

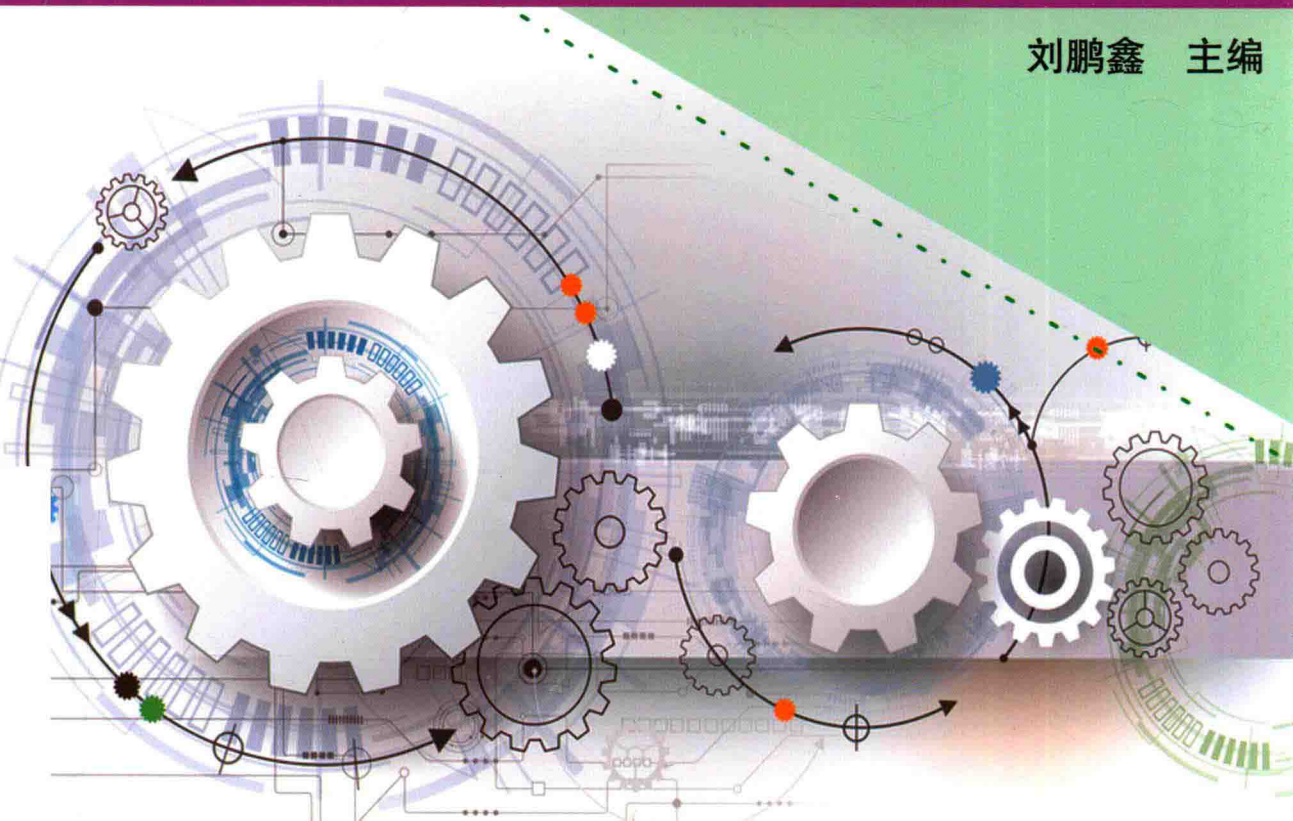
中天实训教程

 中国劳动社会保障出版社

逆向测量技术应用实训教程

NIXIANG CELIANG JISHU YINGYONG SHIXUN JIAOCHENG

刘鹏鑫 主编



中天实训教程

逆向测量技术应用 实训教程

编审委员会

(排名不分先后)

主 任	吴立国						
副 主 任	张 勇	刘玉亮					
委 员	王 健	贺琮义	董焕和	缪 亮	赵 楠		
	刘桂平	甄文祥	钟 平	朱东彬	卢胜利		
	陈晓曦	徐洪义	张 娟				

