

★ 服务热线: 400-615-1233
★ 配套精品教学资料包
★ www.huatengedu.com.cn

SANWEI SAOMIAO YU NIXIANG GONGCHENG

三维扫描与逆向工程

三维扫描与逆向工程

主编 胡双喜

SANWEI SAOMIAO YU NIXIANG GONGCHENG

三维扫描与逆向工程

主编 胡双喜

策划编辑: 刘子嘉
责任编辑: 高 宇
封面设计: 黄燕美



定价: 49.90元

北京邮电大学出版社



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

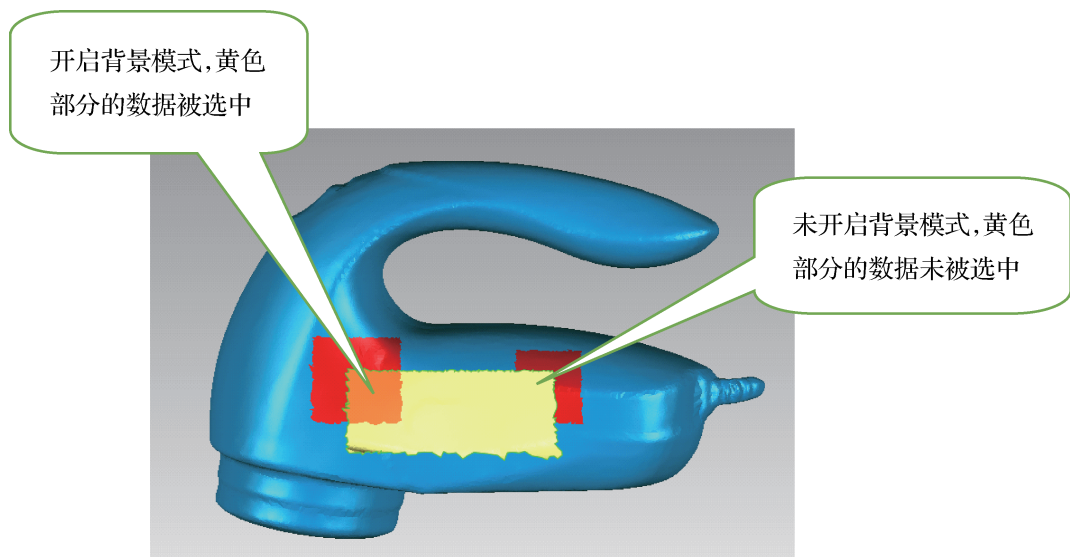


图 1-3 背景模式的使用

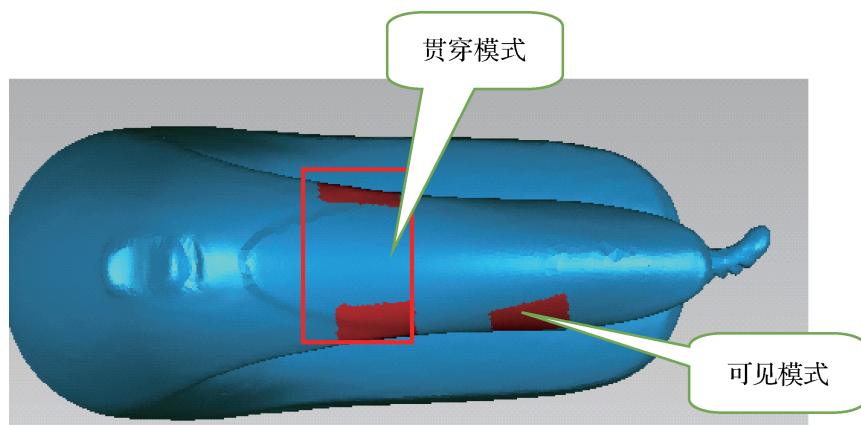


图 1-4 贯穿模式的使用

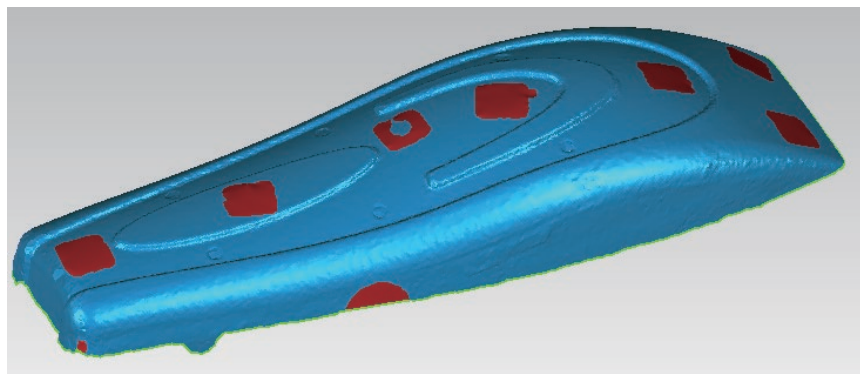


图 1-16 填充孔

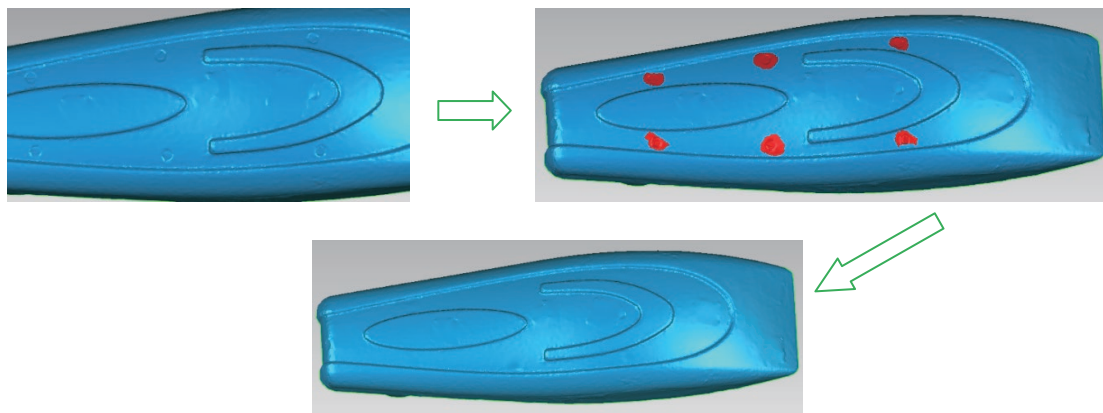


图 1-17 去除特征

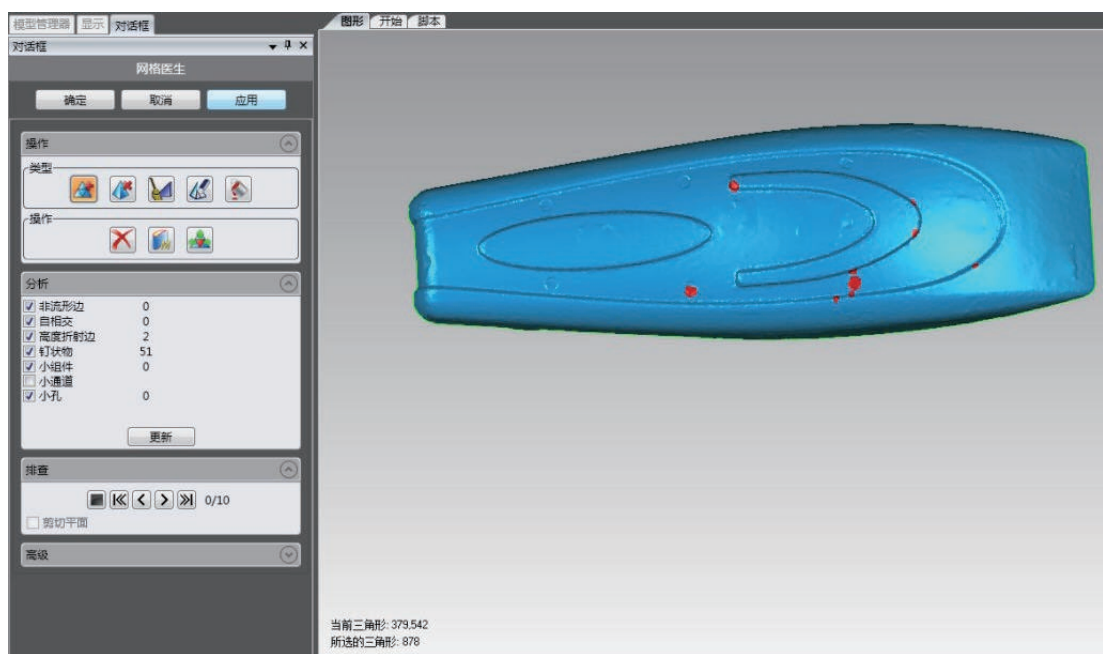
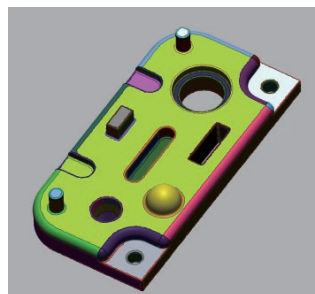


