

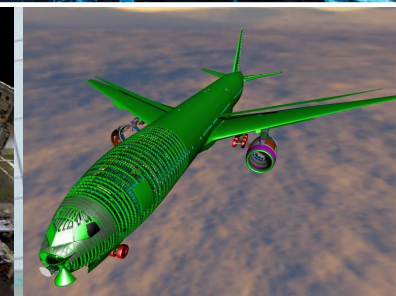
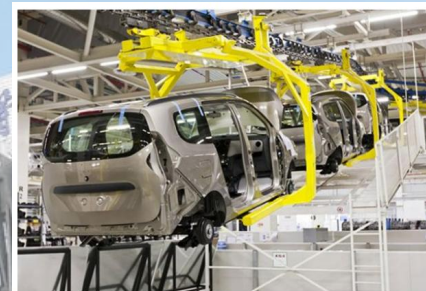


电子科技大学(深圳)高等研究院

《数字化设计与制造》



任课教师: 孙勇¹, 张东星²
联系方式: 1.yong_sun@uestc.edu.cn,
2.zhangdongxing@uestc.edu.cn



逆向工程

学习目的与要求:

1. 了解逆向工程的定义、原理;
2. 了解并掌握逆向工程的关键技术;
3. 了解实物逆向工程及其关键技术。

第一节 逆向工程技术概述

一、逆向工程技术概念

1. 基本概念

逆向工程: Reverse Engineering, RE, 也称反求工程、抄数;

是指用一定的测量手段对实物或模型进行测量, 根据测量数据通过三维几何建模方法, 重构实物模型, 从而实现产品设计与制造的过程。

第一节 逆向工程技术概述

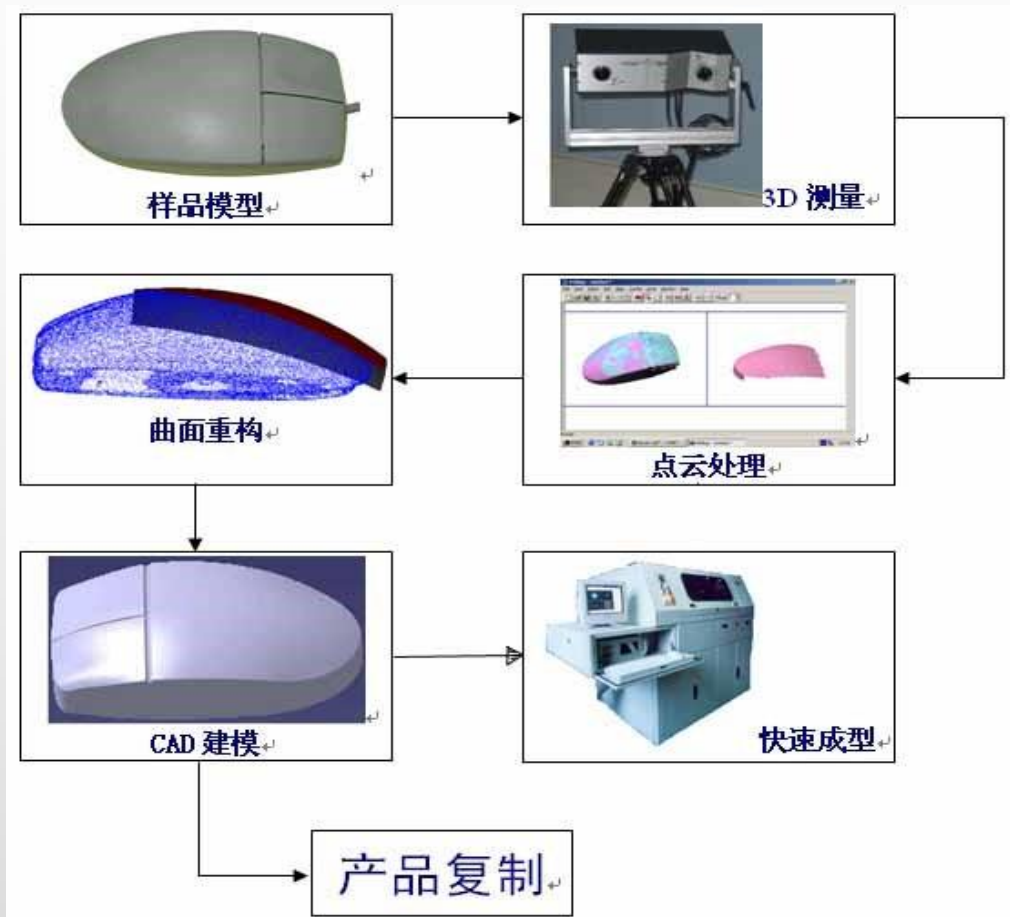
一、逆向工程技术概念

2. 基本概念（续）

- **逆向工程**与传统的产品设计制造过程相反，它是在没有图纸或图纸不完整，而有样品的情况下，利用测量仪器，快速准确地测量样品表面数据或轮廓，并对点数据处理、曲面建模、三维实体重构，再进行数控编程和加工。
- **逆向工程**制造的是功能相近，但又不完全一样的产品。逆向工程源于商业及军事领域中的硬件分析。

第一节 逆向工程技术概述

一、逆向工程技术概念



逆向工程过程



第一节 逆向工程技术概述

二、逆向工程的研究内容及基本步骤

- 1.逆向产品的分析
- 2.逆向产品的再设计
- 3.逆向产品的制造

第一节 逆向工程技术概述

二、逆向工程的研究内容及基本步骤

1. 逆向产品的分析

- (1) 逆向对象的功能、原理分析。
- (2) 逆向对象材料的分析。
- (3) 逆向对象的制造和装配工艺分析。
- (4) 逆向对象的精度分析。
- (5) 逆向对象造型的分析。
- (6) 逆向对象系列化、模块化分析。
- (7) 逆向对象的包装技术分析。
- (8) 逆向对象的使用和维护技术分析。

第一节 逆向工程技术概述

二、逆向工程的研究内容及基本步骤

2.逆向产品的再设计

- 1)根据分析结果和实物模型的几何拓扑关系，制定零件的测量规划，确定实物模型测量的工具设备、测量顺序和测量精度等。
- 2)对测量数据进行修正，在测量过程中不可避免含有测量误差。
- 3)按照修正后的测量数据以及逆向对象几何元素的拓扑关系，利用数字化设计软件，重构逆向对象的几何模型。
- 4)在分析逆向对象功能的基础上，对产品模型进行再设计，根据实际需要在结构和功能等方面进行必要的创新和改进。

