



廣東工業大學  
GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 三维逆向工程技术

杨雪荣

廣東工業大學

# 绪论

---

逆向工程技术是近年兴起的支撑产品快速开发的先进制造技术，在航空、航天、汽车、电器、日用产品、医学等领域得到了广泛应用。



# 绪论

世界各国在经济技术发展中，应用逆向工程消化吸收先进技术经验，给人们有益的启示。据统计，各国70%以上的技术源于国外，逆向工程作为掌握新技术的一种手段，可使产品研制周期缩短40%以上，极大提高了生产率。可以使企业适应小批量、多品种的生产要求，从而使企业在激烈的市场竞争中处于有利的地位。因此研究及应用逆向工程技术，对我国国民经济的发展和科学技术水平的提高，具有重大的意义。



# 绪论

## ❖ 逆向工程技术定义：

逆向工程不仅仅是仿照，而是把先进产品的实物或影像作为研究对象，应用现代设计方法学、生产工程学、材料学和有关专业知识进行的系统分析和研究，进而开发出同类的更为先进的产品或技术。包括几何逆向、设计意图逆向、材料逆向、工艺逆向等诸多方面。

逆向工程是一个复杂的系统工程。

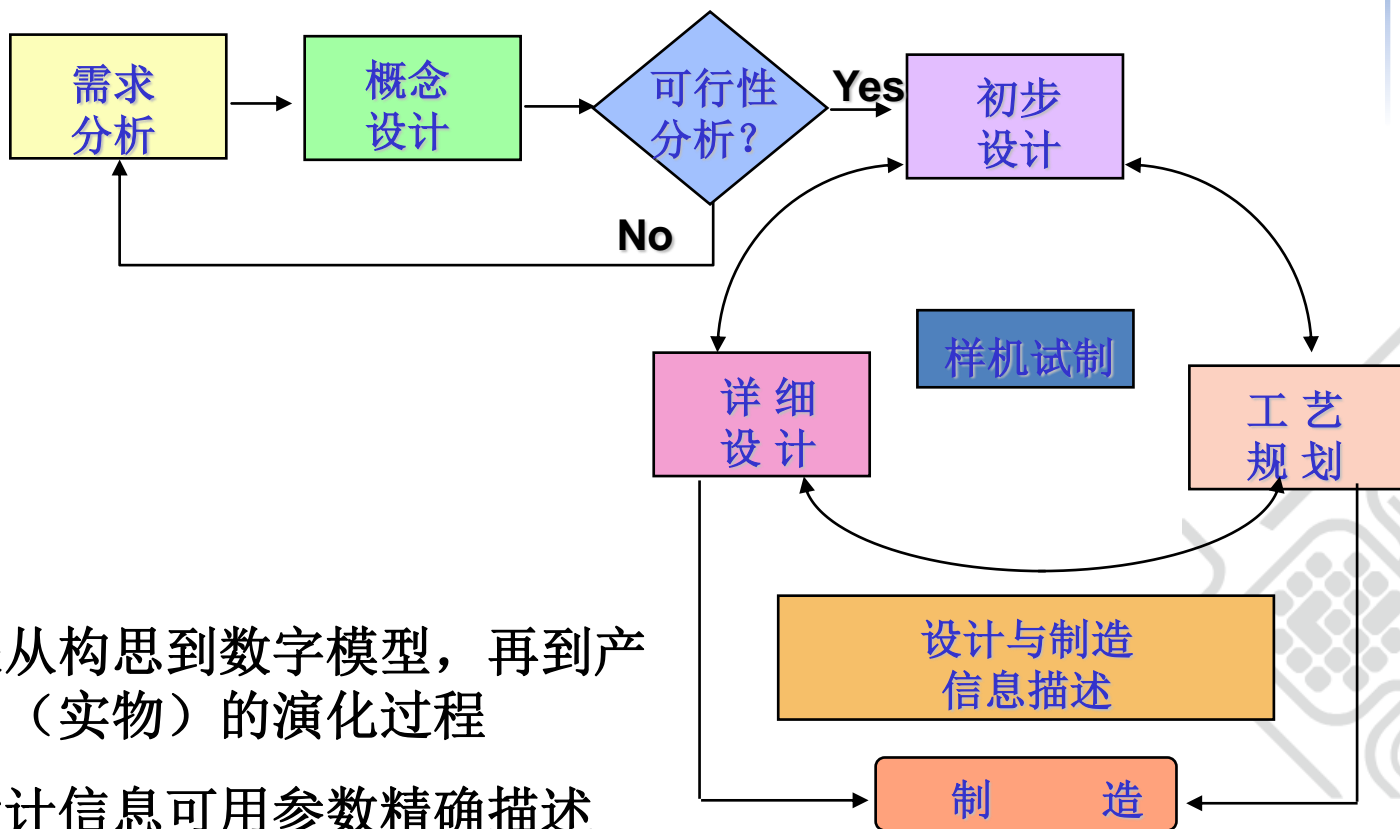


# 绪论



❖ 正向设计：从概念设计到图样，再制造出产品。

❖ 正向设计流程图



➤ 是从构思到数字模型，再到产品（实物）的演化过程

➤ 设计信息可用参数精确描述

# 绪论

- ❖ 所谓逆向工程技术就是对实物原形进行3D扫描、数据采集，经过数据处理、三维重构等过程，构造具有相同形状结构的三维模型。然后，在对原形进行复制或原形的基础上进行再设计，实现创新。所以说逆向工程并不是简单的3D扫描以及复制的过程，逆向工程的目的是利用实物获取点云，并基于点云进行优化设计以及创新设计。



# 颈部固定器设计

## ❖ 颈椎病概述

在高强度伏案工作的现代化社会，颈椎病在中老年阶段十分常见，并有年轻化的趋势，人工颈椎间盘置换术也在不断的发展，颈部固定对于术后护理与康复十分重要，设计个性化颈部固定器对提高颈椎病术后康复水平具有重要意义。



# 颈部固定器设计



## 颈椎固定现状



石膏颈部固定器



国内个性化颈部固定器研究



规模化颈部固定器  
(不可调)



国外个性化颈部固定器研究



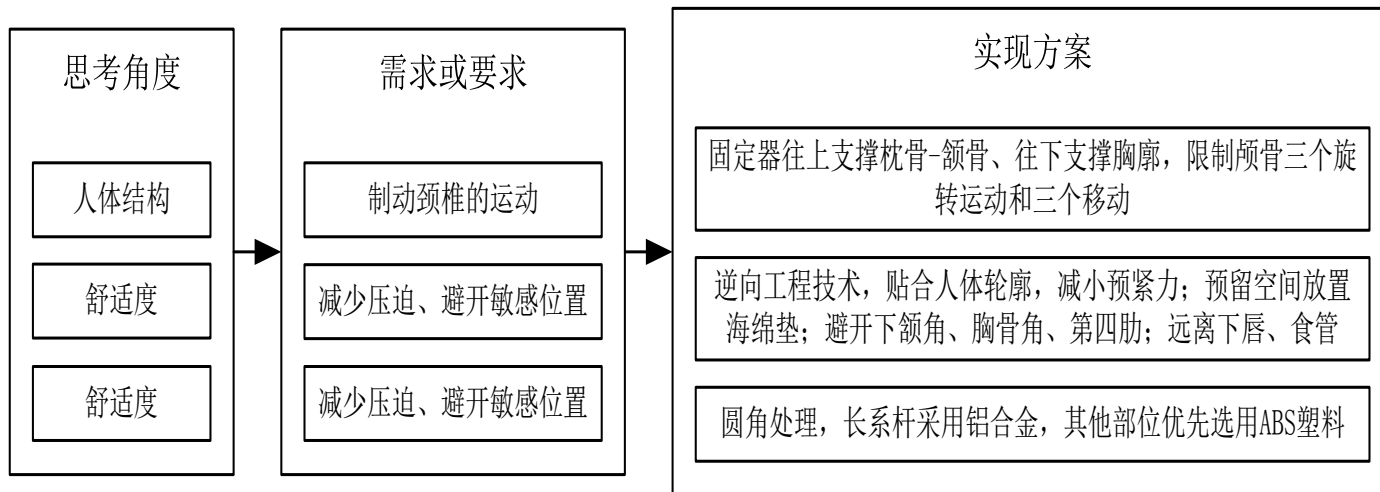
规模化颈部固定器  
(可调节)

石膏颈部固定器具有定制周期长等缺点，而规模化颈部固定器存在局部应力大等缺点。



# 颈部固定器设计

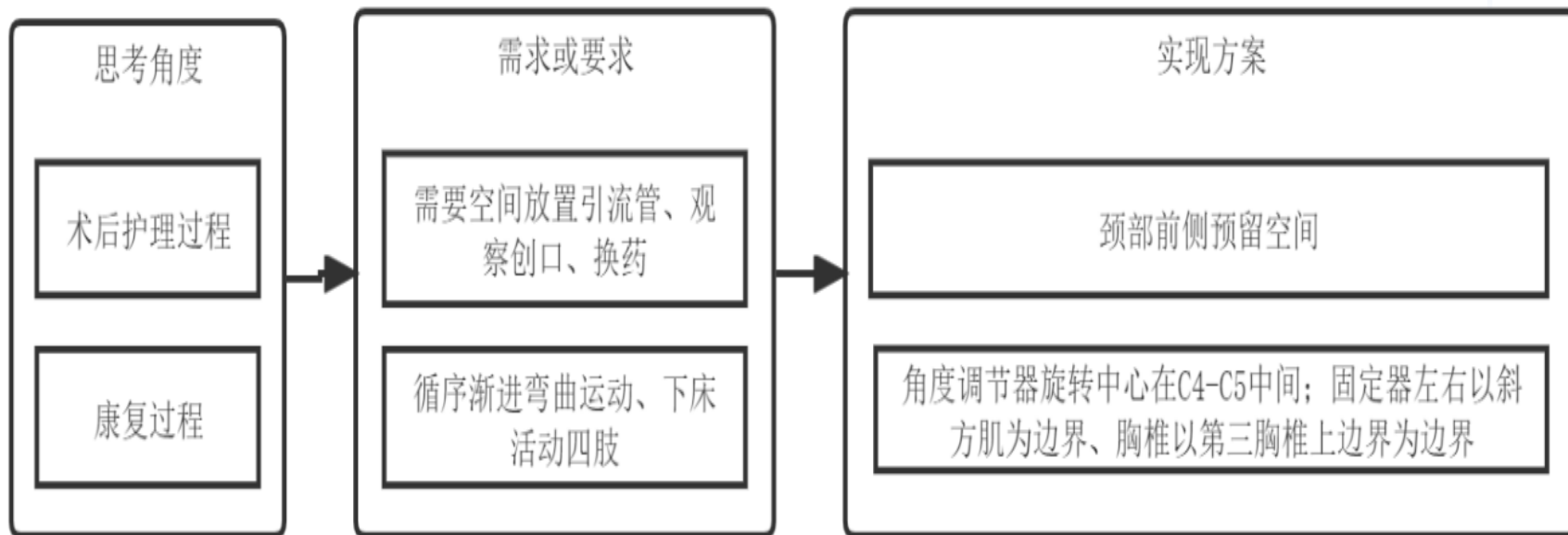
聚焦于舒适度、固定的可靠性、护理与康复便捷性问题，  
设计一个贴合人体轮廓、考虑人体解剖学结构与护理康复过  
程的硬质颈部固定器。