图 1-18 自动选中有问题网格面

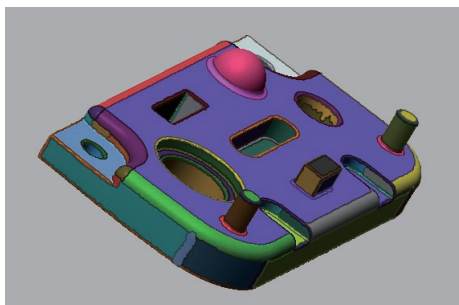


(a)

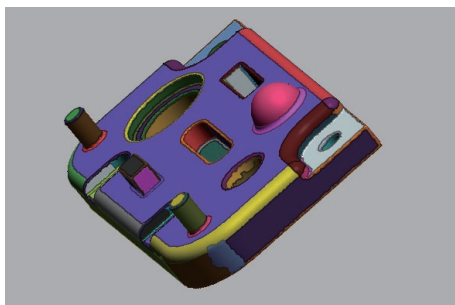


(b)

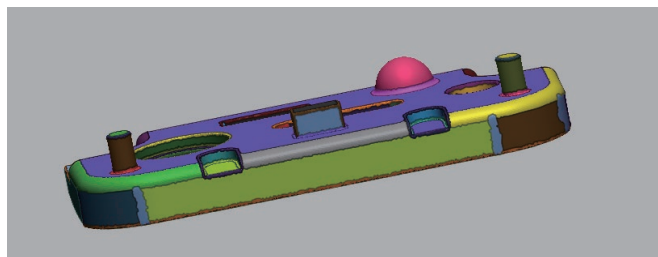
图 2-43 自动分割领域



(a)



(b)



(c)