第一节 逆向工程技术概述

二、逆向工程的研究内容及基本步骤

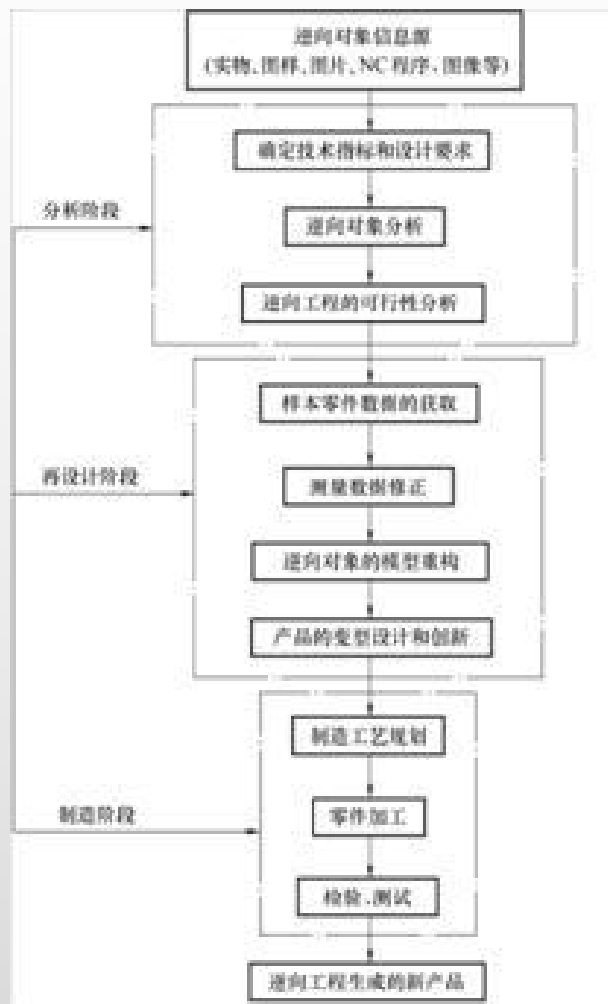
3.逆向产品的制造

随着计算机技术在制造领域的广泛应用，特别是数字化丈量技术的迅猛发展，基于丈量数据的产品造型技术成为逆向工程技术关注的主要对象。通过数字化丈量设备(如坐标丈量机、激光丈量设备等)获取的物体表面的空间数据，需要利用逆向工程CAD技术获得产品的CAD数学模型，进而利用CAM系统完成产品的制造。

第一节 逆向工程技术概述

二、逆向工程的研究内容及基本步骤

逆向工程的基本步骤



第二节 逆向工程的关键技术

包括数据测量技术、数据预处理技术、模型重构技术

1、数据测量技术

- 接触式测量：三坐标测量机
- 非接触式测量：激光三角形法、投影光栅法等。 测量方法的选取是逆向工程中一个非常重要的问题。

2、数据预处理技术

- 模型重构之前，排除噪声数据和异常数据、 压缩冗余数据；
- 包括噪声点过滤、数据点分区、数据点精简、数据点平滑。

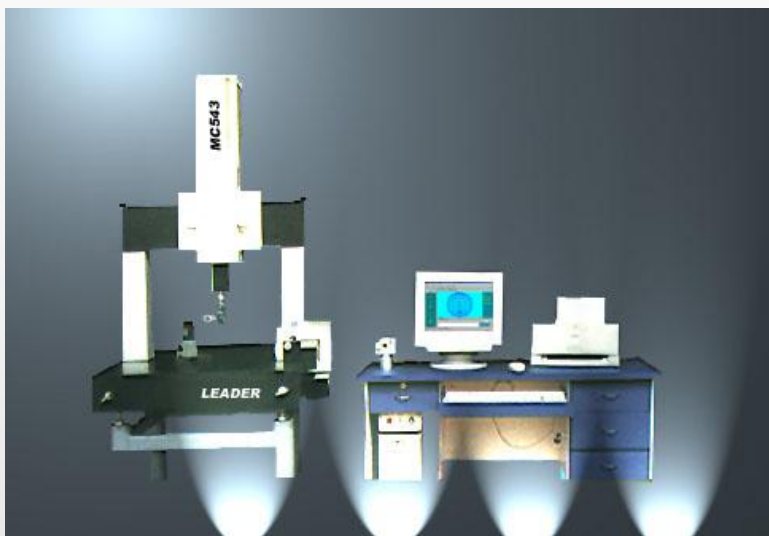
3、模型重构技术

通过重构产品零件的CAD模型，实现对原形的修改和再设计。

第二节 逆向工程的关键技术

一、数据测量技术

1. 接触式测量：三坐标测量机



三坐标数控测量



ARES三坐标 测量机，意大利COORD3 公司生产。

第二节 逆向工程的关键技术

一、数据测量技术

1. 接触式测量：三坐标测量机



Chameleon 7107 三坐标测量机 美国布朗·夏普 公司制造



接触探头

第二节 逆向工程的关键技术

一、数据测量技术

1. 接触式测量：三坐标测量机



英国Renishaw公司的机床用测头



哈尔滨先锋机电技术开发有限公司在线测量头

第二节 逆向工程的关键技术

一、数据测量技术

1. 接触式测量：三坐标测量机

■ 接触式测量特点

□ 优点：

- 测量精度高，达0.5um；
- 对被测物体的材质与色泽无特殊要求。

□ 缺点：

- 易损伤探头和划伤零件表面；
- 不能测量软质材料和超薄物体；
- 测量速度慢；
- 工作环境要求高；
- 需进行探头补偿。

第二节 逆向工程的关键技术

一、数据测量技术

2. 非接触式光学测量

- 激光三角法
 - 迄今逆向工程中应用最广泛的方法，测量速度快；
 - 精度取决于感光设备的敏感程度、与被测表面的距离、被测表面的光学特性等；
 - 根据光源的不同分为：点光源法、线光源法和面光源法；
- 点光源法：体积小、结构简单，测量精度较高，但测量速度较低；
- 线光源法：也称光刀法，目前使用广泛，有许多成熟的产品，国内有重庆大学等高校在研究

第二节 逆向工程的关键技术

一、数据测量技术

2. 非接触式光学测量

- **距离法：向被测物体发射能量，如超声波、X射线等，根据采集反射能量值测量距离；**
- **图像法：利用图像的大小、明暗、纹理等信息求出被测对象的三维信息，测量精度较低；**
- **逐层扫描测量：既能测量物体外部数据，也能测量内部数据，常用的方法有：**
 - **CT扫描(Computer Tomography)：计算机断层扫描，利用X射线扫描，最早用于医学，现已开始用于工业，是目前最先进的非接触式测量方法。**
 - **MRI(Magnetic Resonance Imaging)核磁共振法：可深入物体内部，不破坏样品，造价极高，不适用于金属物体，目前主要用于人体医学三维测量。**

