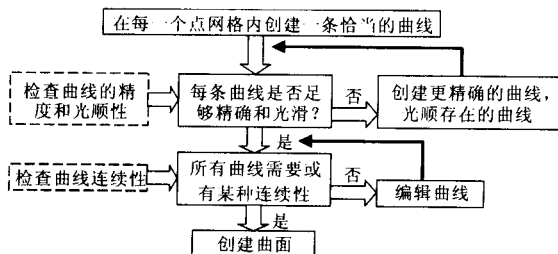


图 1-5 曲线处理过程

- 面处理过程：规划要创建的曲面的类型→由已经存在的曲线或者点云创建曲面→检查和修改曲面。如图 1-6 所示。

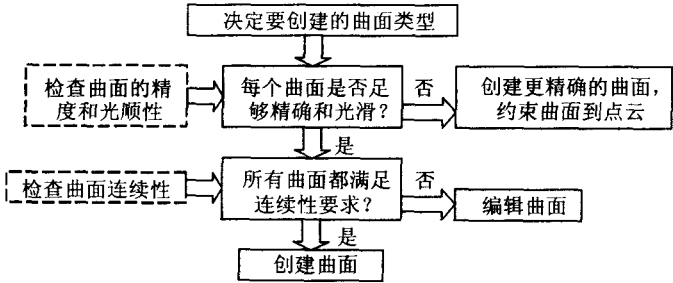


图 1-6 面处理过程

这一部分工作主要使用逆向工程软件实现，目前进行 CAD 模型重建对 CAD 支撑系统有两种选择方案：一是基于正向的商品化 CAD/CAE/CAM 系统软件，如美国 EDS 公司的 I-deas、UG、CATIA，美国 PTC 公司的 Pro/Engineer，法国 Matra 公司的 Strim，日本 HZS 公司的 GRADE/CUBE—NC 等；二是选择专用的逆向造型软件，如 Imageware、ICEMSURF、Paraform、Geomagic 等。

采用“正向”技术路线的基本步骤是“点—线—面”特点是测量密度较小，速度较慢；其测量方式为接触式测量，适用对象是柔性多配合产品。若采用“正向”技术路线，推荐使用的逆向工程软件即为 UG 或 CATIA 等正向的软件。

采用“逆向”技术路线的基本步骤是“点—面”特点是测量密度大，速度快；其测量方式多为非接触扫描测量，适用对象是刚性非配合产品。若采用“逆向”技术路线，则推荐使用的逆向工程软件为 Imageware 或 ICEMSURF 等逆向造型软件。