图 2-44 手动分割领域

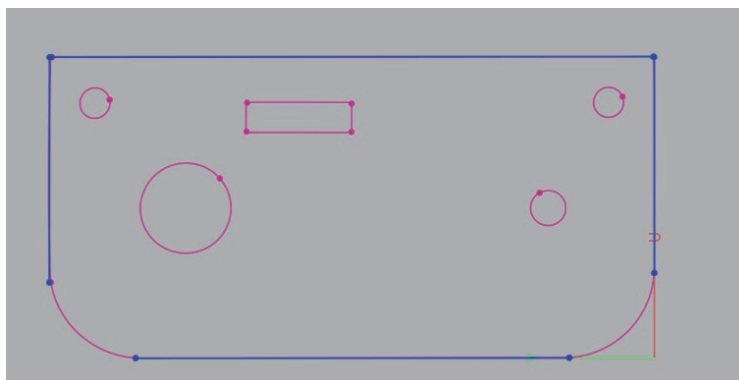


图 2-48 直线拟合

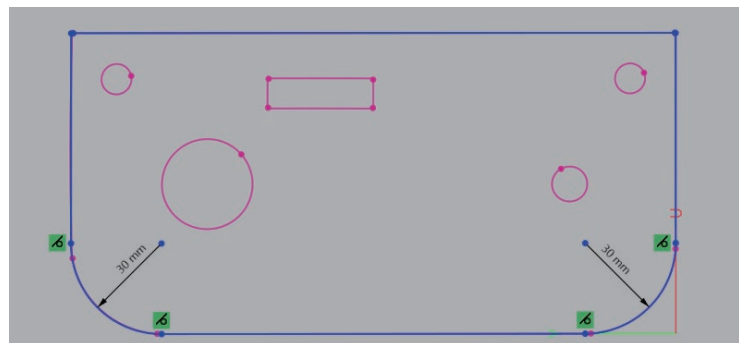


图 2-49 圆角拟合

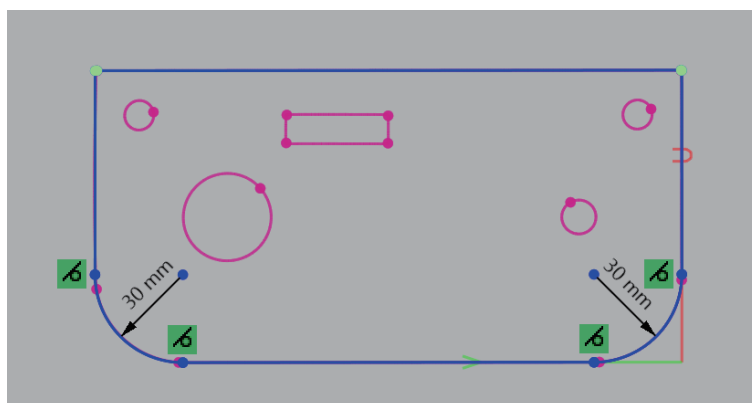


图 2-50 未封闭的草图

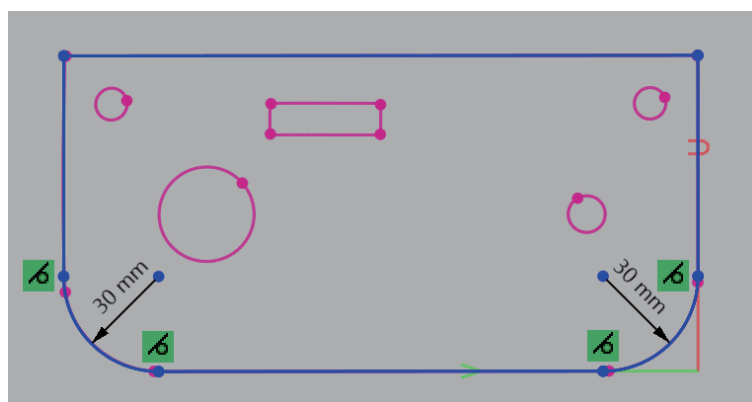


图 2-51 封闭的草图

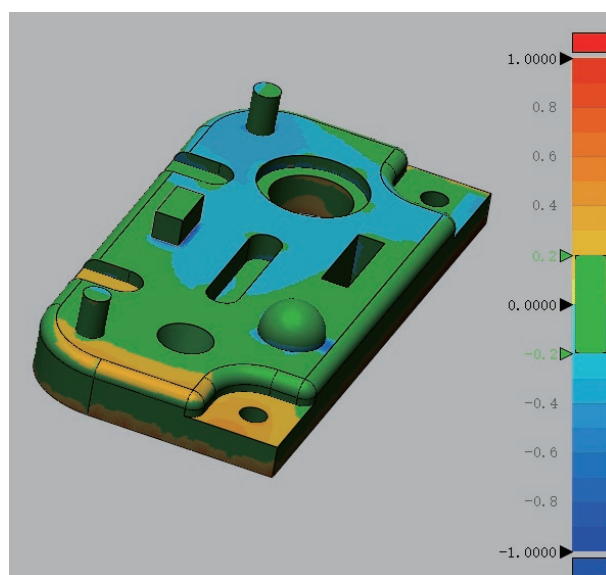


图 2-60 标准零件的精度检测