# 颈部固定器设计

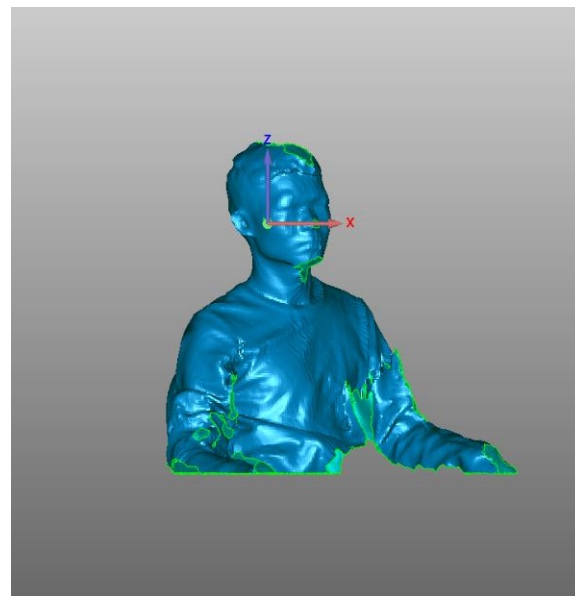


## 功能实现方案



# 颈部固定器设计

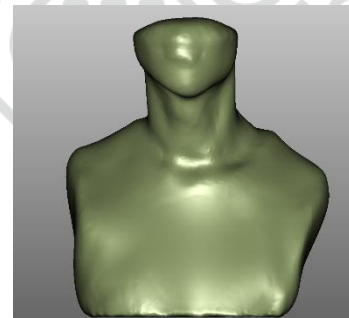
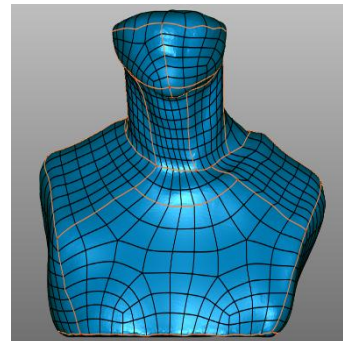
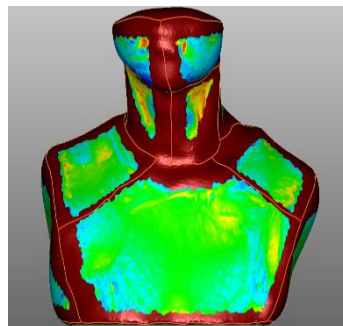
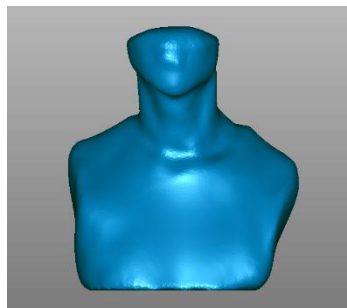
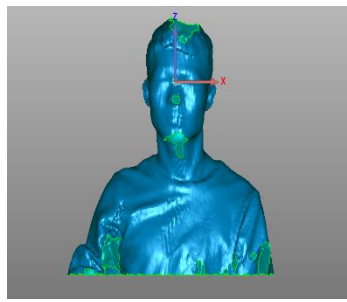
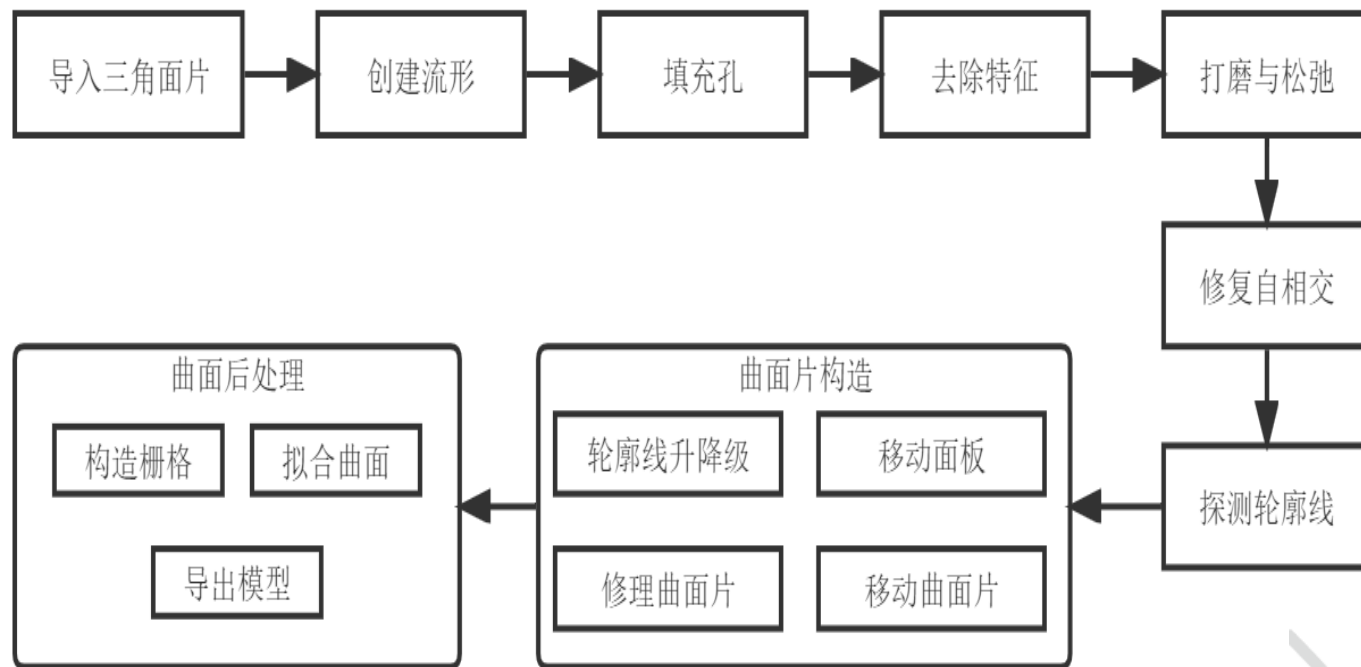
## ❖ 逆向工程反求身体模型



# 颈部固定器设计



## 逆向工程反求身体模型



摆正后的三角面片 多边形阶段的结果

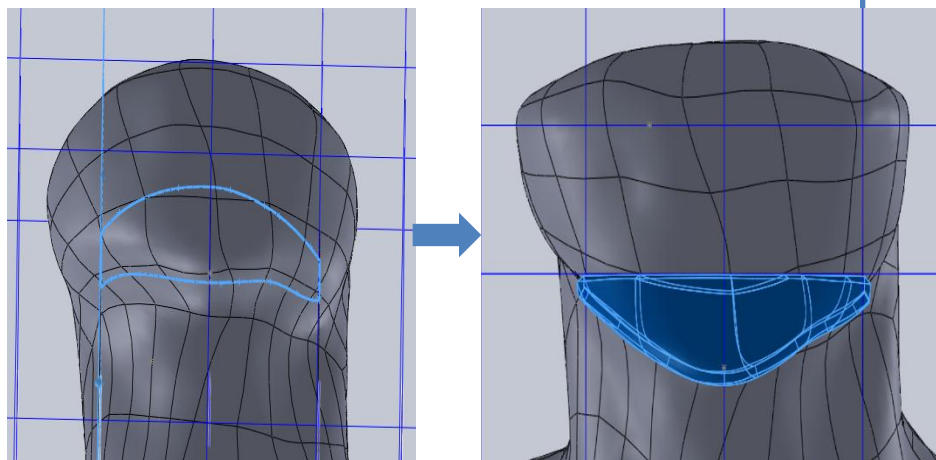
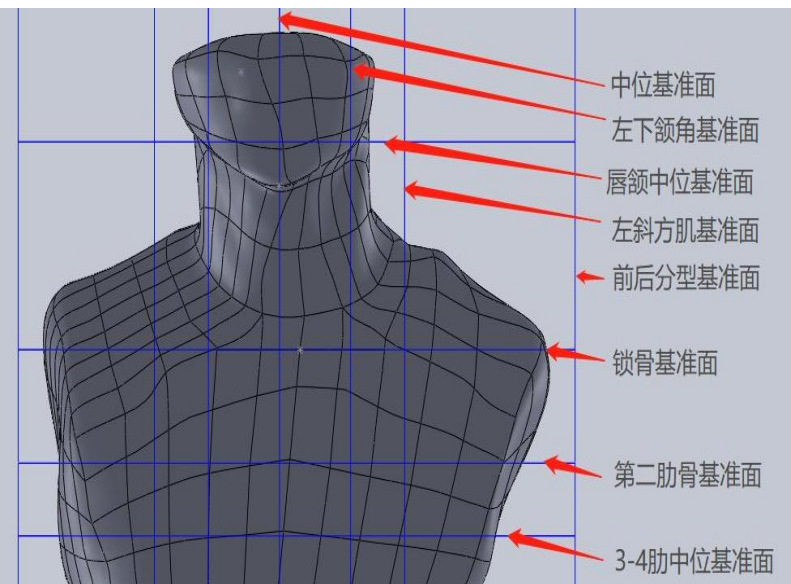
曲面片构造

构造栅格

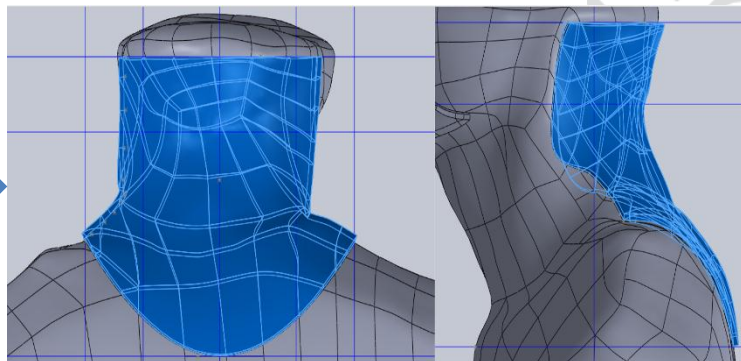
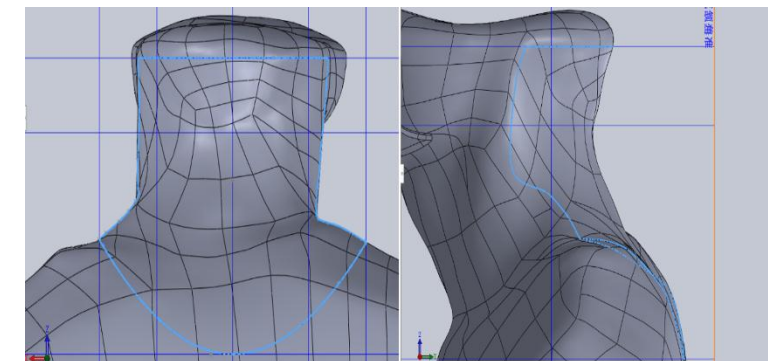
曲面阶段的结果

# 颈部固定器设计

## 正向设计——颈部固定器的曲面建模



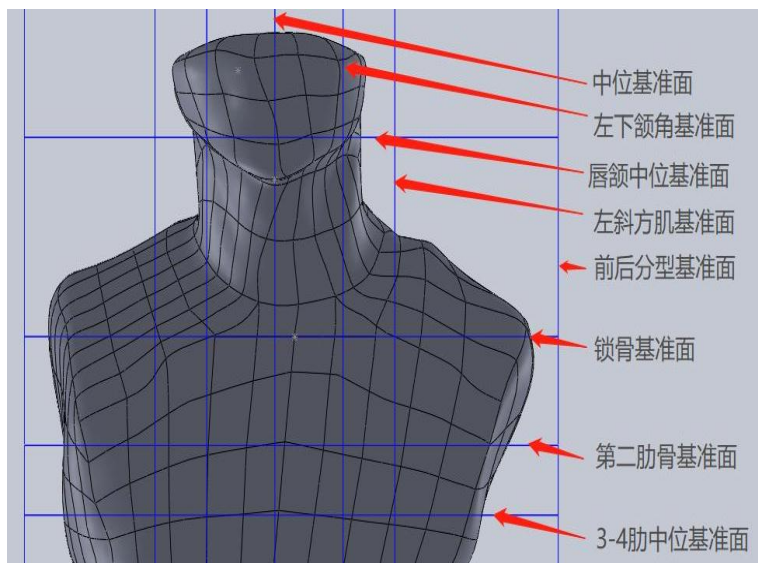
颈部支撑模型



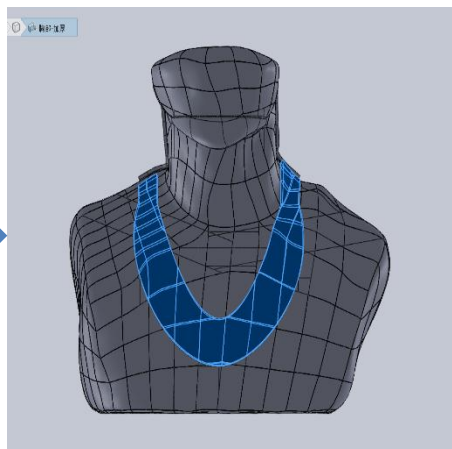
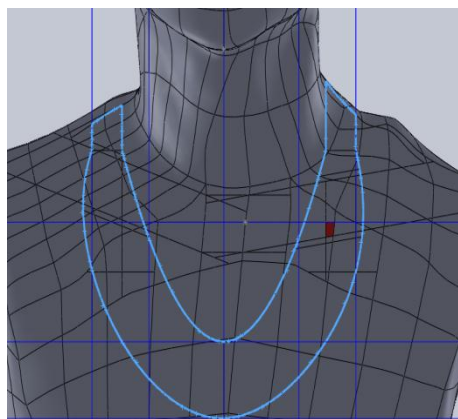
枕部支撑模型

# 颈部固定器设计

## 颈部固定器的曲面建模



根据人体解剖学结构确定重要的定位基准



颌部支撑模型

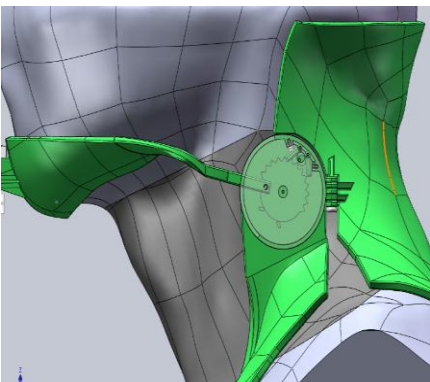
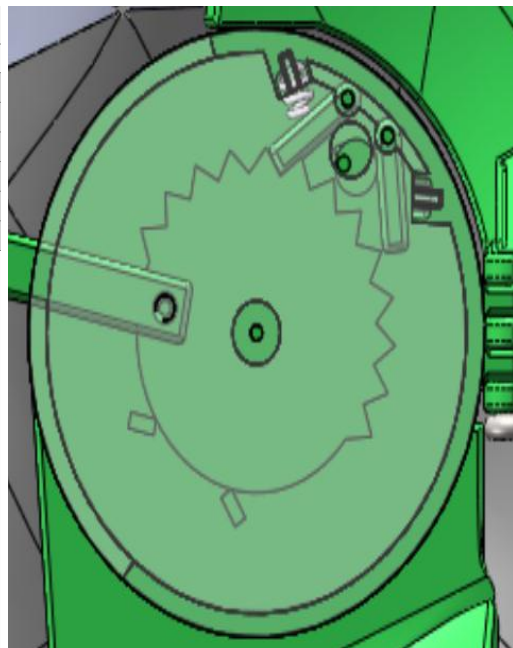
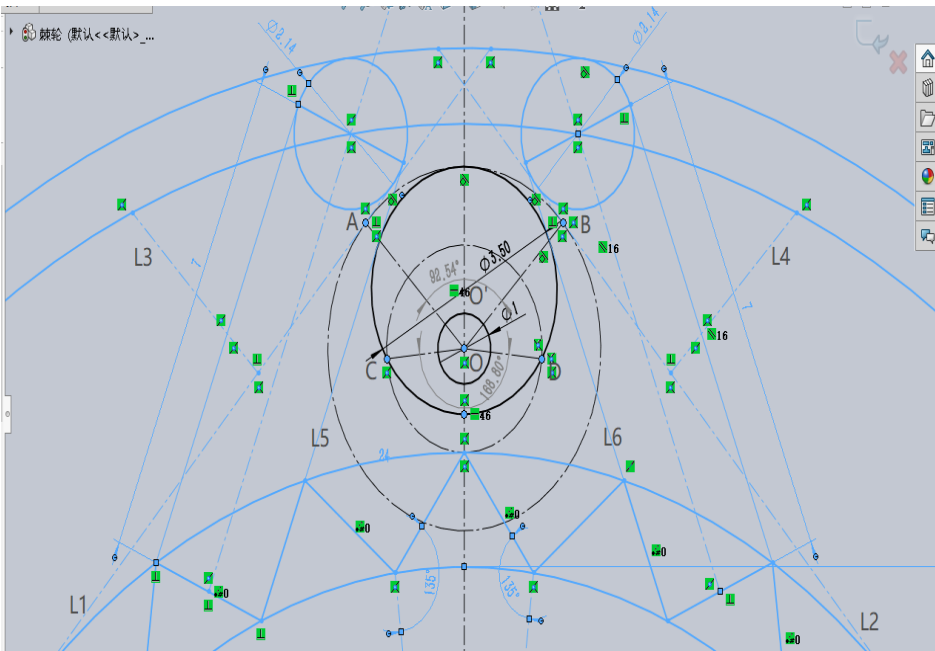