本书编写人员

主 编	刘鹏鑫						
副主编	刘 璇						
编 者	刘鹏鑫	刘 璇	朱昀沁	吴 萌			
	于 洋	赵 聪	徐洪义	刘 佳			
审 稿	朱东彬						

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

逆向测量技术应用实训教程/刘鹏鑫主编. -- 北京: 中国劳动社会保障出版社, 2018
中天实训教程

ISBN 978-7-5167-3524-4

I. ①逆… II. ①刘… III. ①测量-教材 IV. ①TB22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 131462 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

*

北京谊兴印刷有限公司印刷装订 新华书店经销

787 毫米×1092 毫米 16 开本 6.25 印张 116 千字

2018 年 7 月第 1 版 2018 年 7 月第 1 次印刷

定价: 18.00 元

读者服务部电话: (010) 64929211/84209101/64921644

营销中心电话: (010) 64962347

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

如有印装差错, 请与本社联系调换: (010) 50948191

我社将与版权执法机关配合, 大力打击盗印、销售和使用盗版
图书活动, 敬请广大读者协助举报, 经查实将给予举报者奖励。

举报电话: (010) 64954652

前言

为加快推进职业教育现代化与职业教育体系建设，全面提高职业教育质量，更好地满足中国（天津）职业技能公共实训中心的高端实训设备及新技能教学需要，天津海河教育园区管委会与中国（天津）职业技能公共实训中心共同组织，邀请多所职业院校教师和企业技术人员编写了“中天实训教程”丛书。

丛书编写遵循“以应用为本，以够用为度”的原则，以国家相关标准为指导，以企业需求为导向，以职业能力培养为核心，注重应用型人才的专业技能培养与实用技术培训。丛书具有以下一些特点：

以任务驱动为引领，贯彻项目教学。将理论知识与操作技能融合设计在教学任务中，充分体现“理实一体化”与“做中学”的教学理念。

以实例操作为主，突出应用技术。所有实例充分挖掘公共实训中心高端实训设备的特性、功能以及当前的新技术、新工艺与新方法，充分结合企业实际应用，并在教学实践中不断修改与完善。

以技能训练为重，适于实训教学。根据教学需要，每门课程均设置丰富的实训项目，在介绍必备理论知识基础上，突出技能操作，严格实训程序，有利于技能养成和固化。

丛书在编写过程中得到了天津市职业技能培训研究室的积极指导，同时也得到了天津职业技术师范大学、河北工业大学、红天智能科技（天津）有限公司、天津市信息传感与智能控制重点实验室、天津增材制造（3D 打印）示范中心的大力支持与热情帮助，在此一并致以诚挚的谢意。

由于编者水平有限，经验不足，时间仓促，书中的疏漏在所难免，衷心希望广大读者与专家提出宝贵意见和建议。

编审委员会

内容简介

本教程以逆向测量技术的技术流程为主线，采用项目式教学、任务驱动的模式，由逆向工程认知和扫描测量设备的使用入手，重点学习数据采集、数据预处理和逆向三维数字化模型重建技能。本教程以技能提升为主要目标，突出强调知识和技能的实用性。教程中每个项目包含若干任务，每个项目有明确的学习目标和知识要点，每个任务结束后都有任务测评，用于对知识点的巩固和加深理解，不断提高学员解决问题的能力。

本教程由刘鹏鑫担任主编，其中刘鹏鑫、刘璇负责项目一、项目三的编写，朱昀沁、吴萌和刘佳负责项目二的编写，于洋、赵聪、徐洪义负责项目四的编写；刘鹏鑫、朱东彬负责全书的审稿工作。本教程在编写过程中也得到了很多同行的热情帮助和积极反馈，吸取了很多宝贵的建议。

欢迎您把对本教程的建议发至 43445192@qq.com，以便后续的修订及改进。

目 录

项目一 逆向工程认知

PAGE 1

任务一	初识逆向工程	3
任务二	认知逆向工程	5
任务三	逆向工程的应用	11

项目二 扫描测量设备的使用和数据采集

PAGE 15

任务一	扫描测量设备的硬件组成	17
任务二	扫描测量设备的组装	18
任务三	扫描测量设备的软件	21
任务四	样件扫描案例详解	26

项目三 数据预处理技术

PAGE 37

任务一	认知 Geomagic Studio 软件	39
任务二	Geomagic Studio 软件基本操作训练	40
任务三	基于小汽车外壳数据的点阶段数据处理训练	43
任务四	子弹匣的数据拼接训练	50
任务五	小汽车外壳数据多边形阶段处理训练	55
任务六	铸件模型的多边形阶段处理训练	62