第二节 逆向工程的关键技术

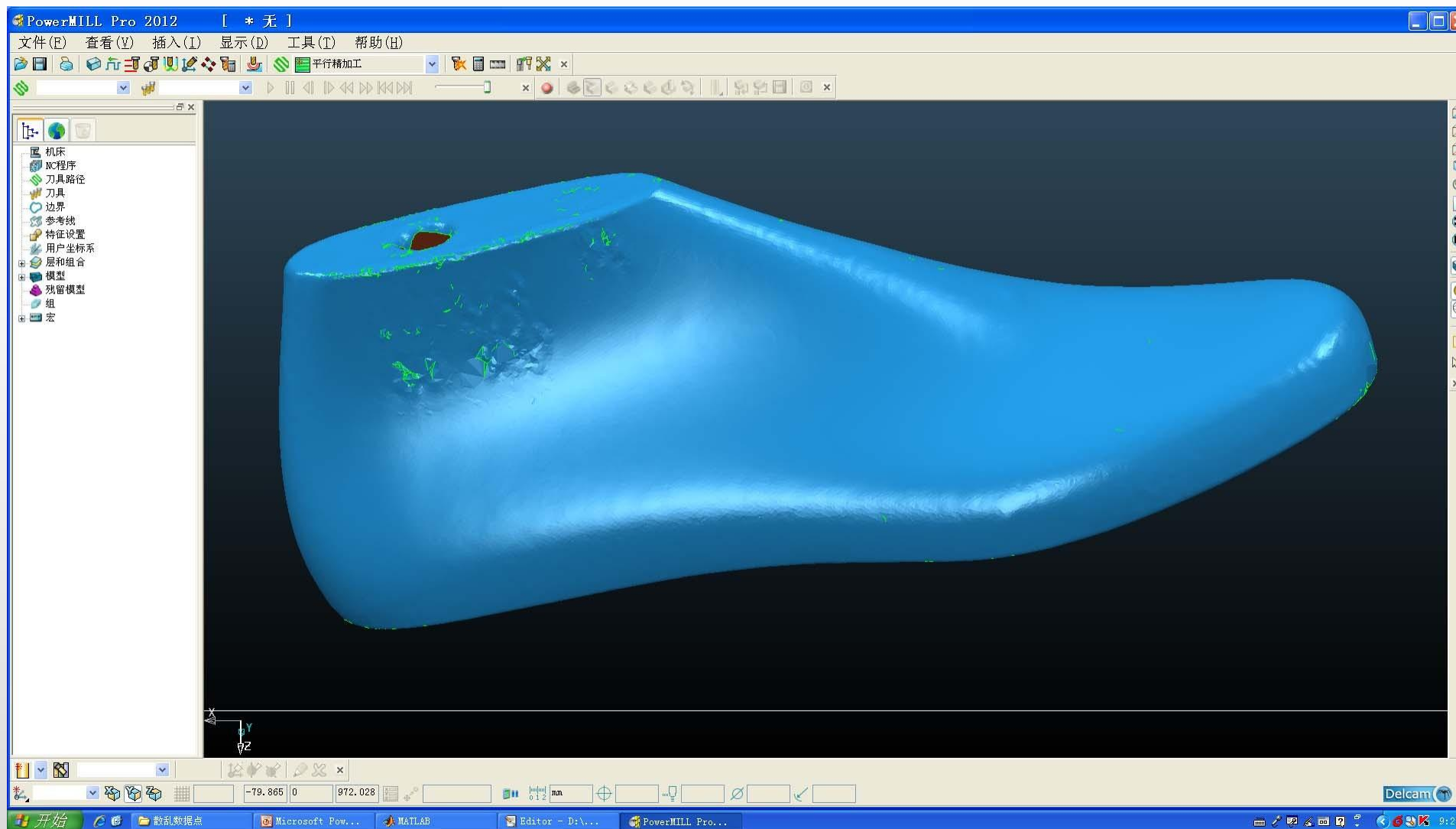
二、数据预处理技术

测量数据CAD模型重构之前，需要进行数据预处理。

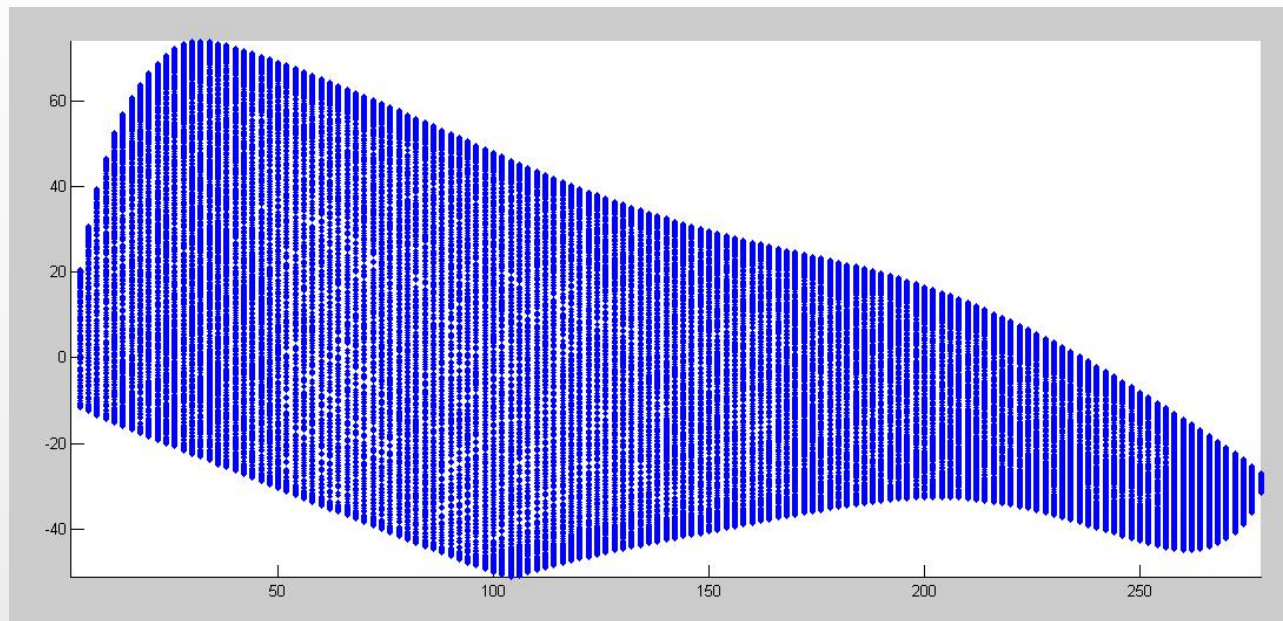
1、点云数据

- “点云”是三维空间中数据点的集合，最小的点云只有一个点，高密度点云可达几百万数据点。
- 根据点云中点的分布特征，点云分为以下4种：
 - 扫描线点云：点云由一组扫描线组成，扫描线位于扫描平面内。CMM或激光沿直线测量的数据为扫描线点云；
 - 散乱点云：测量点没有明显的分布特征，呈散乱无序状态。CMM或激光点测量的数据为散乱数据
 - 网格化点云：点云中的点呈网格状，测量顺序按网格进行；
 - 多边形点云：测量点在一系列平面内，用细小线段将同一平面内距离最小的相邻点相连，形成平面多边形。CT、核磁共振属此类型。