# 颈部固定器设计

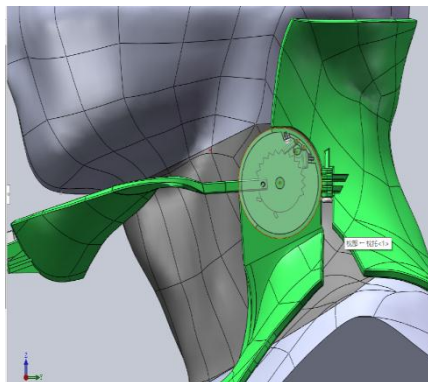
## 控制装置的设计

角度调节器

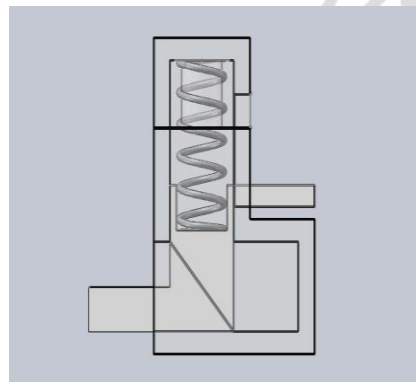
楔形机构



60度时的姿态

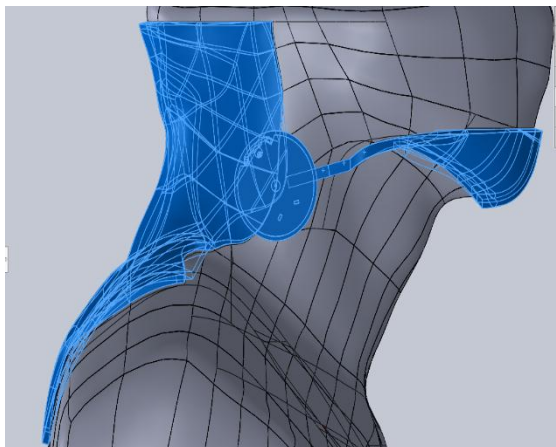


45度时的姿态

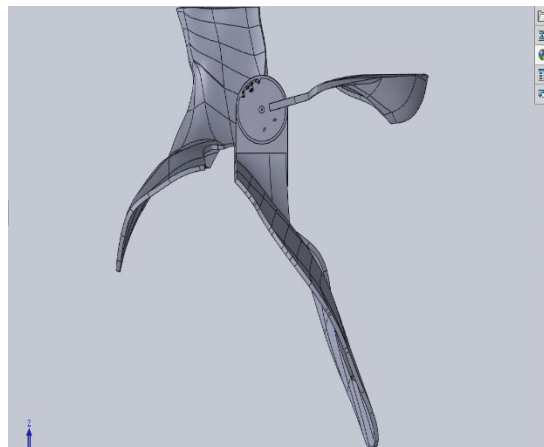


# 颈部固定器设计

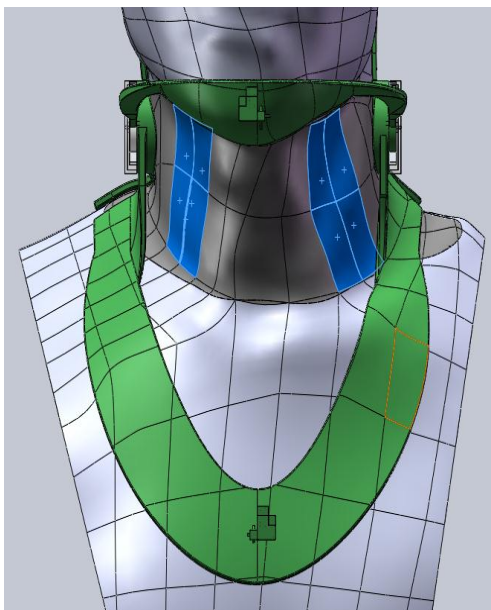
## 模型的结构调整



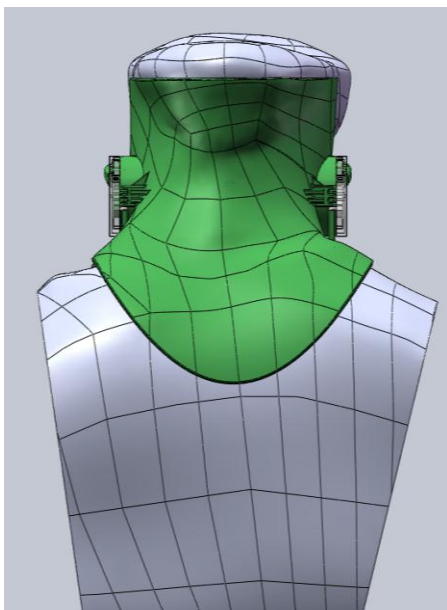
颌—枕支撑模型连接



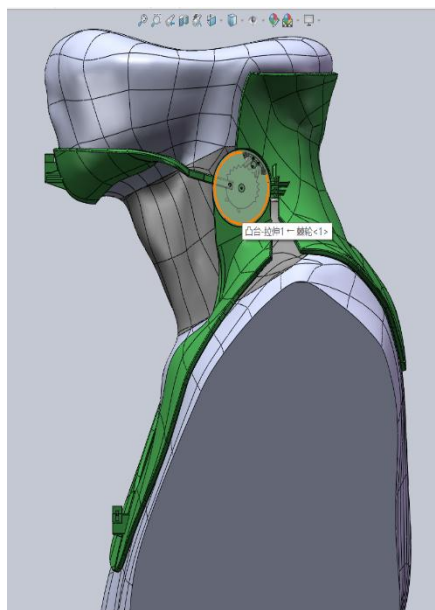
颈部固定器初步模型



装配图（前视）



装配图（后视）



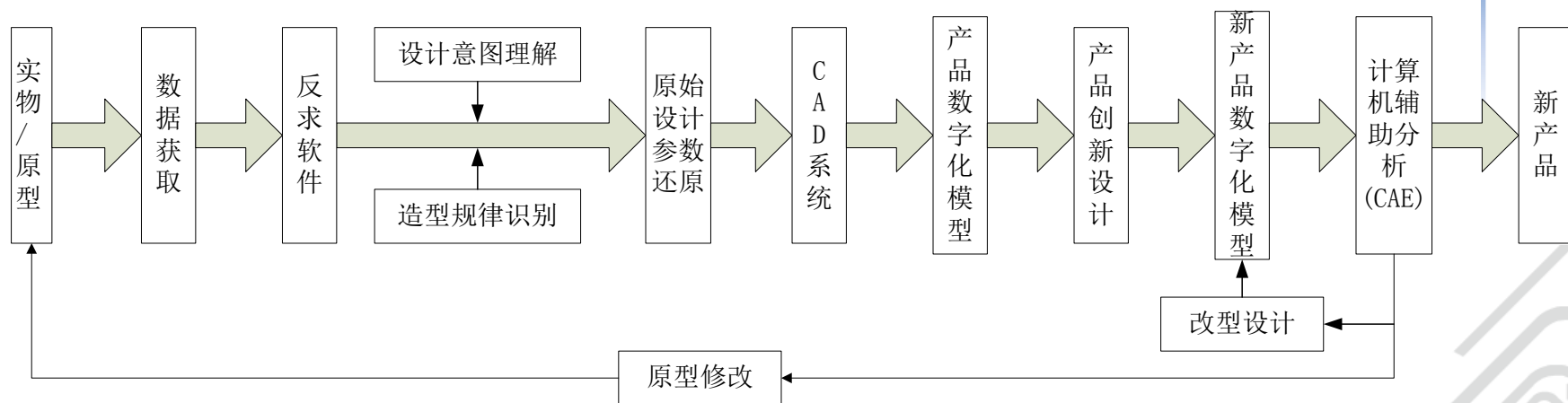
装配图（右视）



# 逆向设计流程



## 逆向设计的流程图



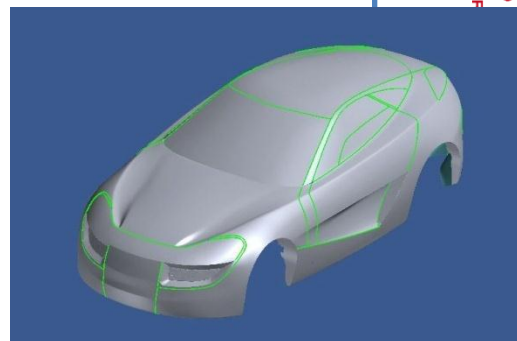
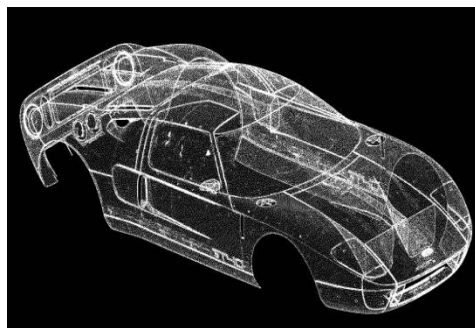
(b) 反求工程流程

- 是从实物到数字模型，再到产品（实物）的演化过程
- 形面构成复杂，设计信息难以用参数精确描述

# 逆向工程技术的一般流程



GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
廣東工業大學



逆向工程

型面数据测量

测量数据处理

数字模型重构

➤ CMM

➤ 激光扫描

➤ 结构白光

➤ 点云数据拼合

➤ 特征边界提取

➤ 数据精简等

➤ NURBS (B-Spline)