项目四 逆向三维数字化模型重建技术

PAGE 71

任务一 采用探测轮廓线方法重建曲面实训	73
任务二 采用探测曲率方法重建曲面实训	82
任务三 铸件模型的尖锐边处理实训	87

参考文献

PAGE 92



项目一

逆向工程认知

【学习目标】

通过本项目的学习，掌握逆向工程的基本概念和主要流程，理解逆向设计与正向设计的区别、实施的软件平台和硬件设施，了解逆向工程的应用领域，最终实现对逆向工程的总体认知，为后续的深入学习和实操训练打下基础。

【知识要点】

- ◇ 逆向工程的定义
- ◇ 逆向工程的主要流程
- ◇ 逆向工程的软件平台和硬件设施
- ◇ 逆向工程的应用领域

【核心问题】

1. 逆向工程可以用于解决什么问题？
2. 逆向工程的主要流程是什么？
3. 逆向工程的常用软件有哪些？
4. 典型逆向测量设备有哪些？

【教学策略】

课堂讲授 + PPT 实例演示 + 设备展示参观，教师随堂进行测试考核。

任务一 初识逆向工程

在生产制造领域中，一个新产品的诞生离不开研发者的开发和设计。传统的产品设计是从概念设计开始，经过绘制草图、建模、分析、模型修正等一系列的流程，最终产生满足要求的图样，然后投入生产制作。但是在很多情况下，我们只有实物样件或模型，并没有产品的原始图样和设计数据；即使有设计好的图样或者 CAD（Computer Aided Design，计算机辅助设计）模型，但是在加工期间，为了获取产品的最优性能或者是制造的限制，已有的设计也会进行相应的调整，而这样的调整没有反映在图样或者 CAD 模型中，这就需要应用逆向工程更新已有的几何模型。

20 世纪 90 年代初，逆向工程开始引起各国工业界和学术界的高度重视，并逐渐发展成为一个相对独立的技术领域。广义的逆向工程（RE，Reverse Engineering）主要包括产品设计意图与原理的反求、美学审视和外观反求、几何形状与结构反求、材料反求、制造工艺反求、管理反求等。狭义的逆向工程是指用一定的测量手段对实物或模型进行测量，根据测量数据采用三维几何建模方法将产品样件转化为数字化模型的过程。作为掌握新技术的一种手段，逆向工程大大缩短了产品的开发周期，提高了生产效率。

如图 1—1—1 所示为飞机手柄逆向设计与开发的过程。首先通过逆向测量设备对手柄样件进行测量，再对获得的点云数据进行三角网格化处理，以便更好地观测数据，再根据数据进行模型重构与结构设计，最后制造出产品。