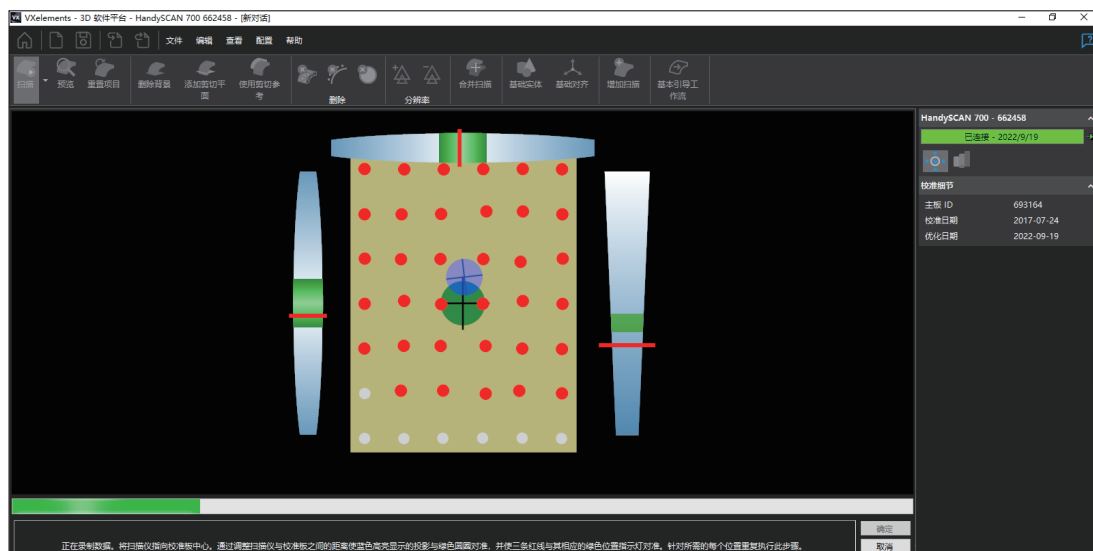


图 3-5 校准界面

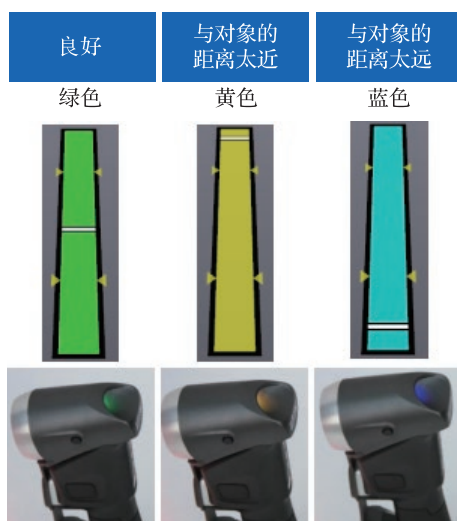
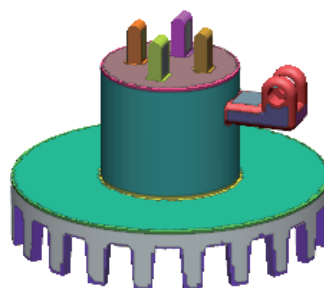


图 3-9 扫描仪物距



(a)



(b)

图 3-27 自动分割领域

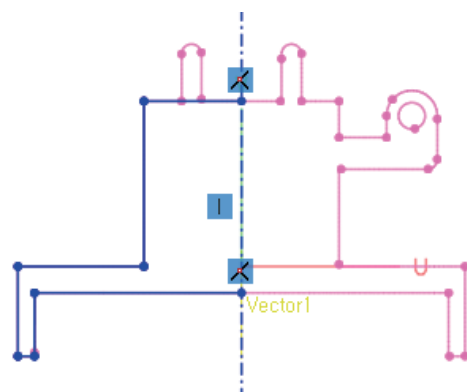


图 3-32 绘制草图 1

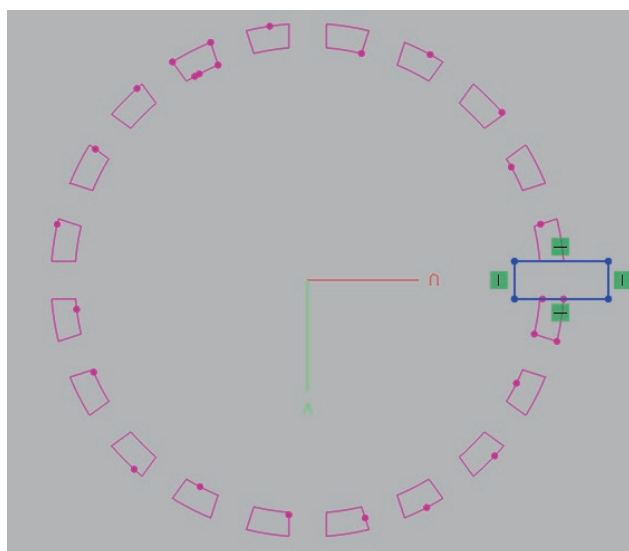


图 3-36 绘制矩形 (草图 2)