➤ 三角曲面

➤ 三角面片



# 逆向工程中的关键技术

逆向工程系统主要由三部分组成：

- ❖ 数据采集技术（产品实物几何外形的数字化）
- ❖ CAD建模技术（数据处理与CAD模型重建）
- ❖ 产品模型与模具的成型制造。





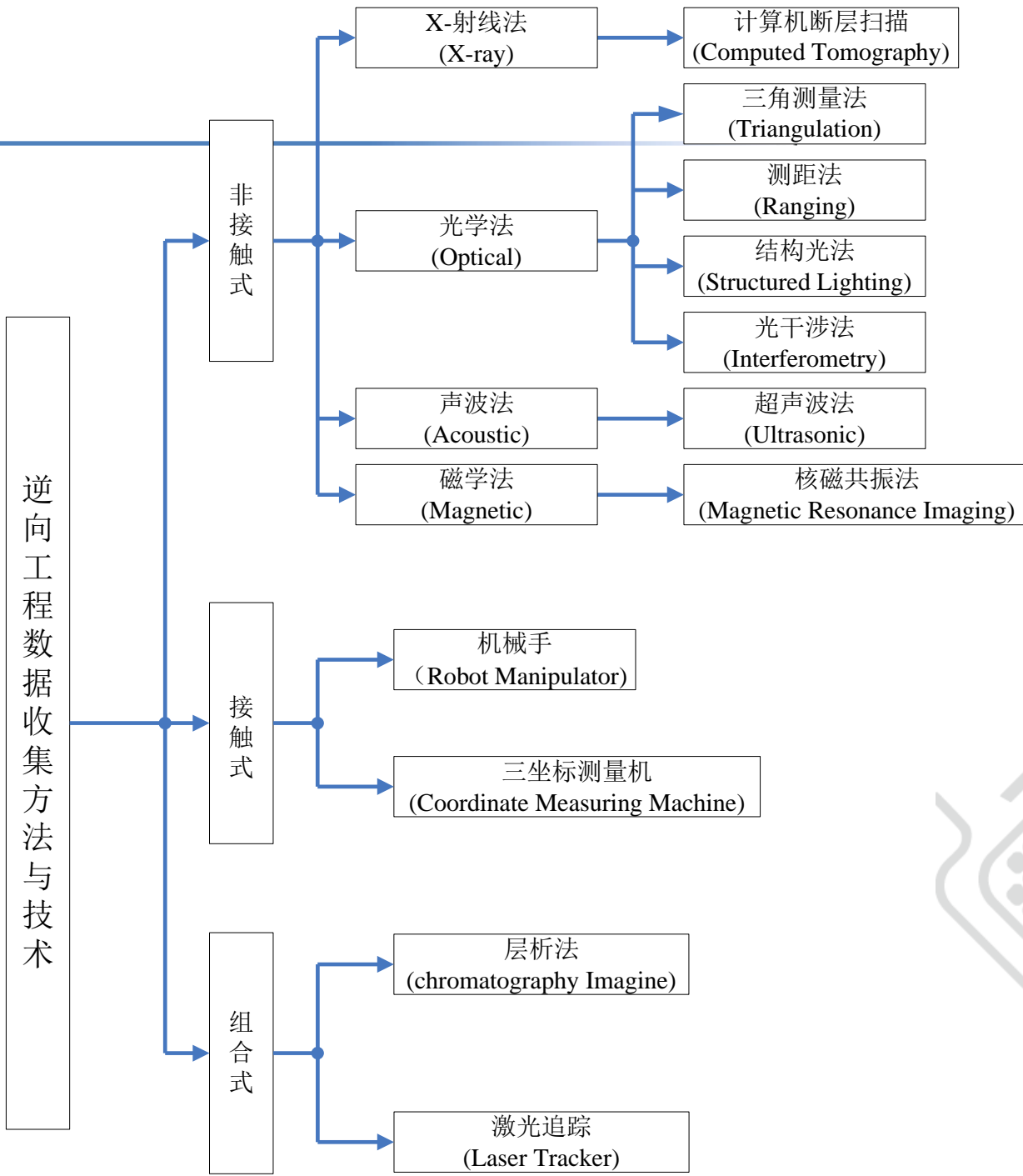
# 数据采集技术

- ❖ 实物的数字测量是指通过特定的测量设备和测量方法获得实物三维几何数据

分为接触式与非接触式两大类

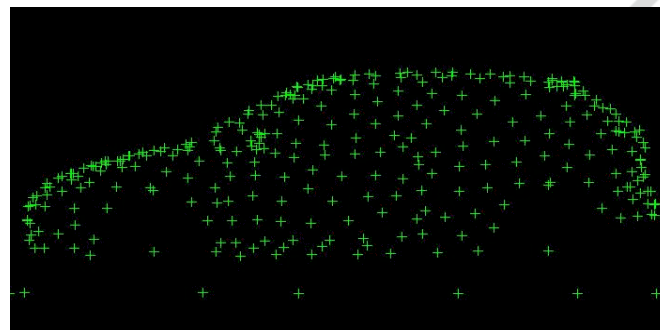
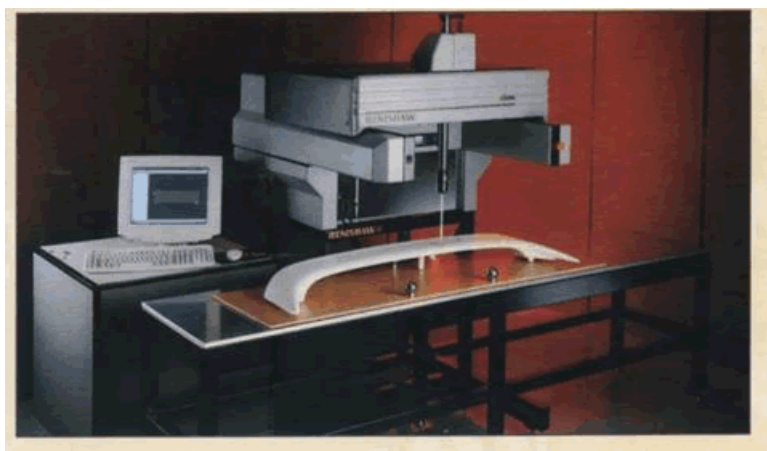
- ❖ 常见测量方法精度和速度的比较





# 逆向工程测量方法

## 三坐标测量机CMM





# 接触式方法——三坐标测量机 (CMM)

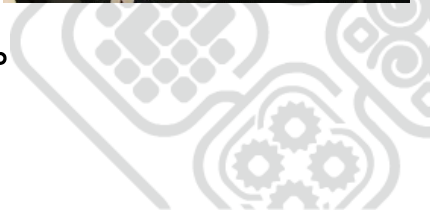
- 基于力—变形原理，通过接触式探头沿样件表面移动并与表面接触时发生变形检测出接触点的三维坐标，按采样方式又可分为单点触发式和连续扫描式两种。

## 优点：

- 精度高、重复性好、不受物体表面颜色和光照的限制。

## 缺点：

- 速度慢；
- 需要预先的路径规划和探针补偿；
- 对于几何特征少、大面积自由曲面的零部件测量困难；
- 数据密度低，限制了对零件整体拓扑连接和细节的辨识。



# CMM技术发展

- ❖ 高精度化（结构、材料）
- ❖ 自动化（自动路径规划）
- ❖ 非接触式
- ❖ [实例](#)



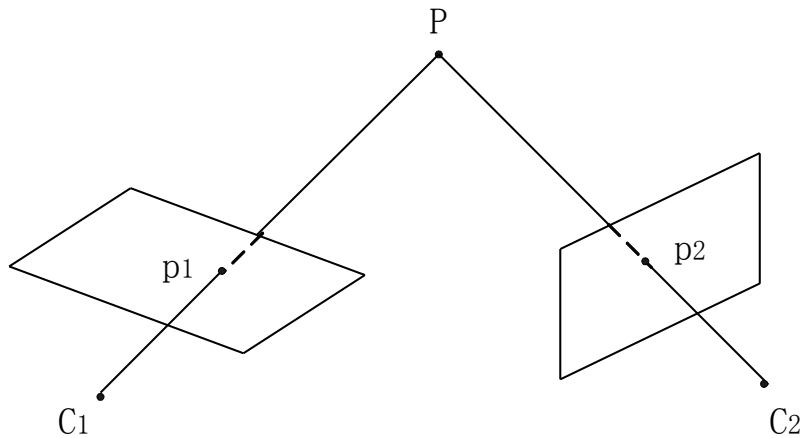
# 非接触式测量方法

## ❖ 立体视觉测量方法

立体视觉测量是根据同一个三维空间点在不同空间位置的两个（多个）摄象机拍摄的图像中的视差，以及摄象机之间位置的空间几何关系来获取该点的三维坐标值。

❖ 立体视觉测量方法可以对处于两个（多个）摄象机共同视野内的目标特征点进行测量，而无须伺服机构等扫描装置。

❖ 立体视觉测量面临的最大困难是空间特征点在多幅数字图象中提取与匹配的精度与准确性等问题。



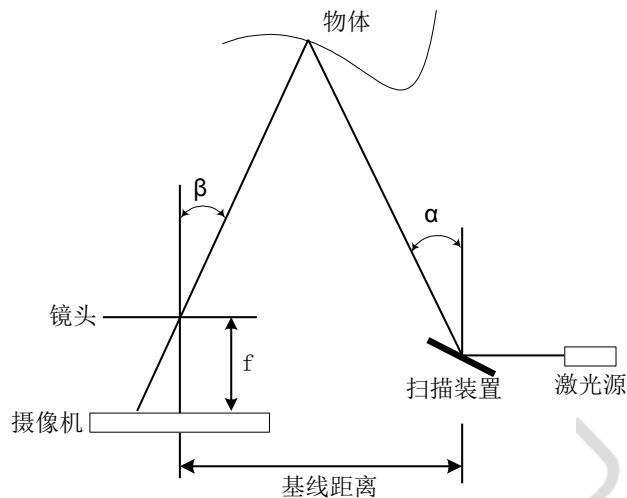
# 非接触式测量方法

## ❖ 激光三角法:

根据光源，物体表面反射点以及摄像机成像点之间的三角关系可以计算出表面反射点的三维坐标。可以避免立体视觉中对应点匹配的问题。

**优点:** 测量速度快，而且可达到较高的精度 ( $\pm 10 \mu\text{m}$ )

**缺点:** 对被测表面的粗糙度、漫反射率和倾角过于敏感，存在由遮挡造成的阴影效应，对突变的台阶和深孔结构易于产生数据丢失。



# 逆向工程测量方法

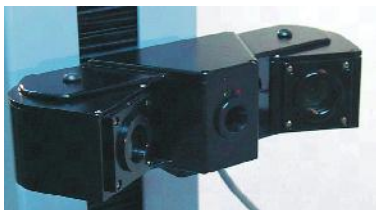
## 激光扫描测量



- 非接触测量，外形测量
- 精度几十个um
- 测量速度较快



# 激光扫描仪



廣東工業大學  
GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 逆向工程测量方法

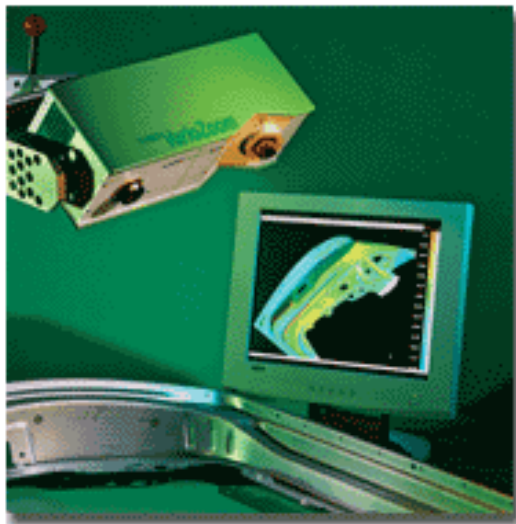


UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

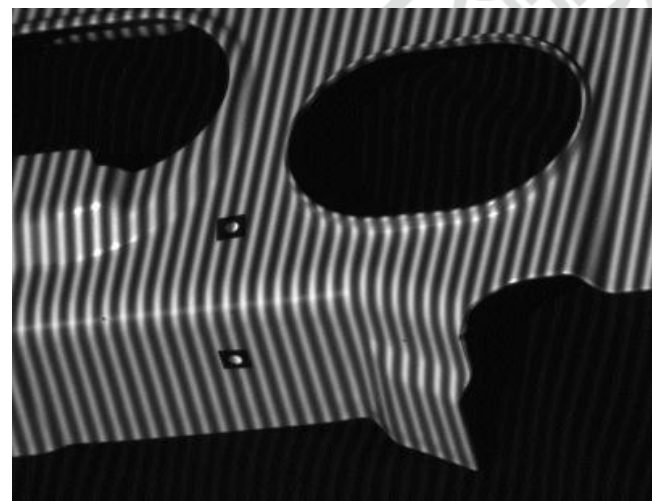
## 结构白光测量

UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
工業大學

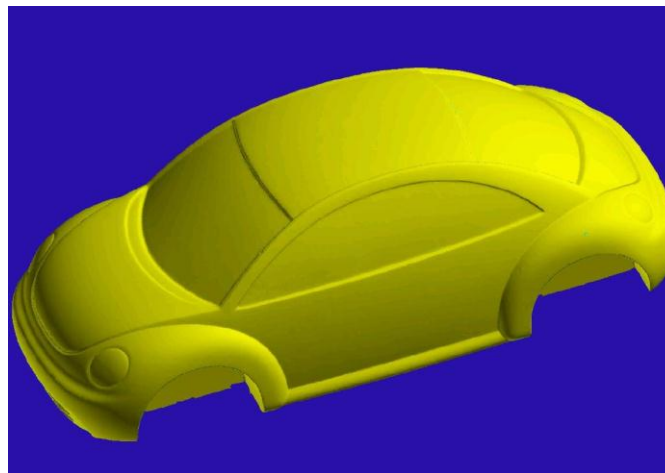
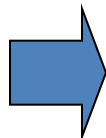
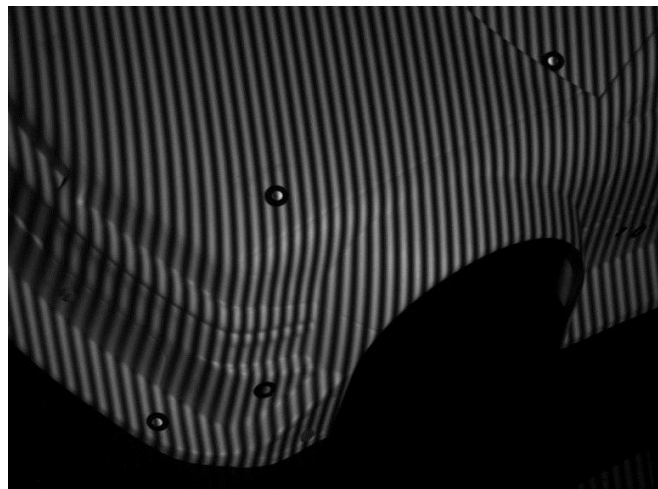
### ❖ 结构白光测量



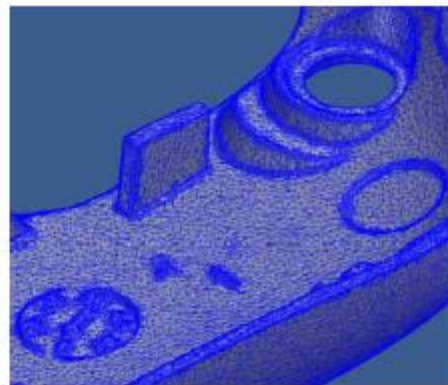
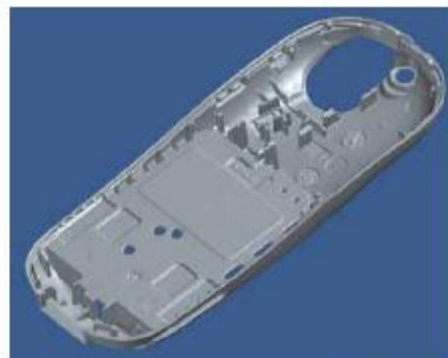
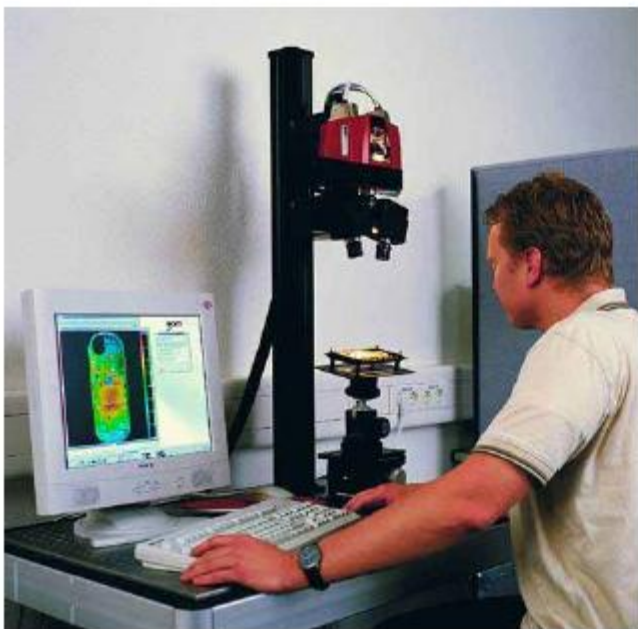
- 非接触测量，外形测量
- 精度数十到数百 $\mu\text{m}$
- 面测量
- 测量速度快