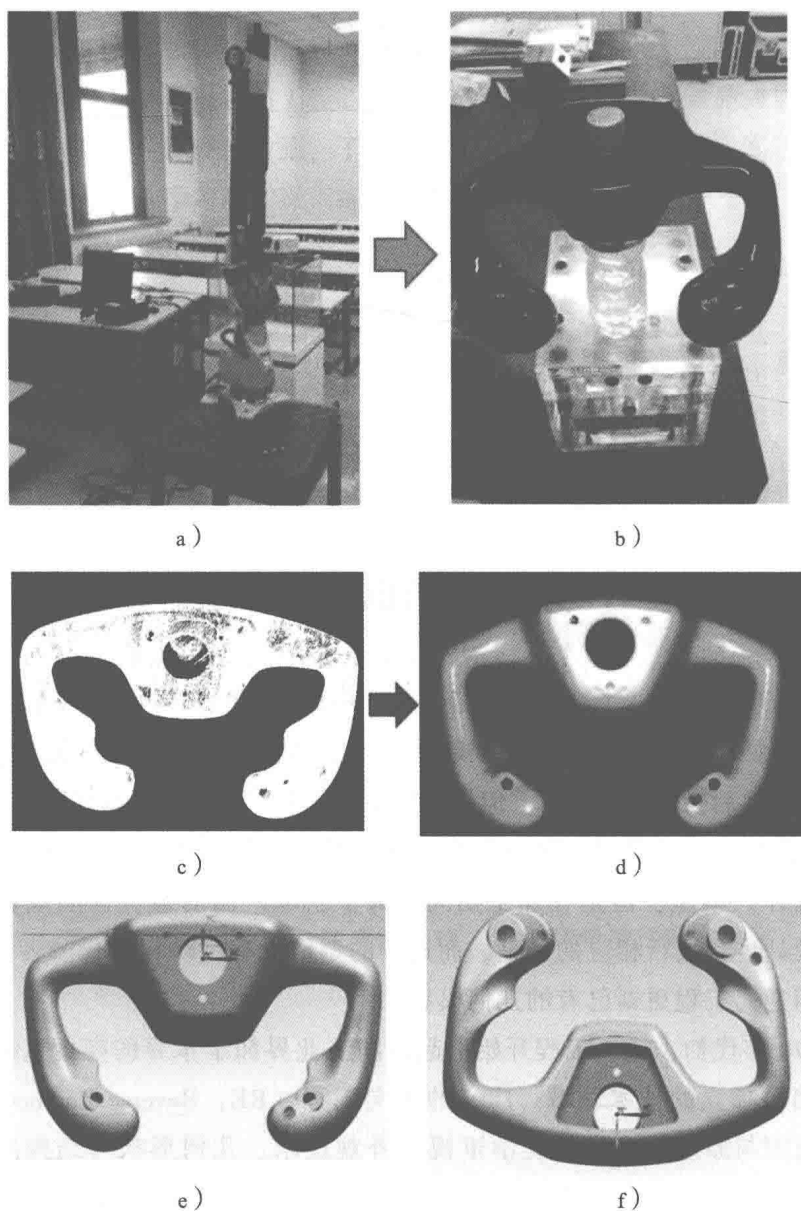


图 1—1—1 飞机手柄逆向设计与开发的过程

- a) 测量设备 b) 飞机手柄样件 c) 测量点云数据 d) 数据三角网格化处理
e) 重建曲面模型正面 f) 重建曲面模型背面

【任务评测】

什么是逆向工程？

答：广义的逆向工程主要包括产品设计意图与原理的反求、美学审视和外观反求、几

何形状与结构反求、材料反求、制造工艺反求、管理反求等。狭义的逆向工程是指用一定的测量手段对实物或模型进行测量，根据测量数据采用三维几何建模方法将产品样件转化为数字化模型的过程。

任务二 认知逆向工程

一、逆向工程与传统设计工程的区别

在传统工程的设计与制造中，一个完整的计算机辅助产品的“物化”过程是从抽取概念到建立产品数字化模型的过程，通常是从概念设计到图样，再制造出产品。逆向工程则是一个“物化”产品的再设计过程，即根据已有的产品或零件原型来构成数字化模型，追求产品数字化模型建立的快捷性和高效性，以满足产品更新换代和快速响应市场的要求。图 1—2—1 所示是传统工程的设计与制造过程，图 1—2—2 所示是逆向工程的设计与制造过程。