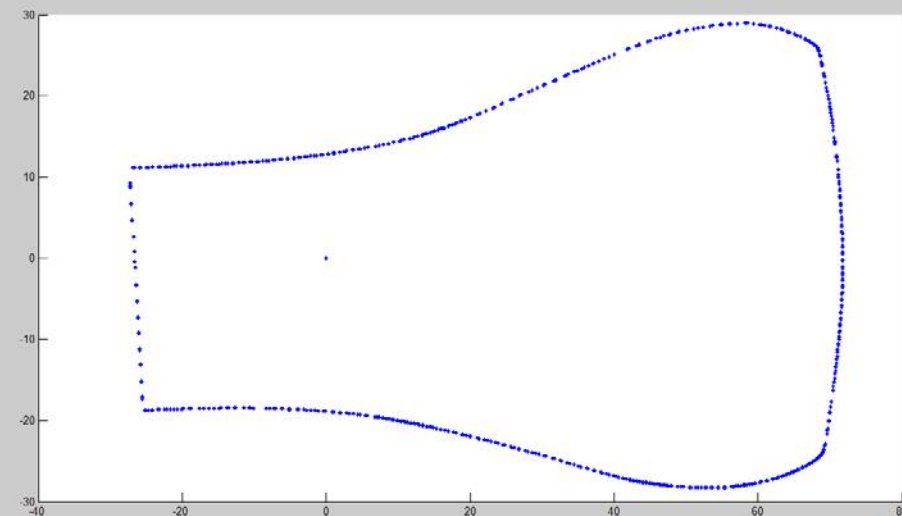
第二节 逆向工程的关键技术



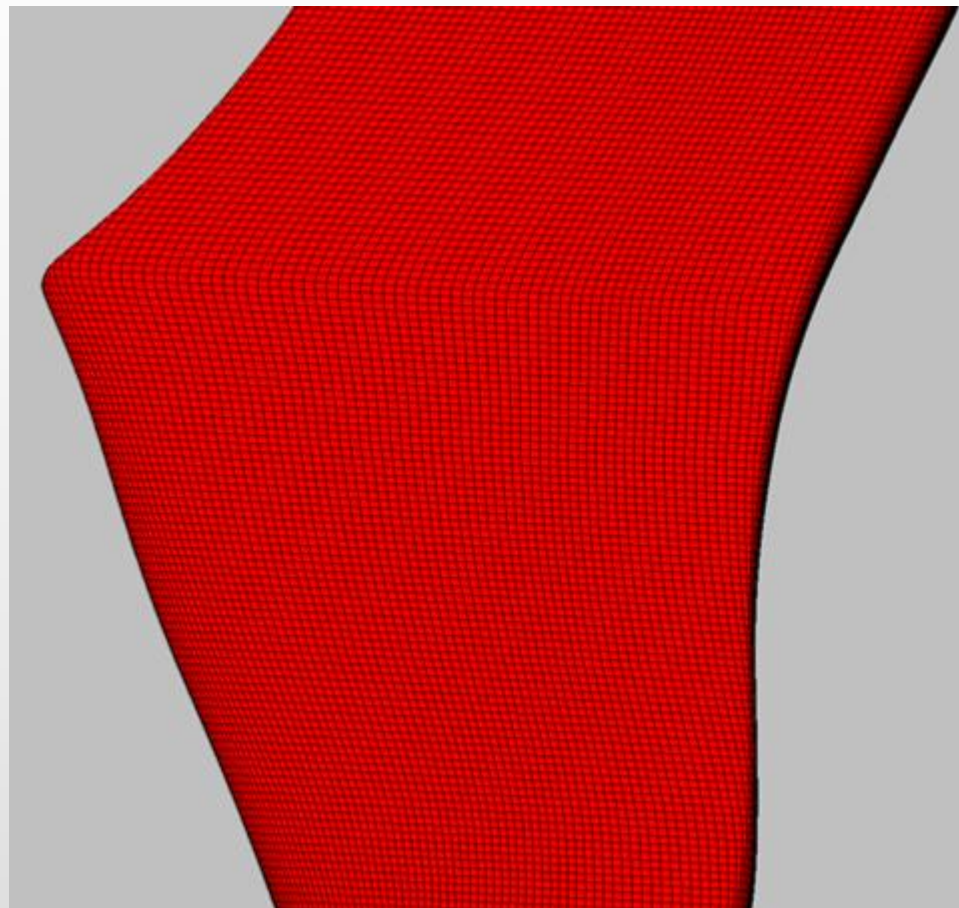
第二节 逆向工程的关键技术



Note new toolbar buttons: [data brushing](#) & [linked plots](#)  [Play video](#)



第二节 逆向工程的关键技术



第二节 逆向工程的关键技术



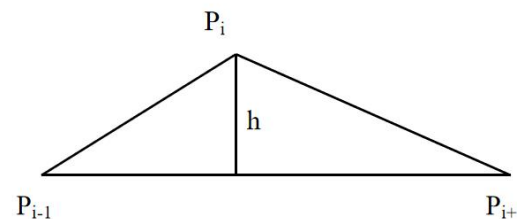
第二节 逆向工程的关键技术

三、异常点去除技术

由于测量设备的标定或测量环境变化，测量出的数据点存在超差点，对曲线或曲面造型影响大，须进行去噪处理。

常用的方法有：

- 人机交互法：通过反求软件进行点云图形显示，操作人员判断并手动删除异常点；
- 曲线检查法：根据测量数据，拟合出一条样条曲线，曲线次数通常取3-5次，计算测量点到曲线的距离，剔出距离大于给定误差的点。
- 弦高差法：连接前、后两点，计算 P_i 点到弦的距离 h ，如果 h 大于给定误差，则认为 是坏点，应剔除。



第三节 逆向工程的关键技术

一、数据测量技术

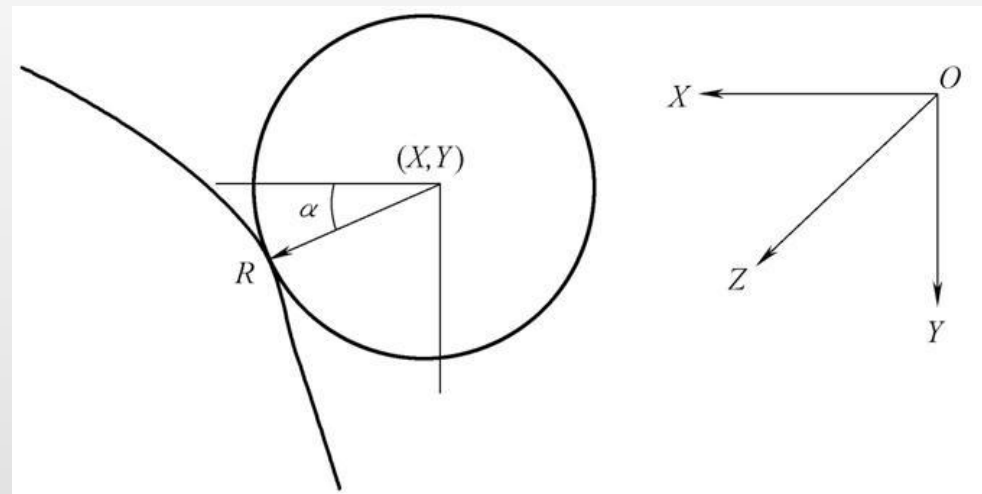
1. 接触式测量：三坐标测量机

1) 等距偏移法



某精密零件的坐标数据采集

2) 编程补偿法



测头半径补偿模型

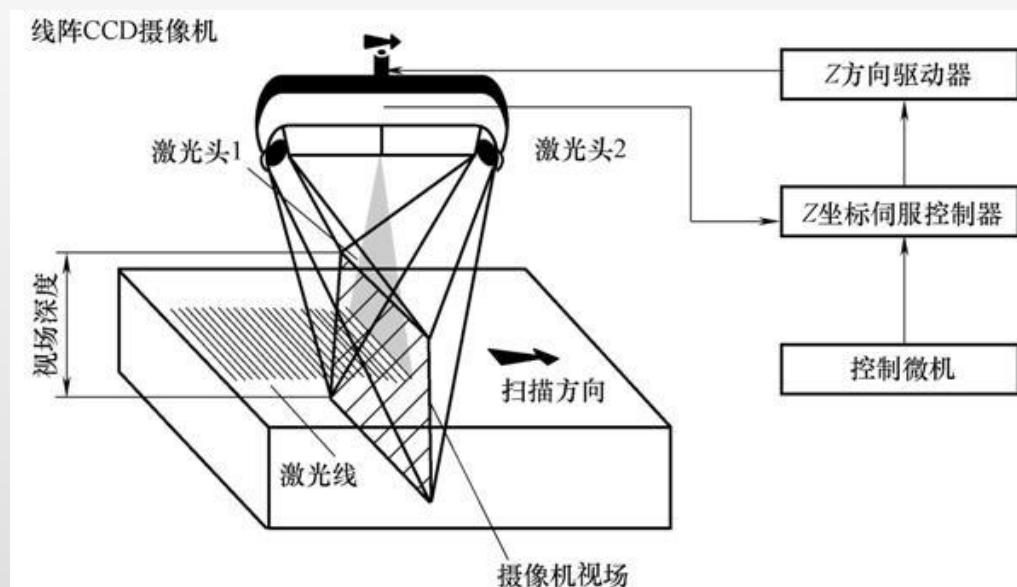
第二节 逆向工程的关键技术

一、数据测量技术

2. 非接触式测量:

激光三角形法、投影光栅法等。

测量方法的选取是逆向工程中一个非常重要的问题。



激光等距测量原理图

第二节 逆向工程的关键技术

二、数据预处理技术

- 模型重构之前，排除噪声数据和异常数据、 压缩冗余数据；
- 包括噪声点过滤、数据点分区、数据点精简、数据点平滑。

三、模型重构技术

通过重构产品零件的模型，实现对原形的修改和再设计。

第三节 逆向工程技术应用实例



某型汽车的创意设计

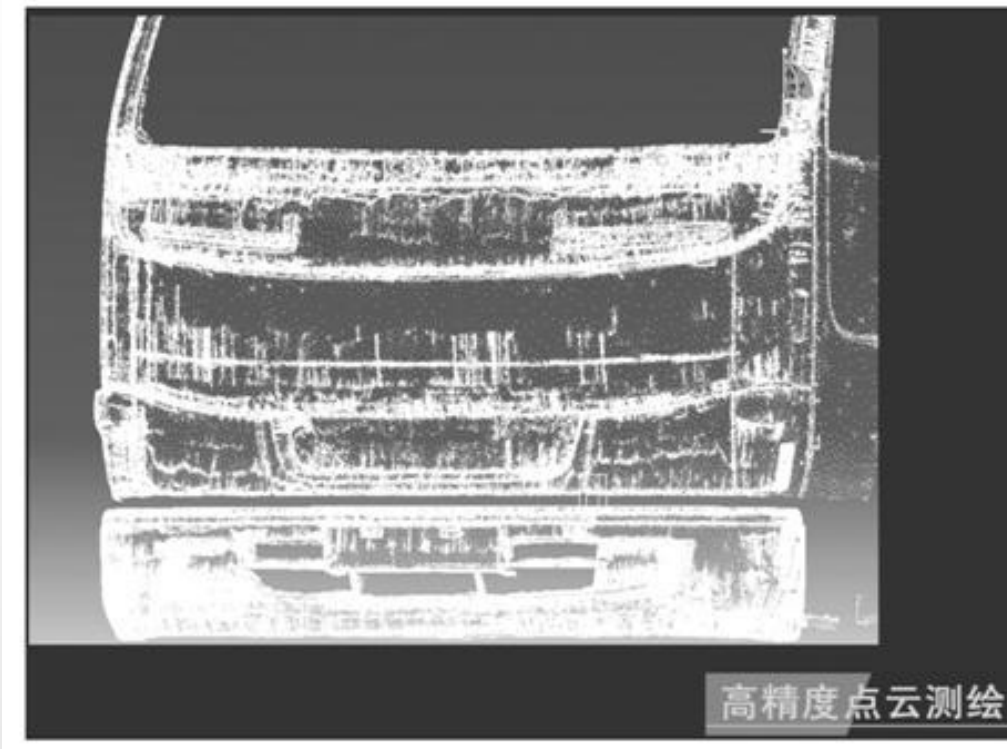


制作1: 1线图

第三节 逆向工程技术应用实例

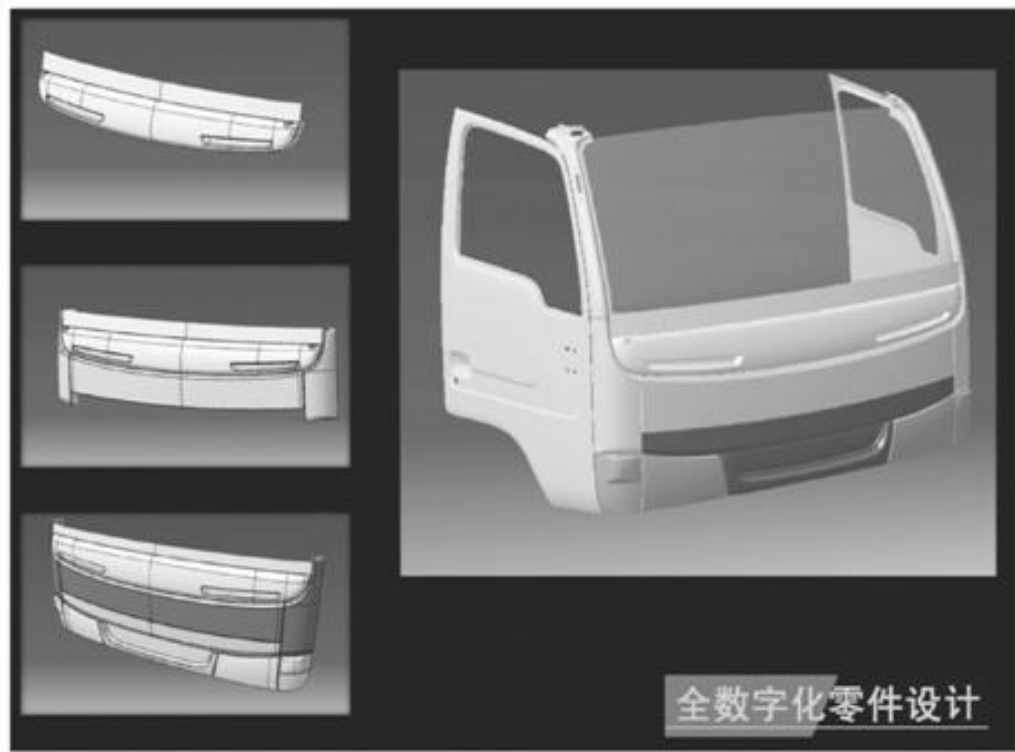


根据线图制作油泥模型



油泥模型扫描后的点云数据

第三节 逆向工程技术应用实例



点云数据重构后的零件数字化模型



零件模型的数字化装配

第三节 逆向工程技术应用实例



批量化生产的汽车产品

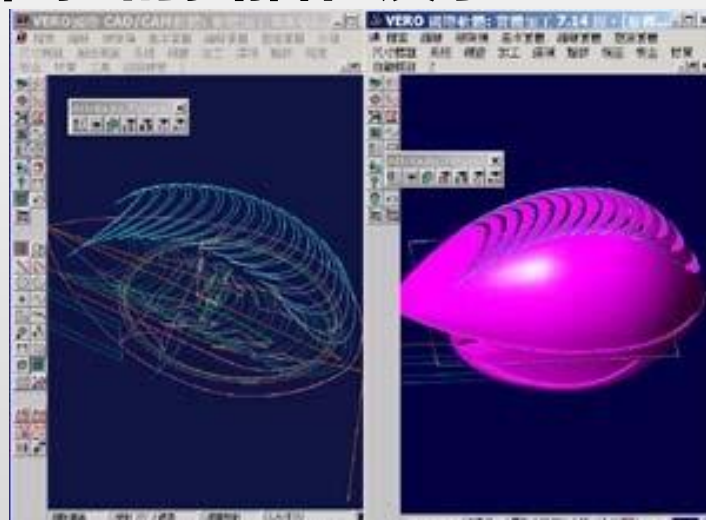
第三节 逆向工程技术应用实例



鞋楦的扫描和反求



汽车造型的扫描和反求



复杂曲面的反求

第三节 逆向工程技术应用实例



骨骼的扫描及反求

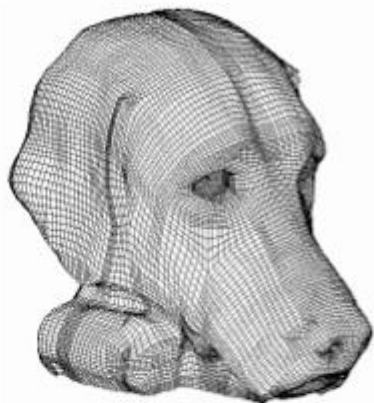


牙颌的点云和反求

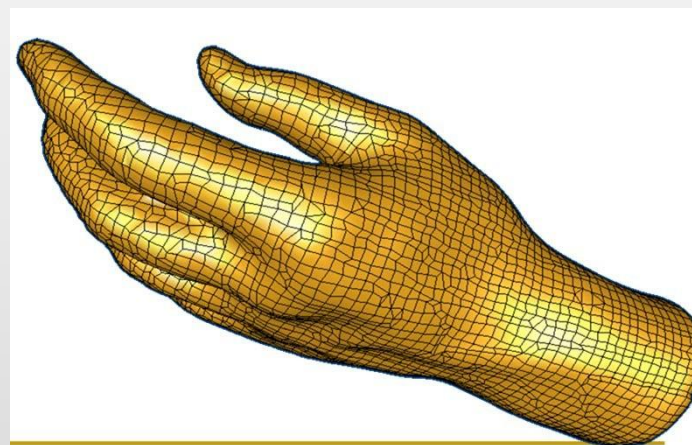