# ATOS II 光栅投影测量过程



# 对小型工件的测量



# 对大型工件的测量



C130 Hercules airplane

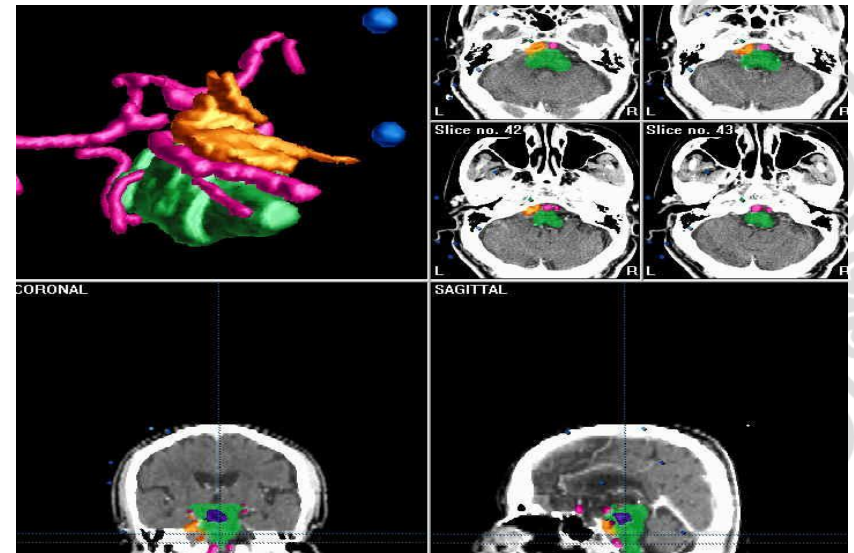
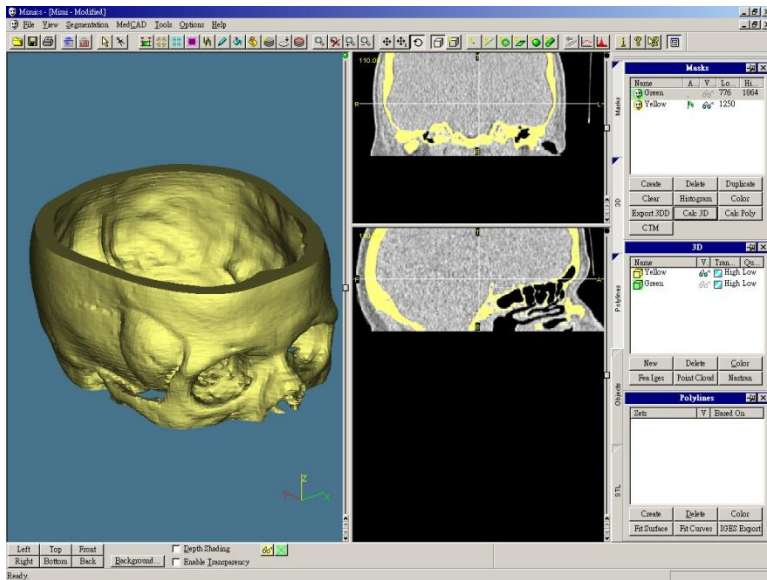
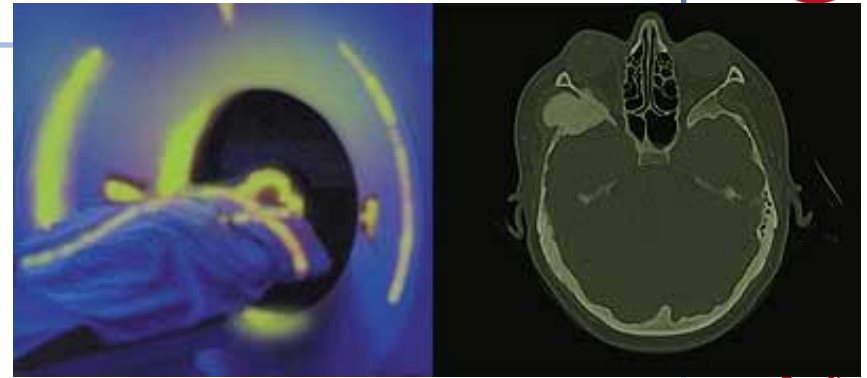
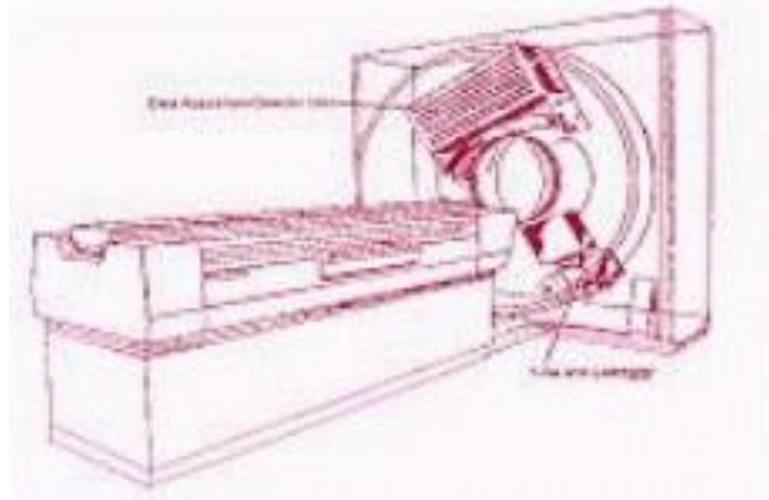




# 基于工业CT断层扫描图像逆向工程法

这种测量方法对被测物体进行断层截面扫描，以X射线的衰减系数为依据，经处理重建断层截面图像

- ❖ 根据不同位置的断层图像可建立物体的三维信息。
- ❖ 该方法可以对被测物体内部的结构和形状进行无损测量。
- ❖ 该方法造价高，测量系统的空间分辨率低，获取数据时间长，设备体积大。
- ❖ 美国LLNL实验室研制的高分辨率ICT系统测量精度为0.01mm。



# 层析法

- ❖ 层析法是近年来发展的一种反求工程逆向工程技术
- ❖ 将研究的零件原形填充后，采用逐层铣削和逐层光扫描相结合的方法获取零件原形不同位置截面的内外轮廓数据，并将其组合起来获得零件的三维数据。
- ❖ 层析法的优点在于任意形状，任意结构零件的内外轮廓进行测量，但测量方式是破坏性的。



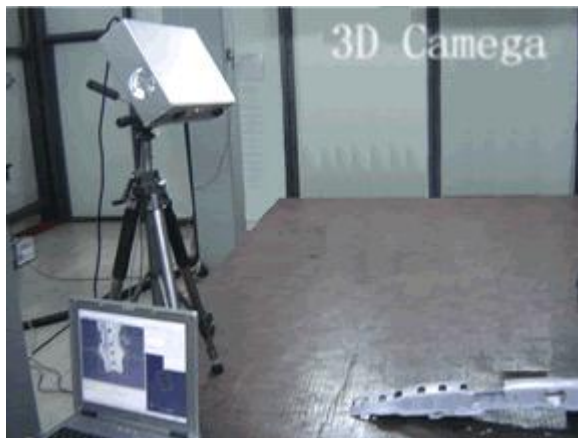
# 逆向工程测量方法

## 方法比较

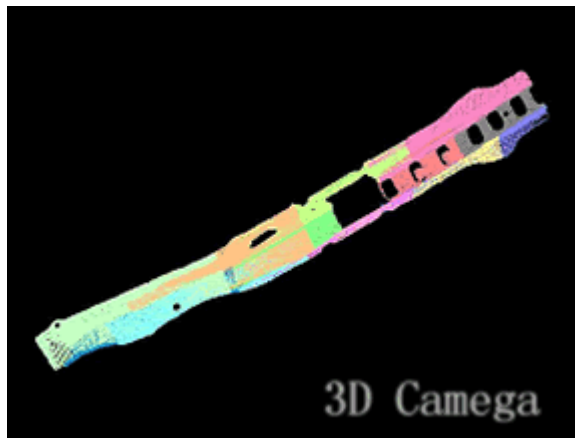
↕	精度	速度	内部轮廓可测性	形状限制	材料限制	价格↕	↕
三坐标 测量法↕	高 $\pm 0.5 \mu m$ ↕	慢	否	有	有	高↕	↕
激光三 角法↕	较高 $\pm 5 \mu m$ ↕	快	否	无	无	较高↕	↕
投影光 栅法↕	较低 $\pm 20 \mu m$	快	否	表面变化 不能过陡↕	无	较高↕	↕
CT 断层 扫描法↕	低 $0.1mm$ ↕	较慢	能	无	有	较高↕	↕
层析法↕	较低 $\pm 25 \mu m$ ↕	较慢	能	无	无	较高↕	↕



# 某汽车模具厂现场扫描的实例



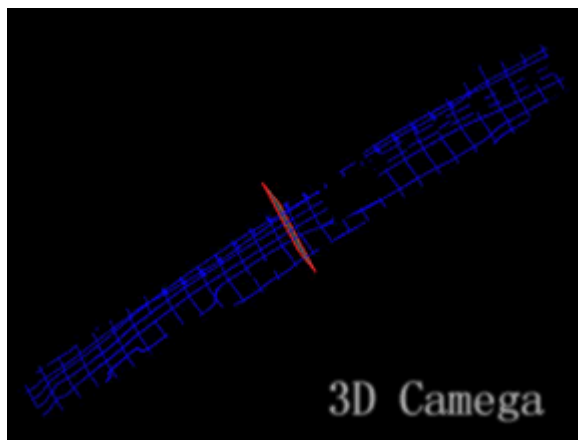
三维扫描仪对物体多方位多角度进行拍摄



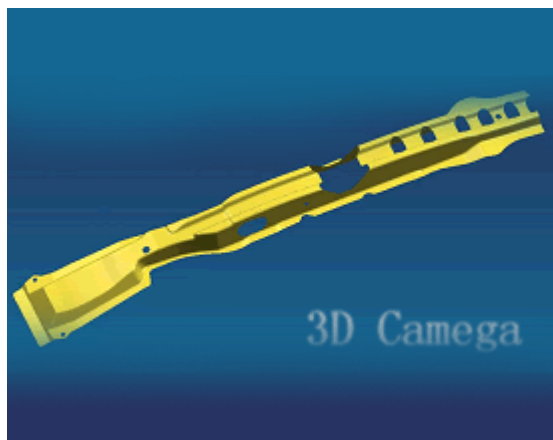
利用被测物体表面的特征点或者标记点自动拼接后获得的完整点云数据



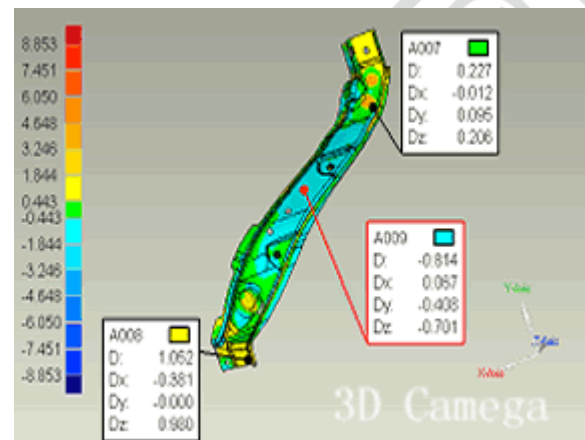
经过对原始数据进行除噪、取样后获得高质量的点云数据



从点云数据中提取特征线、边界线

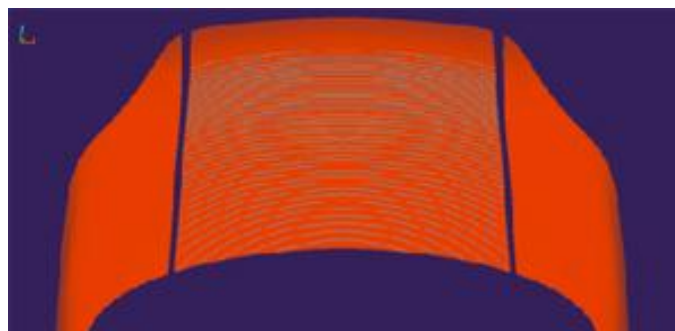
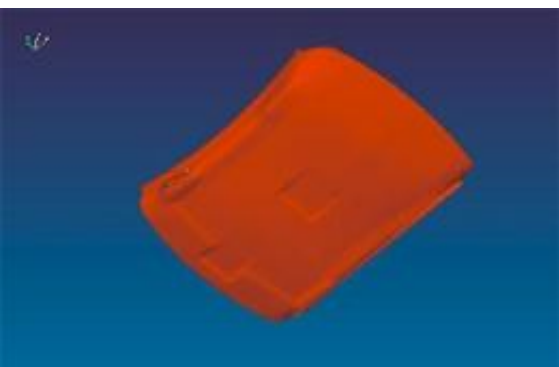