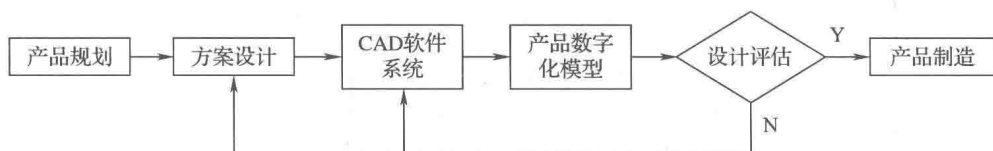


图 1—2—1 传统工程的设计与制造过程

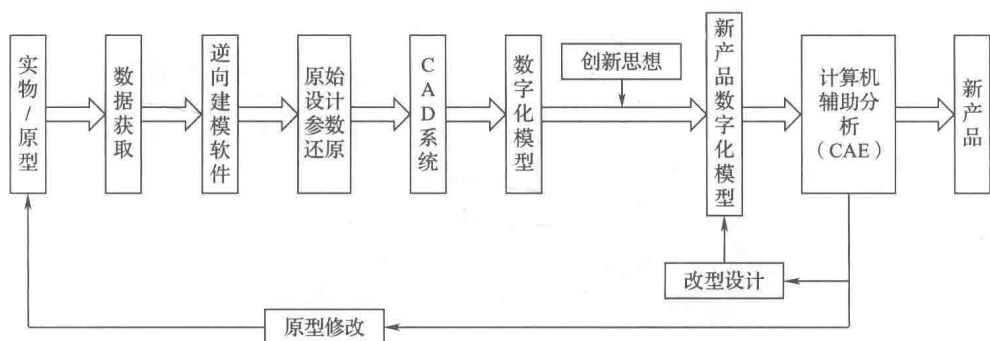


图 1—2—2 逆向工程的设计与制造过程

逆向工程中模型重建的基本流程为：通过实物数字化获取实物表面的测量数据；对这些数据进行预处理，包括多视拼合、孔洞修补、数据精简、数据去噪、三角剖分等，其中三角剖分为可选操作；把测量数据分割为对应不同特征面的数据子集；进行曲面重建，在曲面模型的基础上进一步重建 CAD 模型。图 1—2—3 给出了逆向工程中模型重建的基本

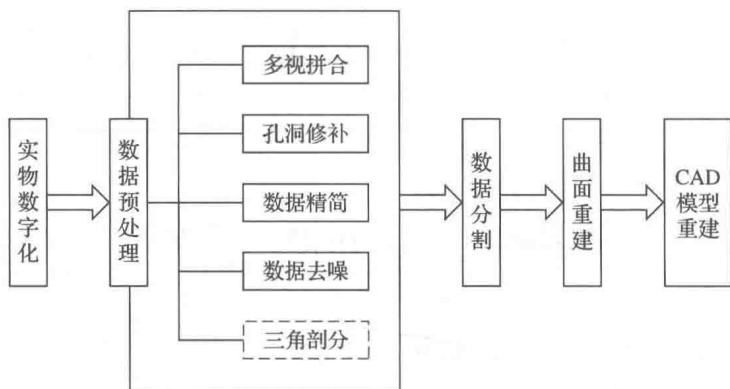


图 1—2—3 逆向工程中模型重建的流程及关键技术

流程及其关键技术。其中，实物的三维数据获取是基础，也是保证后期工作的首要前提，因为测量数据的好坏直接影响原型 CAD 模型的重构质量；数据预处理是获取完整精确的点云数据，以及后期模型重建效率的保证；模型重建是整个过程中最关键、最复杂的一步。

1. 实物数字化

实物数字化也称数据扫描（测量），是指通过专门的测量设备，将被测样件表面形状转化为几何空间坐标点，从而得到逆向建模以及尺寸评价所需要数据的过程。这是逆向工程的第一步，也是后续数据处理的基础。

数据扫描设备可以分为接触式和非接触式两种。在 20 世纪 90 年代高速数字化技术引入之前，三坐标测量机一直是逆向工程中的主要三维实物数字化测量工具。三坐标测量机采样精度高，可达零点几微米，应用三坐标测量机高精度地提取被测件的几何特征信息，是 CAD 模型重建的基础。但是如果被测件形状复杂，不仅需要采集大量的数据点，而且需要精细的路径规划以确定和优化测头移动方向、数据采集的位置，应用三坐标测量机则非常耗时。在逆向工程中，高精度表面的重构需要获取高精度的点，CMM（Coordinate Measuring Machining，坐标测量机）的使用依然必不可少。

非接触测量方法一般基于光学、声学、磁学等领域中的基本原理，将一定的物理模拟量通过适当的算法转化为实物表面的坐标点，由于其转化速度和人类参与的减少而更加高效，大大缩短了逆向工程的数字化时间。目前广泛应用的非接触测量方法主要还是基于光学原理，如激光、结构光等，对应的设备称为激光扫描系统或结构光扫描系统。测量设备获取数据的精度与设备的软件和硬件都有关系。

2. 数据预处理

由于实物表面几何形状和测量技术的制约，都会不可避免地引入数据误差，有时还会出现数据冗余、有无法测量的盲区和缺口等问题，这时就需要通过数据预处理技术对测得的数据进行去噪处理、孔洞修补、精简等操作，以期获得完整和精确的数据点，以便于后