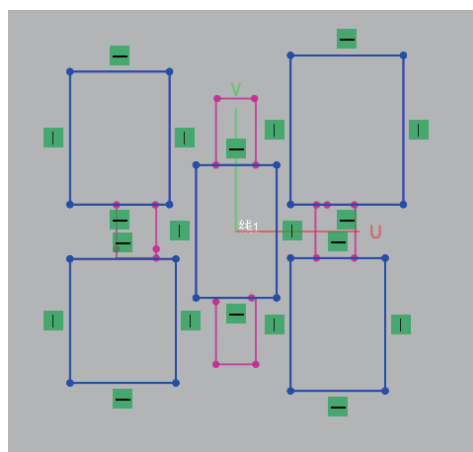


图 3-45 绘制矩形 (草图 4)

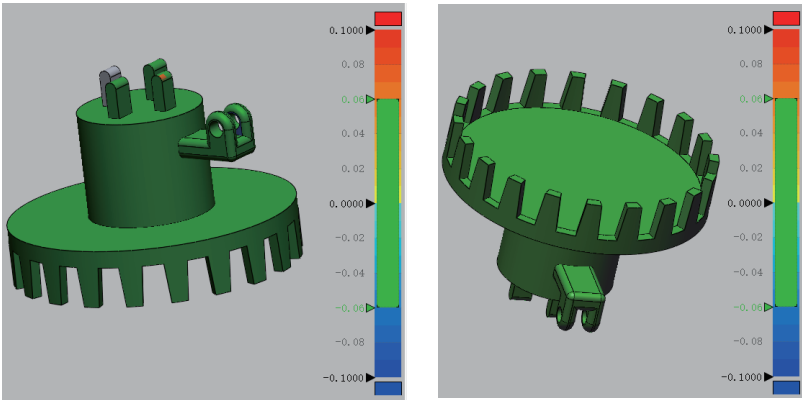
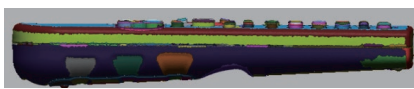
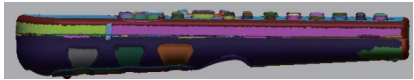
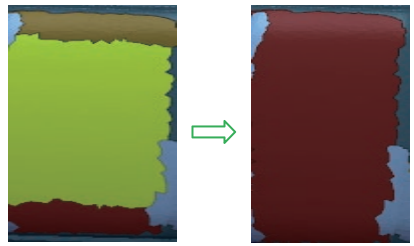
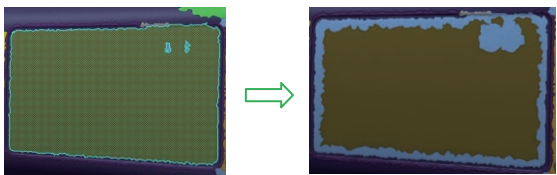


图 3-55 旋转体零件的精度检测

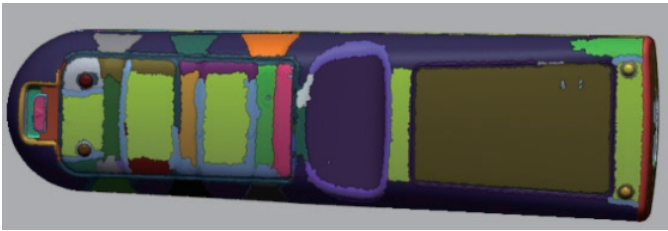
表 4-2 领域的基本操作

领域编辑命令	操 作	效果图
 分割	单击“分割”按钮，通过鼠标选中选择模式  中的一种，一般选择“画笔选择模式”  或“直线选择模式”  ，在已有的领域上按住鼠标左键并拖动，可以将领域分割开来	 ↓ 
 合并	该命令在没有选择领域的情况下是灰色、不可用的。按住 Shift 键的同时选择多个领域，“合并”命令即被激活。单击“合并”按钮，领域被合并成一个。“合并”是“分割”的反操作	
 插入	选择一部分三角面片，单击“插入”按钮，可以重新生成一个单独的领域	
 分离	利用“直线选择模式”可以将分离的一个领域分成多个领域	 ↓ 