逆向软件中建成模型

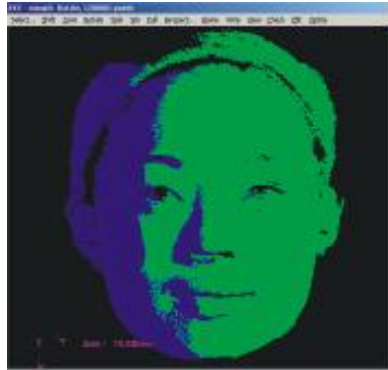


在逆向件中数模对比分析，检验产品

# 扫描的实例



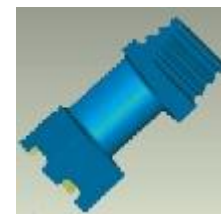
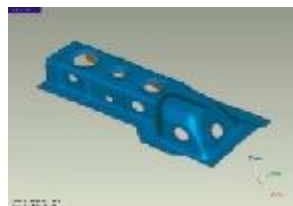
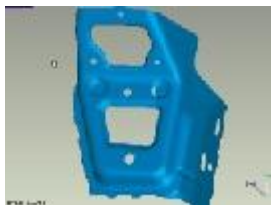
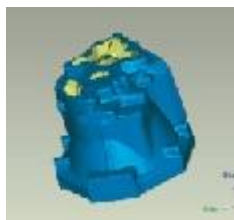
# 扫描的实例



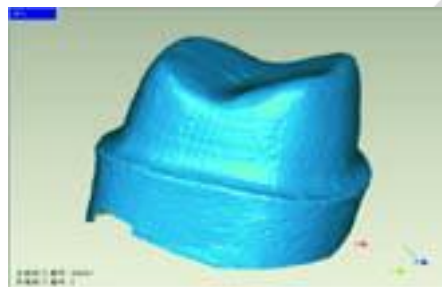
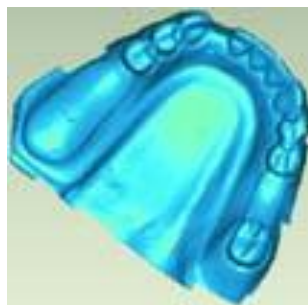
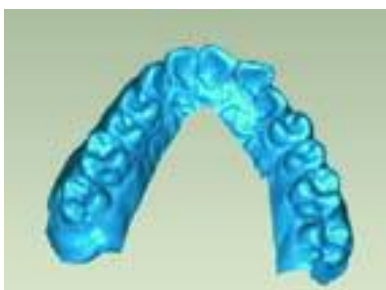
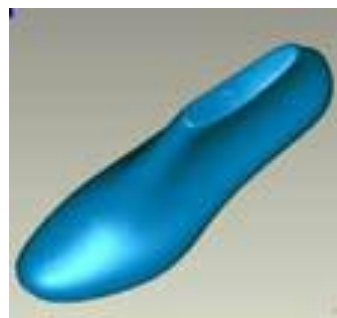
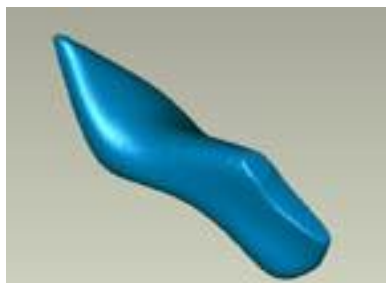
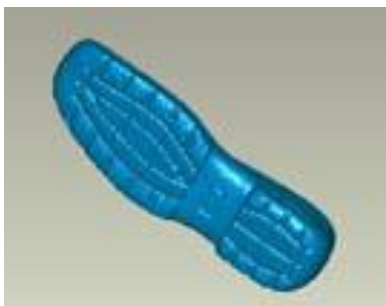
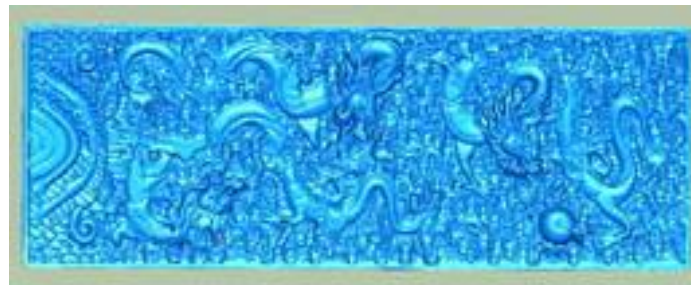
廣東工業大學  
GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 扫描的实例



# 扫描的实例

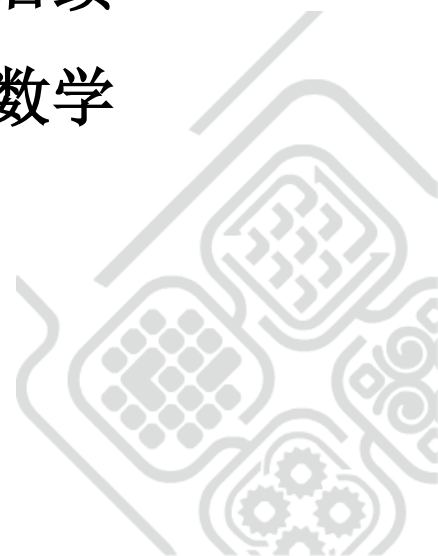


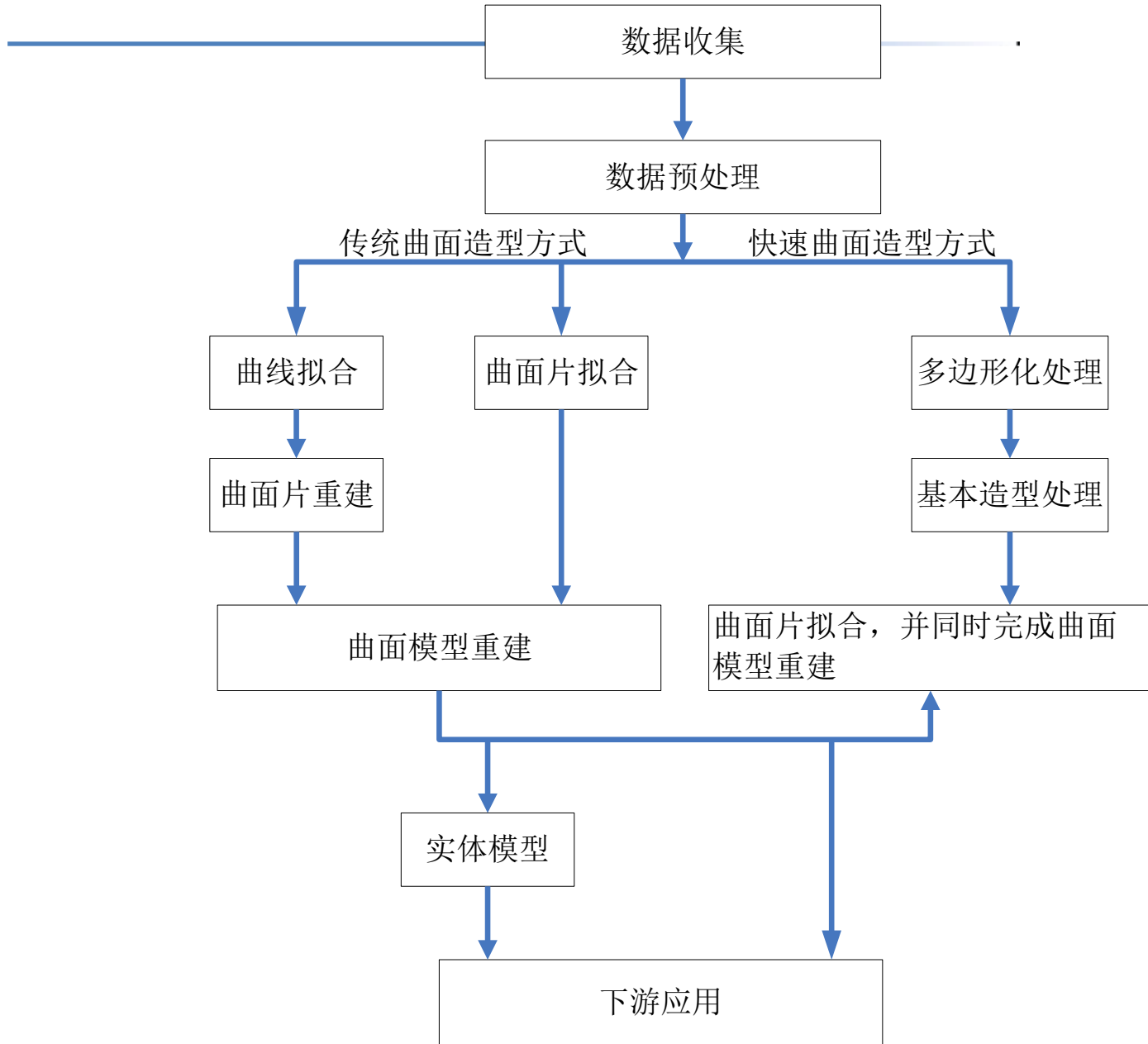
廣東工業大學  
GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# CAD建模技术

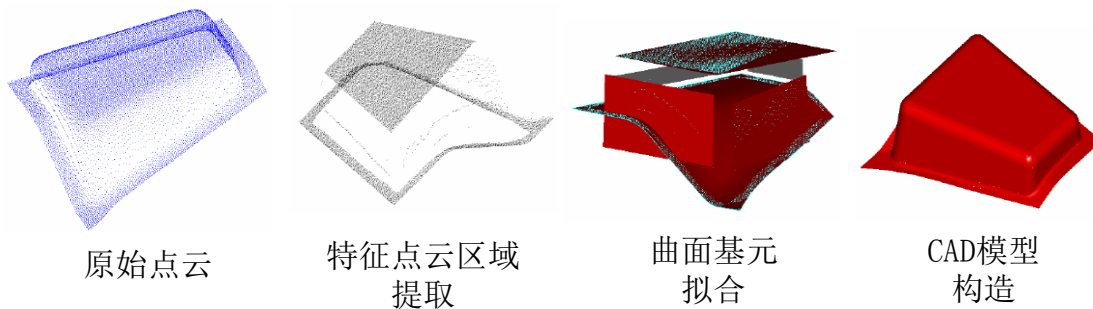
- ❖ 产品的三维CAD建模是指从一个已有的物理模型或实物零件产生出相应的CAD模型的过程，包含物体离散测点的网格化、特征提取、表面分片和曲面生成等，是整个RE过程中最关键、最复杂的一环，也为后续的工程分析、创新设计和加工制造等应用提供数学模型支持。



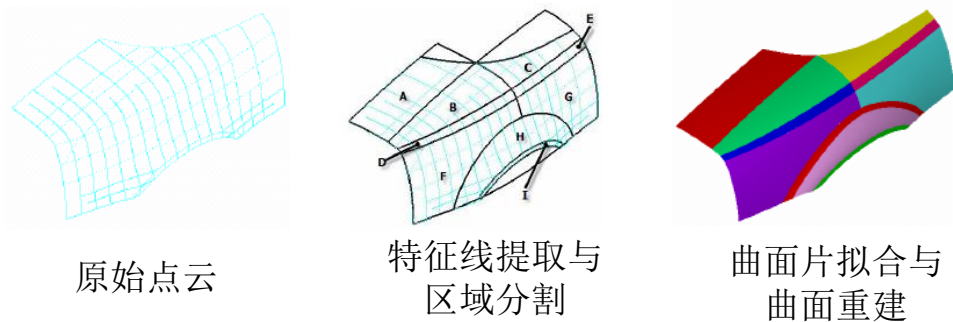


# 传统曲面造型方式

- ◆ 主要表现为由点——线——面的经典逆向建模流程，它使用NURBS曲面直接由曲线或测量点来创建曲面，其代表有Imageware, ICEM Surf和CopyCAD等。



(a) 基于曲面片直接拟合的曲面重建



(b) 基于特征曲线的曲面重建

传统曲面造型方式建模



# 快速曲面造型方式

- ❖ 是通过对点云的网格化处理、建立多面体化表面来实现的，其代表有Geomagic和Re-soft等。

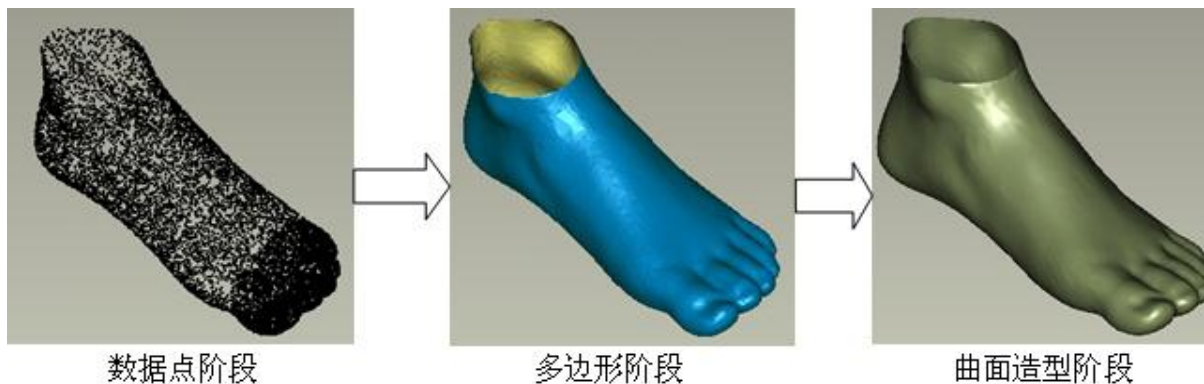
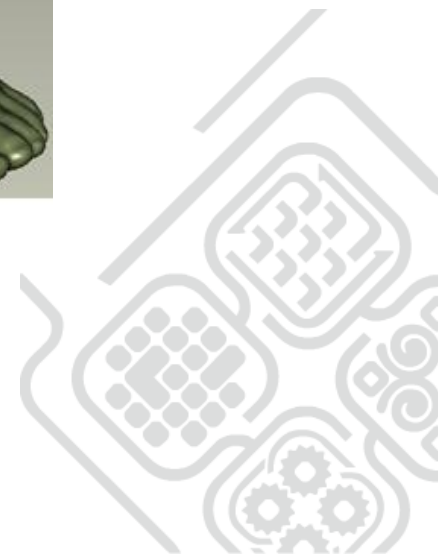


图1-10 快速曲面重建的“三阶段法”