期的模型重建。

(1) 数据去噪。数据去噪可以分为手动去噪和自动去噪两种方式。由于非接触式光学测量过程中常会扫描到支撑或者夹紧被测件所需要的一些夹具，这些都是被测样件的体外杂点，可以手动删除。另外，由于测量环境以及测量设备自身的原因，也会产生一些蕴含在点云数据中的噪音，这些数据只能通过自动去噪方式光顺处理。图 1—2—4 所示是数据去噪前后对比。

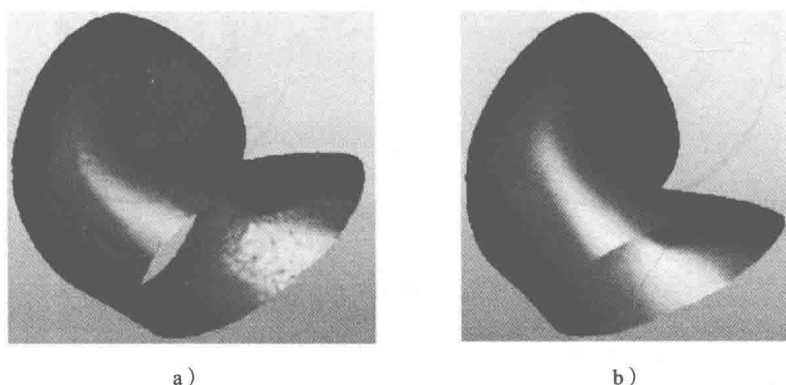


图 1—2—4 数据去噪前后对比

a) 去噪前 b) 去噪后

(2) 孔洞修补。由于被测样件本身的几何拓扑原因或者在扫描过程中受其他物体的阻挡，会存在部分表面无法测量的现象，对于这种数据的缺损而产生的孔洞，就需要后期修补，以期获得完整的扫描数据。图 1—2—5 所示是孔洞填充对比。

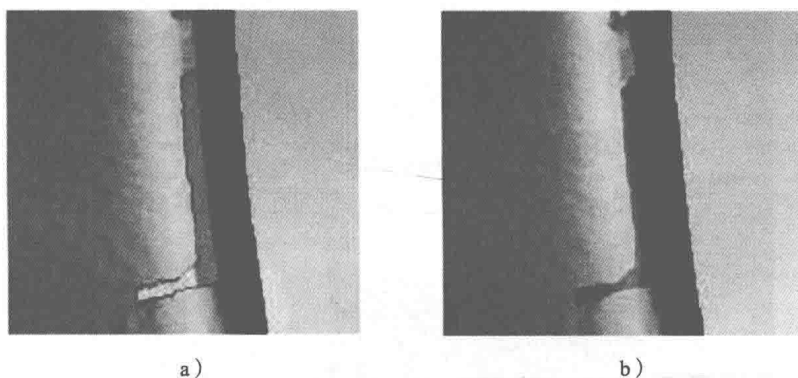


图 1—2—5 孔洞填充对比

a) 填充前 b) 填充后

(3) 数据精简。主要是针对光学扫描获取到的高密度数据点而言的。通过数据精简可以去除大量的冗余数据，提高后续算法的运行效率。不同类型的点云数据可以采用不同的

精简方式。无论哪种数据精简方法，都要求精简数据的同时，保持原始数据的特征，如尖锐区域、曲率波动大的区域。图 1—2—6 所示是数据精简前后的对比，数据从 171802 个点减少为 68721 个点。