第三节 逆向工程技术应用实例

狗头部的点云和反求



点云



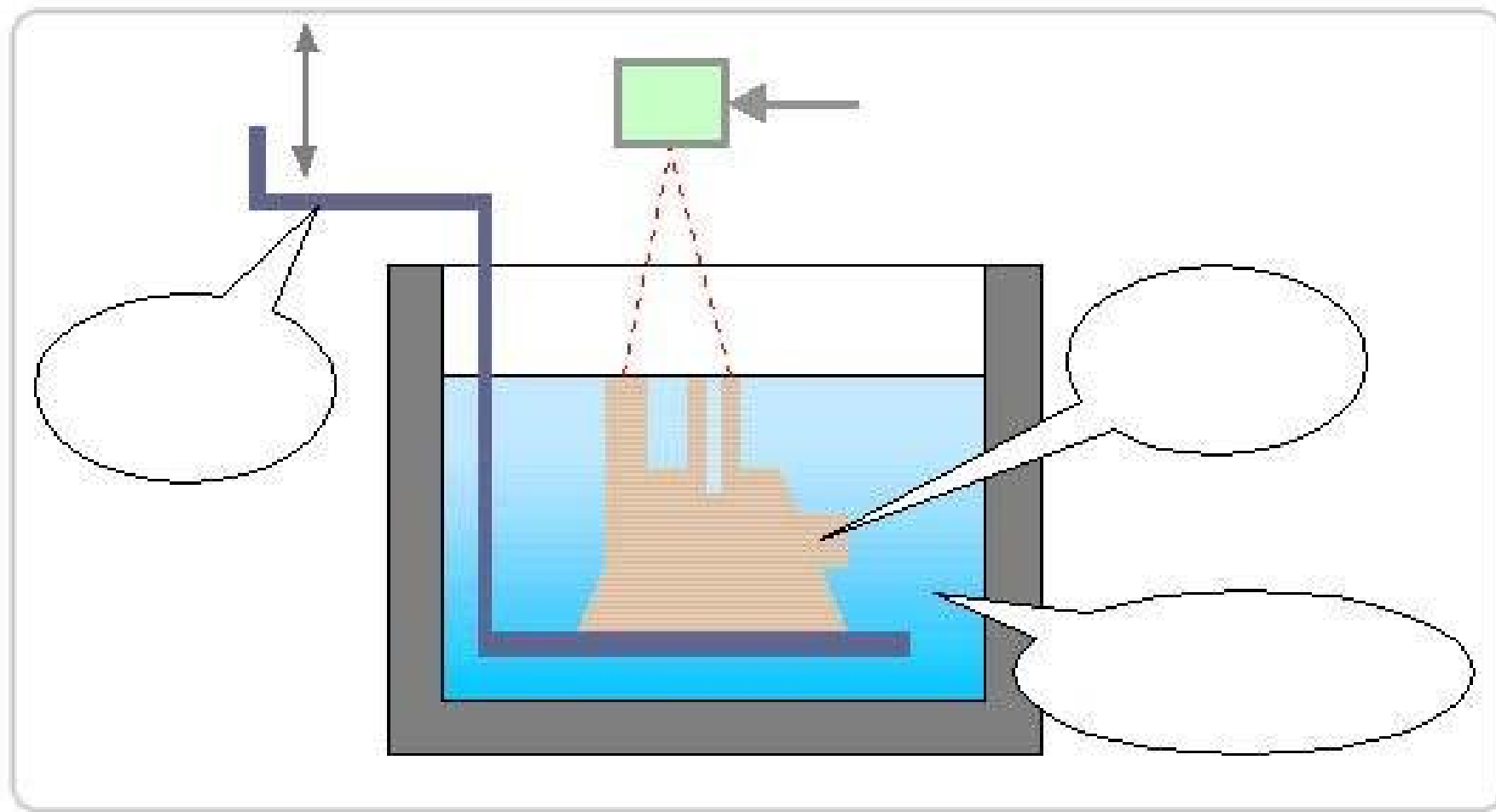
网格

第四节 基于逆向工程的快速原型制造

- **快速原型制造：RAPID PROTOTYPING(RP)，九十年代发展起来的一项高新技术。**
- **RP技术是在CAD/CAM 技术、激光技术、计算机数 控技术、精密伺服驱动技术以及新材料技术的基础 上集成发展起来的**
- **RP 技术在不需要任何刀具、模具及工装卡具的情 况下，可将任意复杂形状的设计方案快速转换为三 维的实体模型或样件，这就是 RP 技术所具有的潜 在的革命意义。**
- **自美国 3D SYSTEM公司 1988 年推出第一台商 品 SLA 快速成型机以来，已有近 20 种不同的 成型系统，其中比较成熟的有：**
 - **激光立体造型(SLA: Stereolithography)**
 - **分层实体制造(LOM: Laminated Object Manufacturing)**
 - **选择性激光烧结(SLS: Selective Laser Sintering)**
 - **熔融沉积成型(FDM: Fused Deposition Modelling)**

第四节 基于逆向工程的快速原型制造

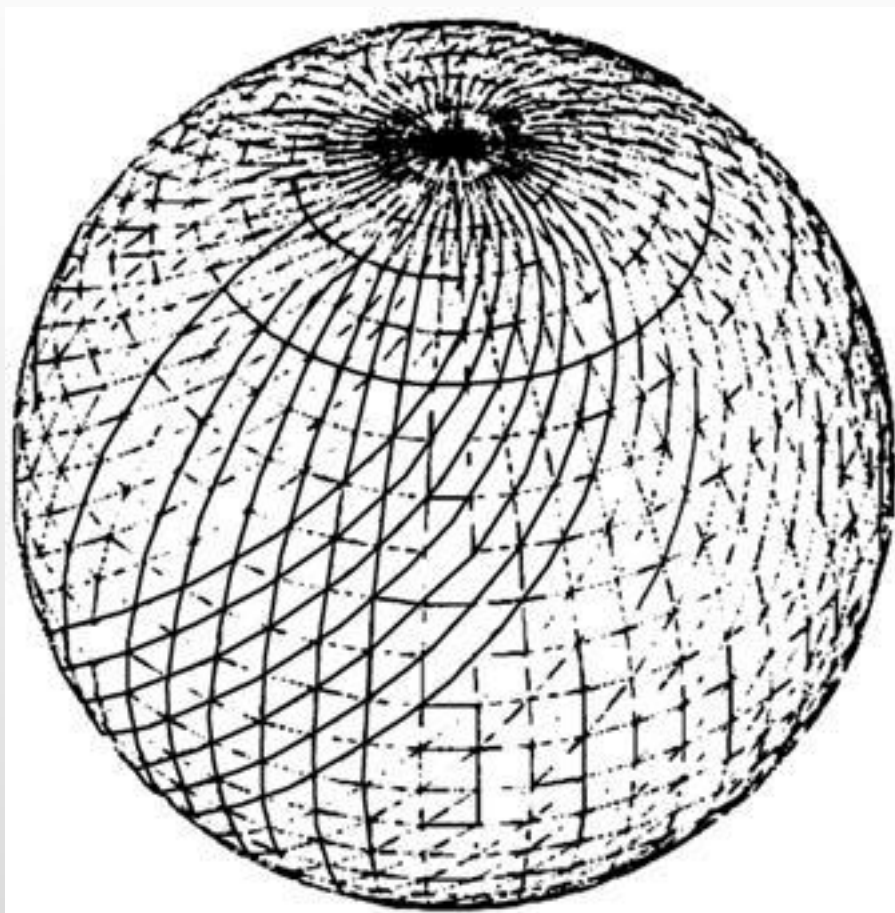
激光立体造型(SLA)