# 逆向工程的应用

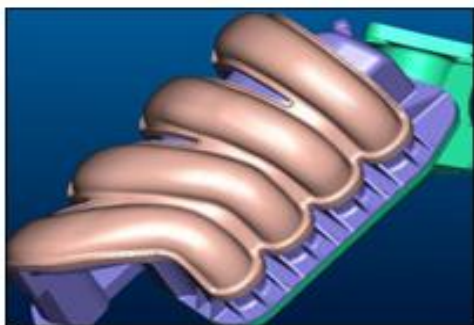
## 例1: 汽车零件用模具



压铸件



摩托车覆盖件



汽车排气管



仪表板



# 逆向工程的应用

## 例2:小家电



家用小电器具

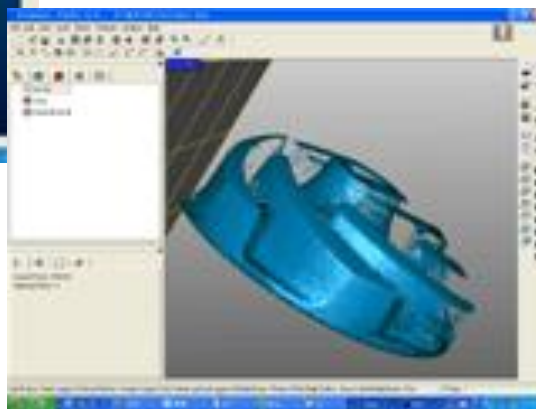


电动工具



# 逆向工程的应用

## 例3: 涡轮



# 逆向工程的应用

- (1) 在对产品外形的美学有特别要求的领域;
- (2) 零件没有技术文件或技术文件不完整时;
- (3) 设计的产品需要通过实验测试才能定型时;
- (4) 模具行业;
- (5) 很难表达的几何形状;
- (6) 新产品开发
- (7) 文物、艺术品的修复
- (8) 快速原型制造

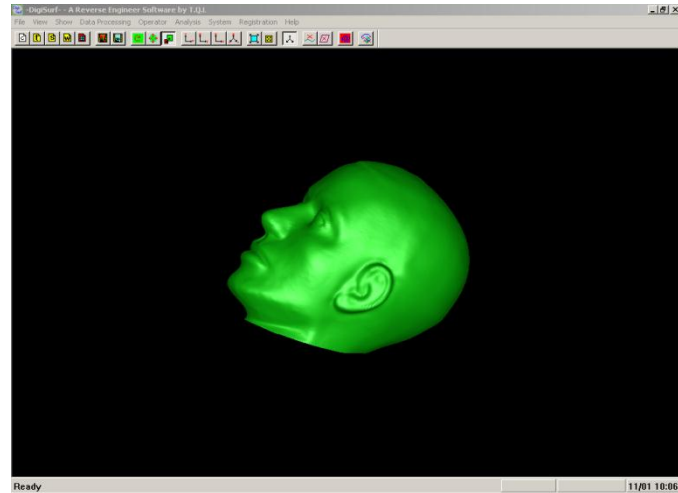
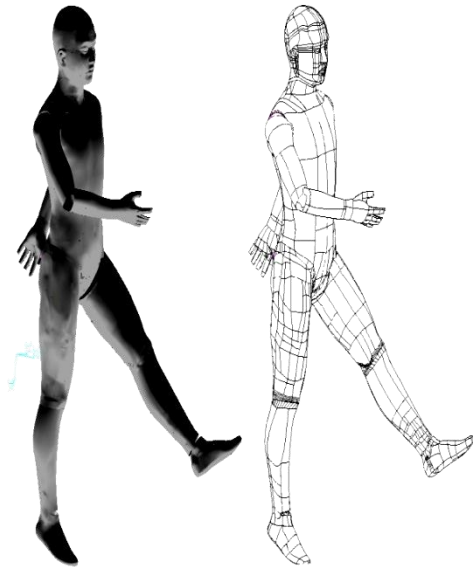




# 逆向工程的应用

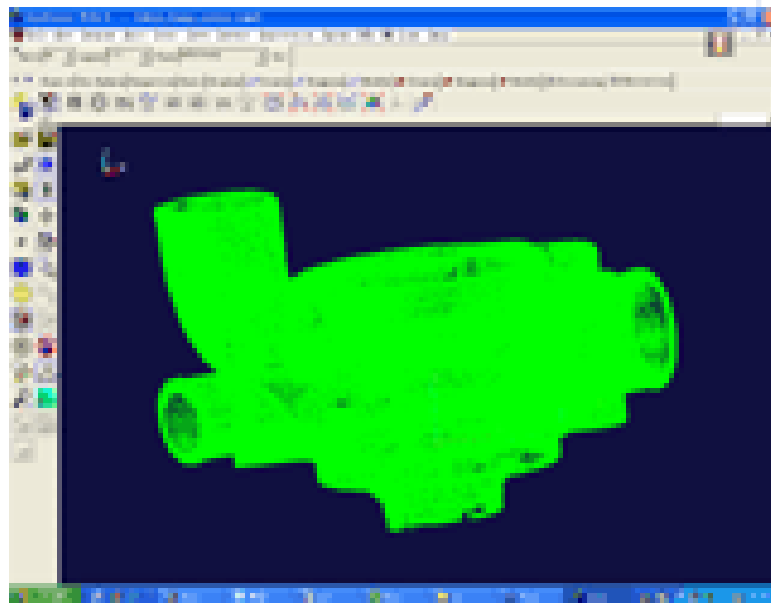
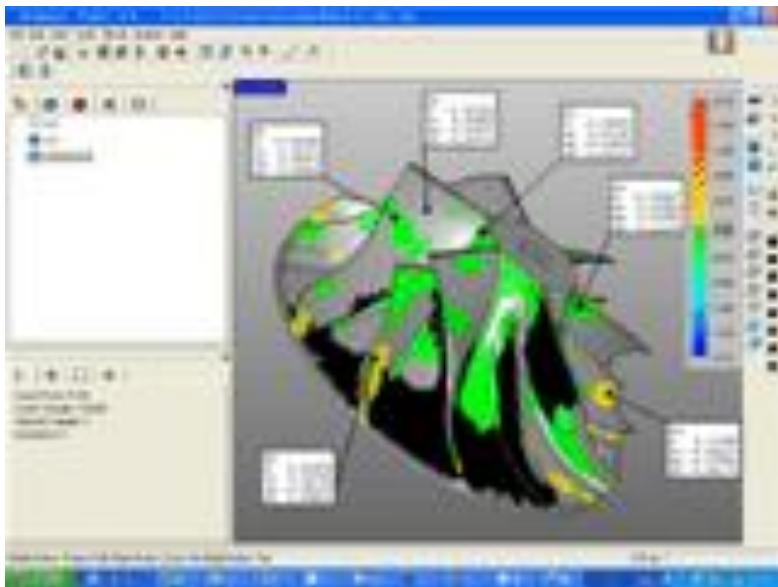
## (1) 在对产品外形的美学有特别要求的领域

例:在对产品外形的美学有特别要求的领域，为方便评价其美学效果，设计师广泛利用油泥、木头等材料进行快速且大量的模型制作，将所要表达的意图以实体的方式呈现出来。因而，产品几何外形通常不是应用CAD软件直接设计，而是首先制作木质或油泥全尺寸模型或比例模型，再反求工程技术重建产品数字化模型



# 逆向工程的应用

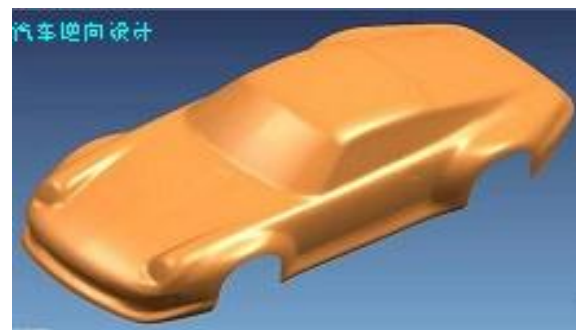
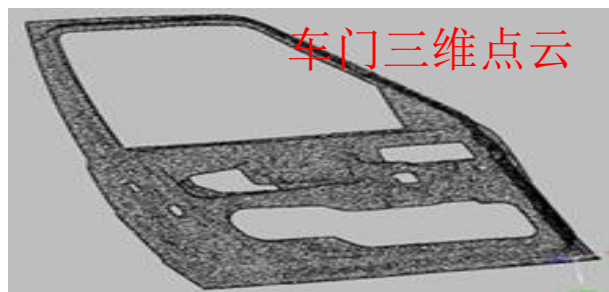
(2)技术文件不完整时  
例：引进设备零件



# 逆向工程的应用

(3)设计的产品需要通过实验测试才能定型时

例:汽车覆盖件、汽车外型、航空航天



# 逆向工程的应用

## (4) 模具行业

经常需要通过反复试冲和修改模具型面，方可得到最终符合要求的模具。而这些几何外形的改变却未曾反映在原始的CAD模型上。

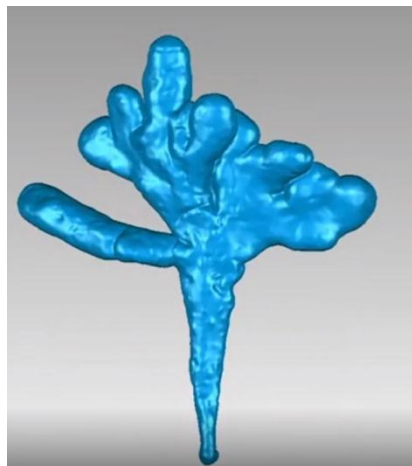
例：模具、手机外壳等



# 逆向工程技术的应用

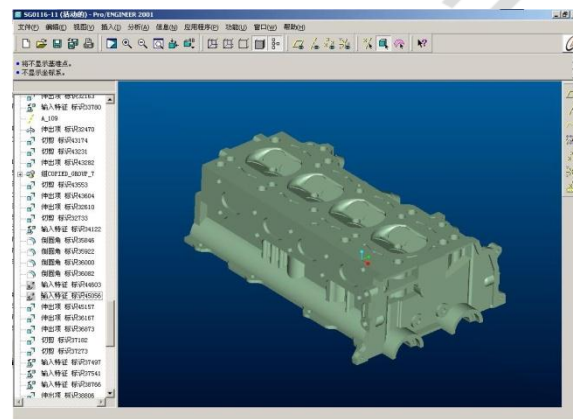
(5) 很难表达的几何形状

利用3D扫描仪输出的三维数据，可以制作一模一样的实物，大大减轻设计师的工作量。



# 逆向工程技术的应用

(6) 新产品开发  
例:汽车发动机  
汽车油泥模型



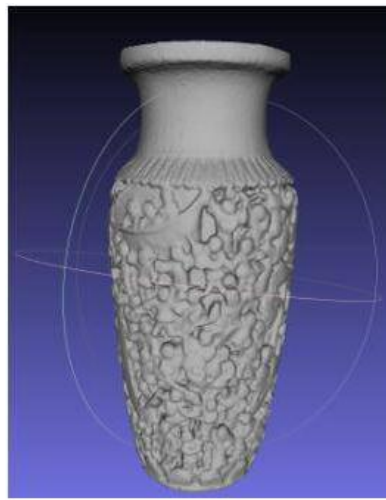


# 逆向工程技术的应用

(7) 在文物保护中，采用逆向工程技术对文物进行三维扫描，经数据处理、曲面重构得到的文物三维数字化数据，不仅使文物得到再现，还可以永久保存，便于对文物进行保护、修复及二次开发，降低了保护成本。数字博物馆的建立依赖于逆向工程技术得以发展。



文物真品



数字文物



用便携式关节臂测量机扫描陕西博物馆文物

# 逆向工程的应用

## (8) 快速原型制造(3D照相)





# 逆向工程技术的应用

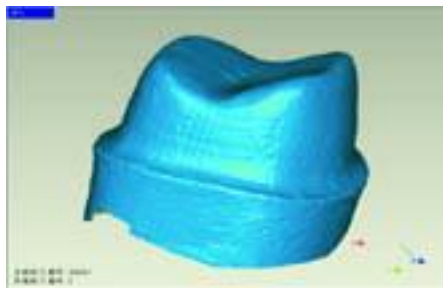
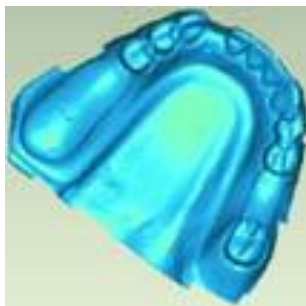
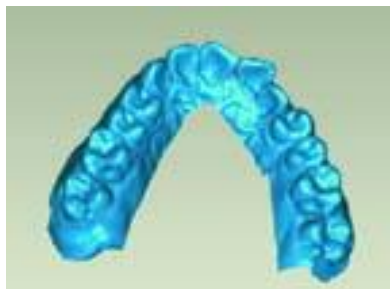
生物医学工程领域，人体骨骼、关节等的复制和假肢制造，特种服装、头盔的制造等，需要首先建立人体的几何模型。采用逆向工程技术扫描人体模型，通过定制人工关节和人工骨骼，保证重构的人工骨骼在植入人体后无不良影响。



在医院想要测量病人肌肉萎缩情况，每隔一段时间测量获取数据，再与上一次测量的数据进行对比，便于查看病人的状况变化情况，对测量出来的数据精度准确率要求高。用传统的测量方式，需要消耗的时间过多，而且获取的数据精度不高，细节呈现不好，不能解决问题。

# 逆向工程技术的应用

在牙齿矫正中，根据个人制作牙模，然后转化为CAD模型，经过有限元计算矫正方案，大大提高矫正成功率和效率。通过建立数字化人体几何模型，可以根据个人定制特种服装，如宇航服，头盔等。



# 逆向工程的应用

## (9) 计算机辅助检测

产品制造完成以后，用反求工程方法测量出该产品的点云数据，与已有标准的CAD数据进行比较，分析误差，也称为计算机辅助检测。特别是在模具和快速成形等领域，工业界已用反求工程来定期地抽样检验产品，分析制造误差的规律，作为质量控制和分析产品缺陷的有力工具。