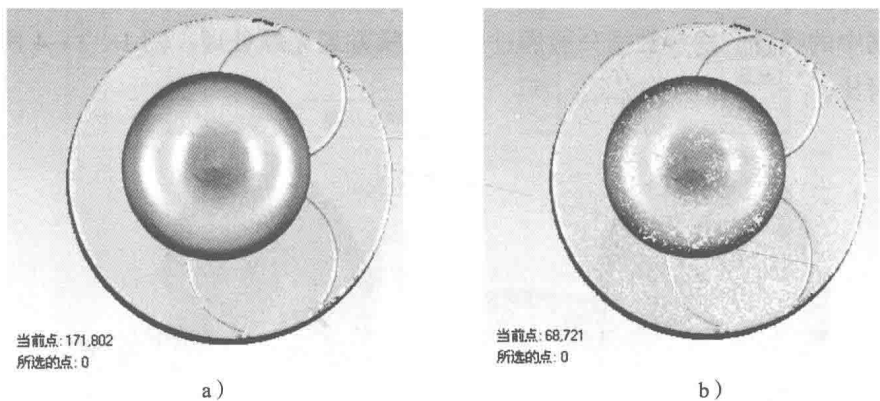


图 1—2—6 数据精简前后对比
a) 数据精简前 b) 数据精简后

(4) 多视拼合。数字化过程中，很多时候无法一次获得被测件的完整数据集，为了构建几何模型，必须先将这些不同坐标系下的多视点数据变换到同一个坐标系下，这个过程就叫作对齐（也称多视拼合、配准等）。数据拼合方式有扫描过程中自动对齐和扫描后通过手动对齐两种方式。扫描过程中的自动对齐，通常需要预先在被测样件上贴上专用标签点，如图 1—2—7 所示。

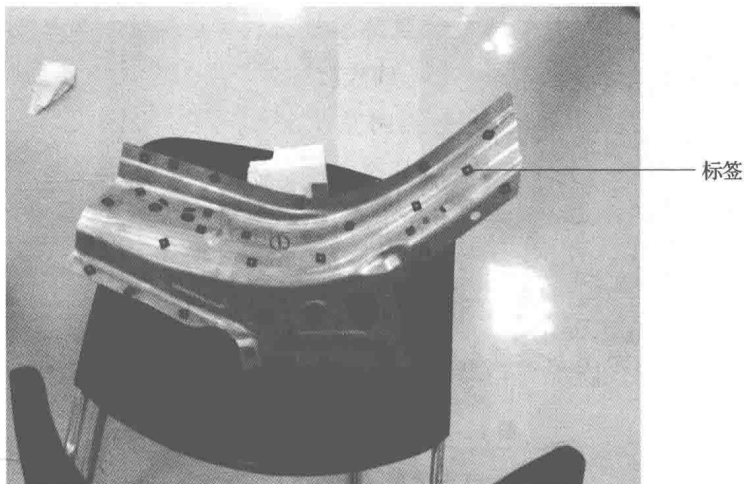


图 1—2—7 汽车覆盖件测量样件

(5) 三角剖分。三角剖分就是通过三角形把离散的数据点连接起来的过程，如图 1—2—8 所示，目的就是更好地观察测量数据的形貌，以及建立扫描数据点间的拓扑关系。在基于多边形网格的模型重建方法中，三角剖分是必不可少的一步。

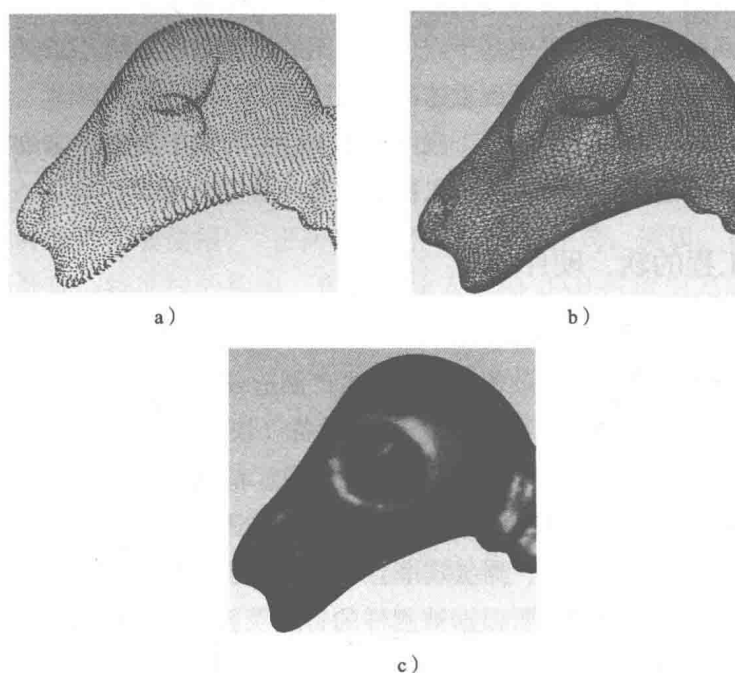


图 1—2—8 三角剖分效果图

a) 恐龙点云数据 b) 三角剖分后的效果 c) 三角剖分渲染后的效果

(6) 数据分割。在逆向工程中，样件表面往往由多个曲面构成，因此需要将测量数据预先分割成属于不同曲面片的数据子集，以便进行后续的曲面模型重建。曲率、法矢量的突变区域往往是分割的边界，如图 1—2—9 所示。