- (1)成形精度高。
- (2)成形速度快。
- (3)扫描质量好。

第四节 基于逆向工程的快速原型制造

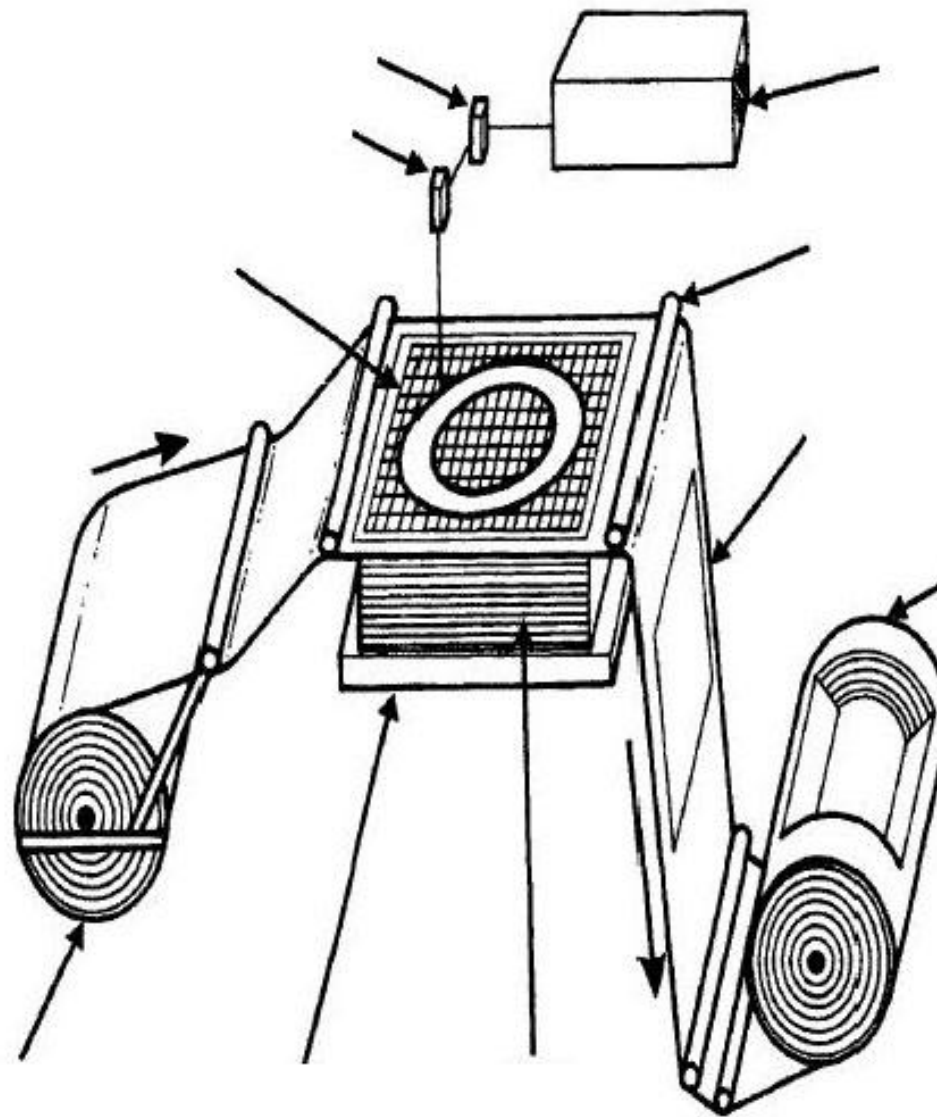
激光立体造型(SLA)



用STL格式表示的三维实体

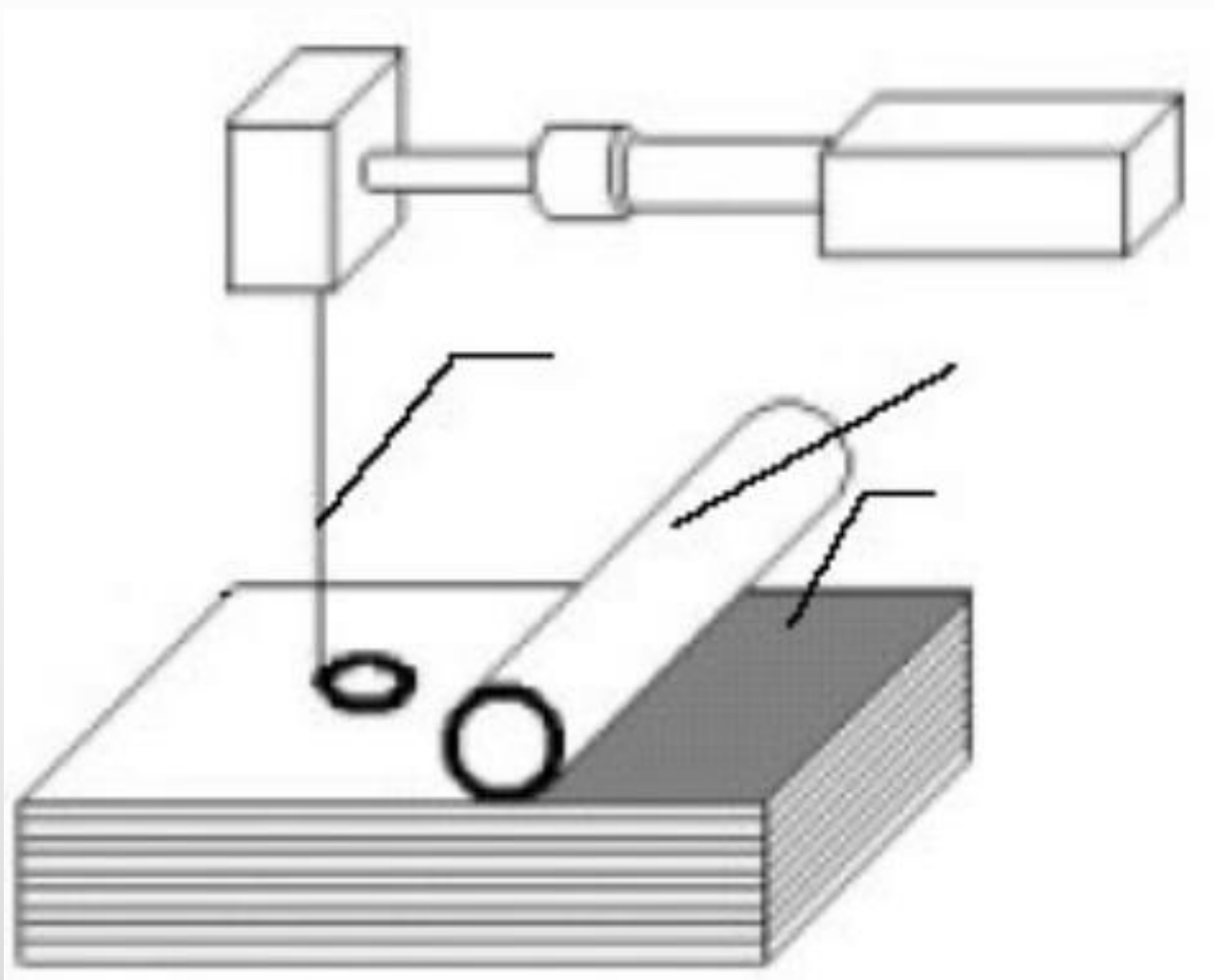
第四节 基于逆向工程的快速原型制造

分层实体制造(LOM)