# 手机检测：扫描资料与CAD资料进行比较



PU模型/实物



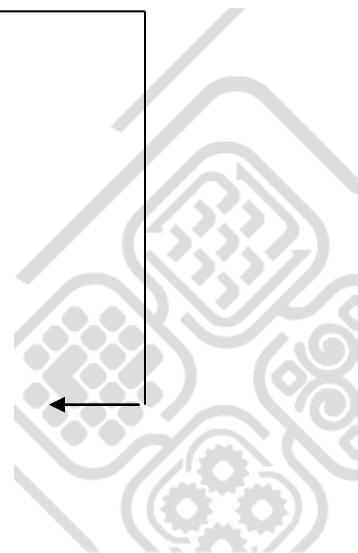
点云测量



CAV比對

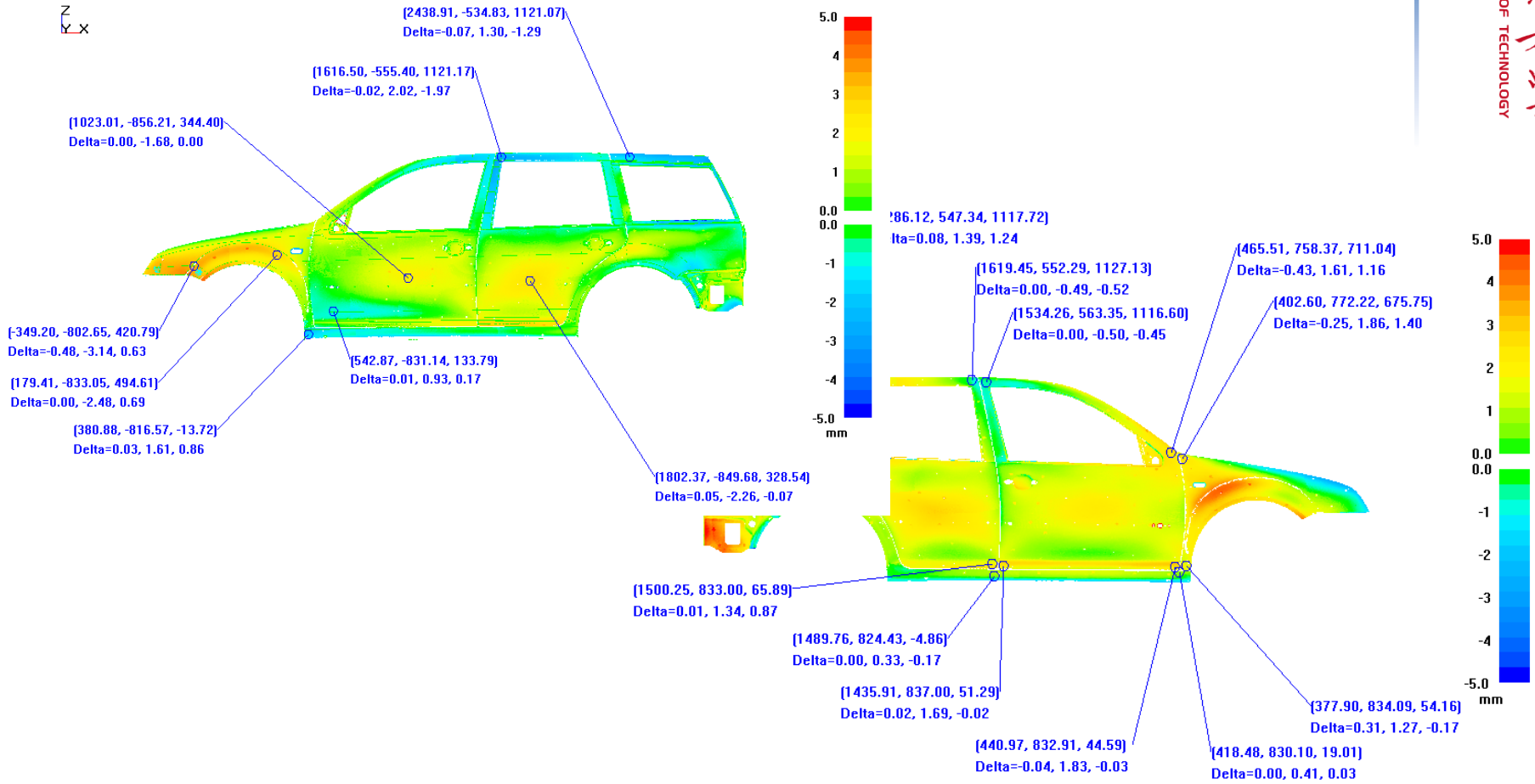


点云定位处理  
(Imageware)



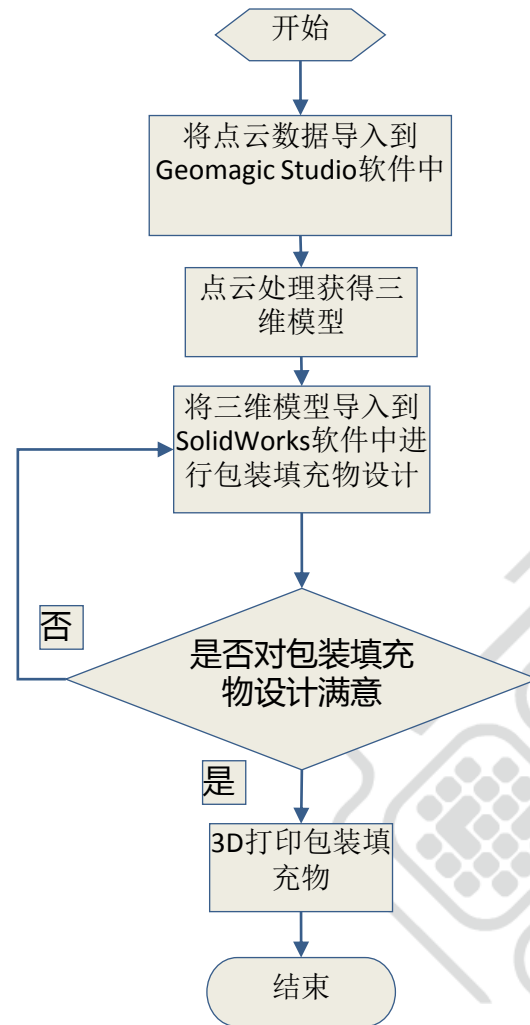
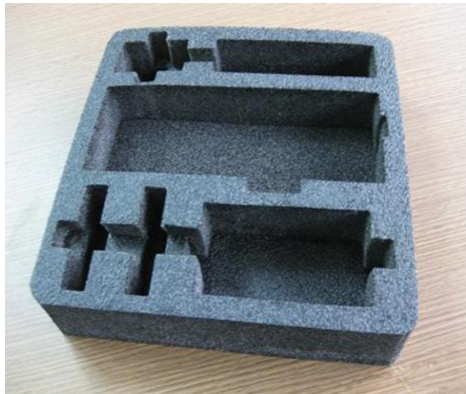


# 大众汽车对车身的检测： 扫描资料与CAD资料进行比较





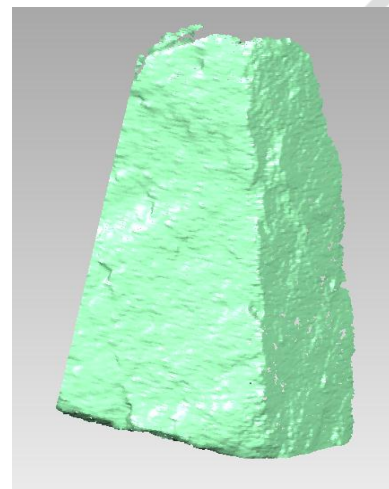
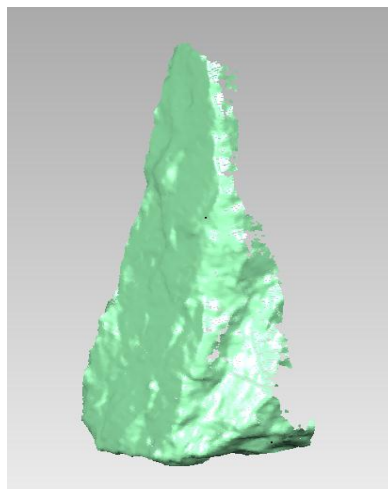
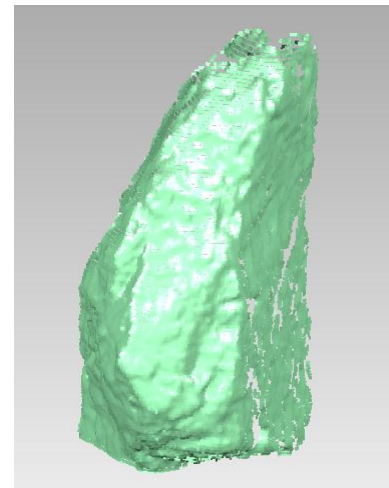
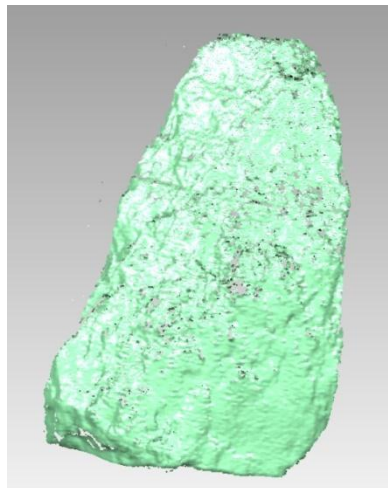
# 逆向工程实例：定制包装填充物



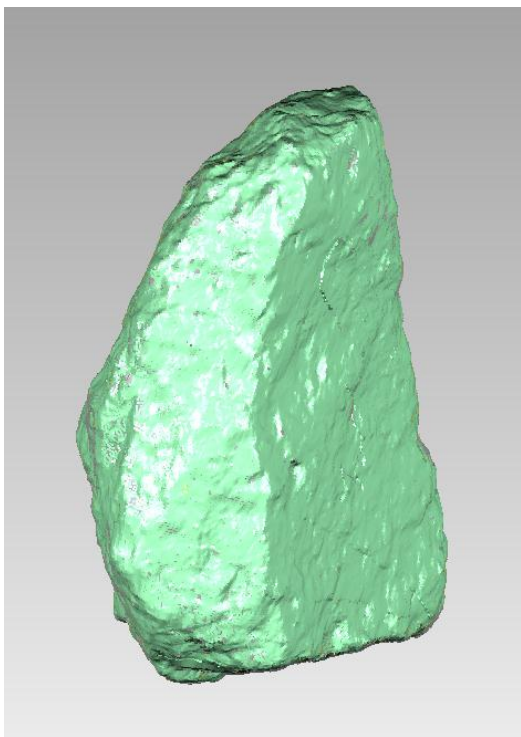
# 逆向工程实例：定制包装填充物



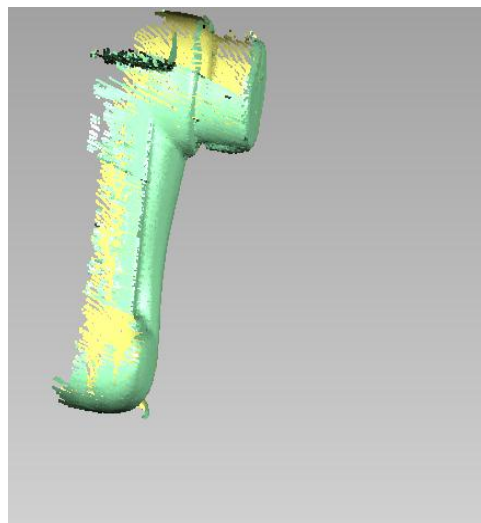
廣東工業大學  
GUANGDONG UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



# 逆向工程实例：定制包装填充物



# 逆向工程实例：限时定量出固体颗粒装置



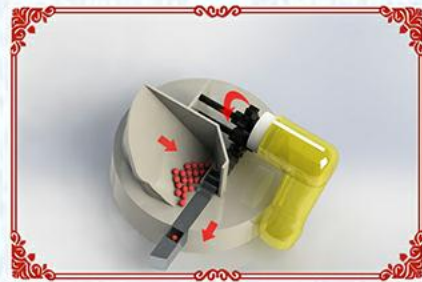


# 逆向工程实例：限时定量出固体颗粒装置



## 设计理念：

本产品针对老人和儿童，在没人看护的情况下，会多吃糖丸或药丸，有害身体健康甚至危及生命的情况，设计了限时定量取出装置，实现单次只能推出定量糖丸或药丸，在限定时间内无法再次取出，超过限定时间方可再次推出的功能。本装置能有效的防止老人和儿童过量摄入糖丸或药丸，关爱老人儿童健康。



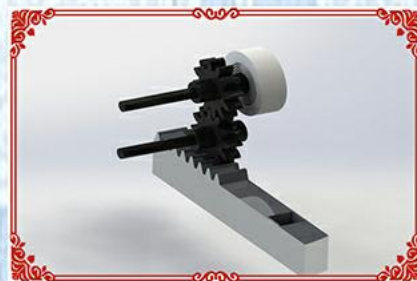
## 定量功能

由于斜面的作用，糖丸或药丸掉落到按实物大小设计的固体颗粒放置槽内。按下手臂传动装置，实现单次定量取出功能。



## 限时功能

单次取出后，手臂在发条限定时间内返回到原位后方可再次推出。



## 发条与传动结构

糖果盒内由一组齿轮带动齿条运动。灰色部分为拧紧发条与糖盒右臂配合。

# 逆向工程实例：个性化医疗护具设计



图 1 逆向工程获取足部模型



(a) 外脚板



(b) 内脚板



(c) 底脚板



(a) 外脚板模型



(b) 内脚板模型



(c) 底脚板模型



(d) 整体模型