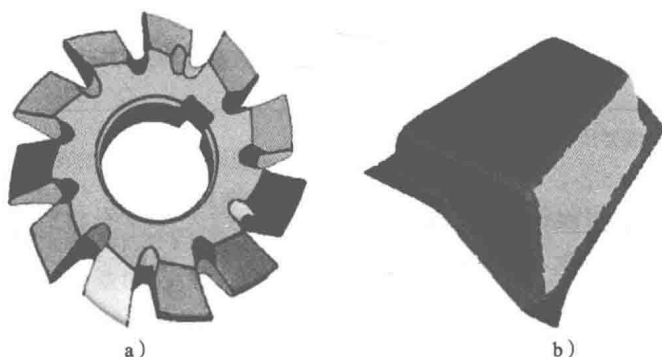


图 1—2—9 数据分割效果

a) 样件一 b) 样件二

3. 模型重建

曲面重建是逆向工程的关键技术之一，其目的就是要构造出能满足精度和光顺性要求，并且光滑、连续的曲面模型。一般而言，对于精度要求较低的、复杂曲面组成的艺术品、玩具等样件的逆向设计，可以采用基于多边网格的模型重建方法；对于精度、几何特征要求较高的产品样件，可以采用基于点、线、面的模型重建方法。如何准确地反映原始样件的设计意图和特征，一直是模型重建的难点所在。

重建出实物样件的数字化模型后，就可以用于后期的加工制造，如快速成型制造、数控加工、模具设计制造等，也可以用于工程分析和产品再设计。

二、逆向工程的软、硬件平台

1. 逆向工程实施的硬件条件

实施的硬件包括前期的测量设备和后期的生产制造设备。产品生产制造设备主要有切削加工设备，还有最近几年迅猛发展的3D打印设备（快速成型设备）。

测量设备是实物数字化的必要条件。总体上来说，精度与速度是实物数字化最基本的指标，精度决定了CAD模型的精度及模型重建质量，测量速度则影响着逆向过程的效率。不同测量设备的精度、测量方式、测量效率会对获取数据的类型和后续处理及模型重建产生很大的影响。在实际应用中，要根据被测件的特点及精度的要求选择对应的测量设备。非接触的光学扫描测量和接触式的三坐标测量设备优缺点对比见表1—2—1。

表 1—2—1 光学扫描测量和三坐标测量的优缺点对比

	三坐标测量	光学扫描测量
优点	1. 获取点的精度较高，分辨率可达 0.1 μm，一般也达到几微米 2. 能够测量深孔等光学方法无法测量的盲区 3. 点数据稀疏，可直接在 CAD 软件中应用 4. 使用比较广泛，常用于质量检测	1. 能够快速获取数据点，而不用移动测头 2. 能获取密集的点云数据，可观察模型的整体和细节 3. 数据采集的规划时间较短 4. 不会损坏被测件的表面 5. 允许测量柔软而易碎的零件
缺点	1. 测量速度慢，需要预先的路径规划和探针补偿 2. 对于复杂内部型腔、曲率变化剧烈且几何特征尺寸少的区域、尖锐区域、大面积自由曲面的零部件等测量很困难 3. 不能测量软质和脆性材质的零件 4. 有限的探针采点致使数据密度低，限制了对零件整体拓扑连接和细节的辨识	1. 高镜面反射和散射的表面需要预先涂上水性涂料或粉末才能测量 2. 不能测量零件内部或阻挡光线的几何体 3. 稠密的数据在很多 CAD 软件中不能直接处理，需要大存储量，数据处理时间长 4. 测量精度较低，一般为 10 ~ 100 μm，不能满足较高精度的应用需求