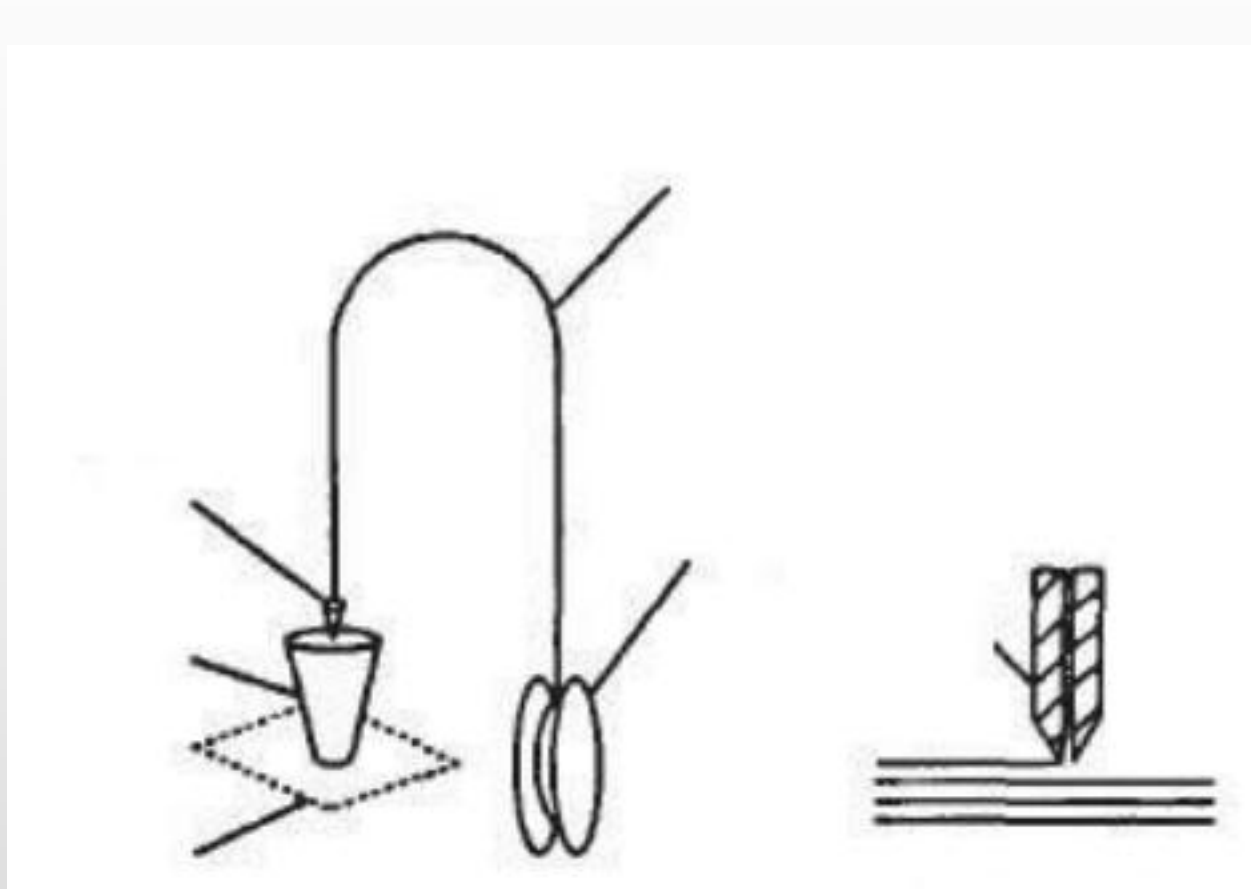


第四节 基于逆向工程的快速原型制造

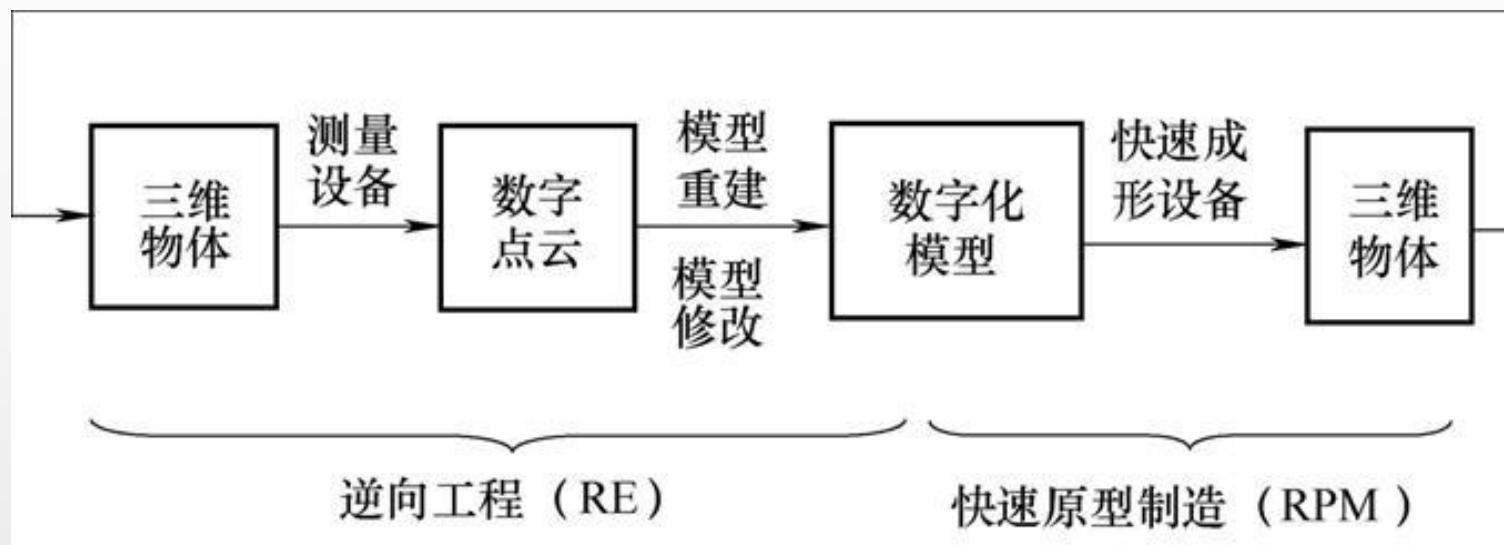
选择性激光烧结(SLS)



第四节 基于逆向工程的快速原型制造 熔融沉积成形(FDM)



第四节 基于逆向工程的快速原型制造



逆向工程与快速原型制造的集成

第四节 基于逆向工程的快速原型制造

- 1)将 RE 和 RPM 结合，可以将三维物体的数据读入，通过网络在异地重建、成形，实现异地制造。
- 2)对于一些外形、结构复杂物体的仿制，如玩具、艺术造型等，可以用 RE 将实物模型转化为数字化模型，并通过 RPM 技术进行直观检验。
- 3)利用 RE 与 RPM ，可以实现快速模具制造。
- 4)逆向工程与快速原型制造相结合，可以构成产品测量、建模、修改、制造、再测量的闭环系统，实现开发过程的快速迭代，有利于提高产品质量。

■ 逆向工程系统发展瓶颈

- 扫描数据庞大：一般CAD/CAM系统通常 处理速度慢；
- 简单几何形状处理效果不佳：对于已知的 简单几何形状因扫描误差通常无法真实的反映出来，通常仅能以自由曲面处理，无 法以简单二次曲面表示。
- 复杂曲面整修：复杂曲面的重建与整修相 当困难、费时。

■ 逆向工程未来的发展方向

- 提高曲面重构的通用性和适用性（有序 点云、无序点云；Bezier、B样条、 NURBS）
- 提高曲面重构的精度和自动化程度；
- 建立测量、数据预处理、曲面重构的一 体化系统；
- 与现有商品化CAD/CAE/CAM系统的集 成；



谢谢聆听

Thank You