领域编辑命令	操 作	效果图
 缩小  扩大	选择某个领域，单击“缩小”按钮，领域范围会变小，露出多余空白的三角面片。“扩大”是“缩小”的反操作。扩大会侵占相邻领域的三角面片	

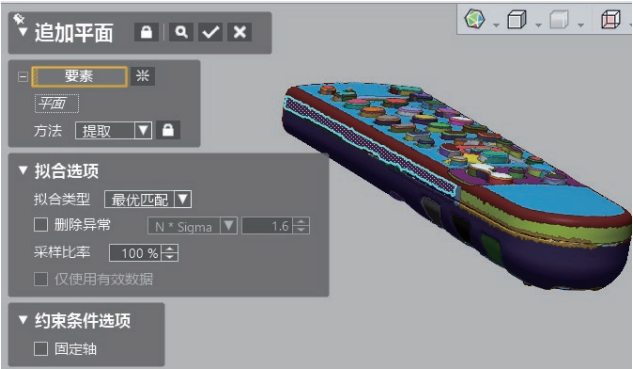


(a)

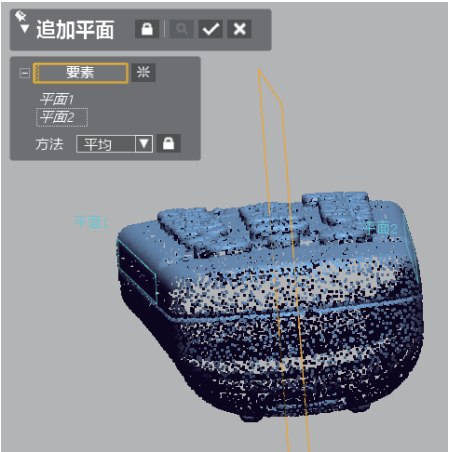


(b)

图 4-20 领域分割

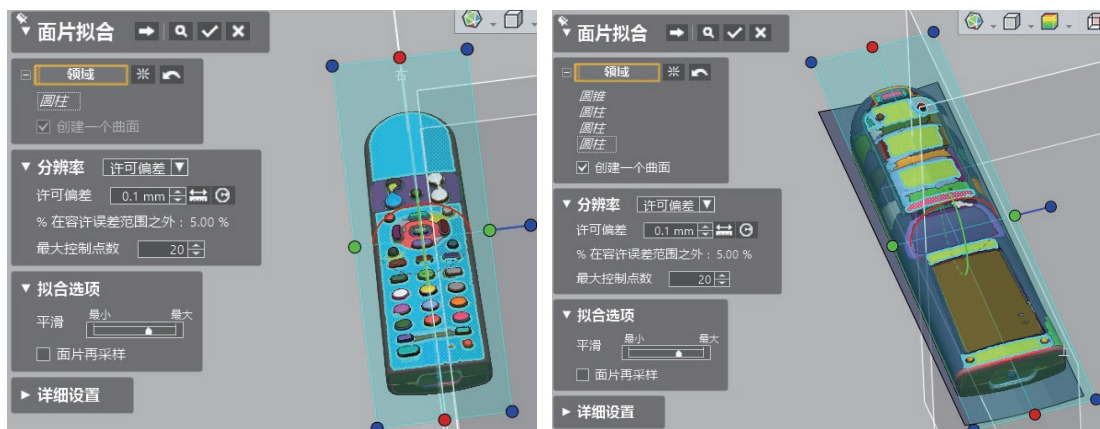


(a)



(b)

图 4-21 中间平面的创建



(a) 正面

(b) 反面

图 4-25 遥控器正、反两个曲面的创建操作

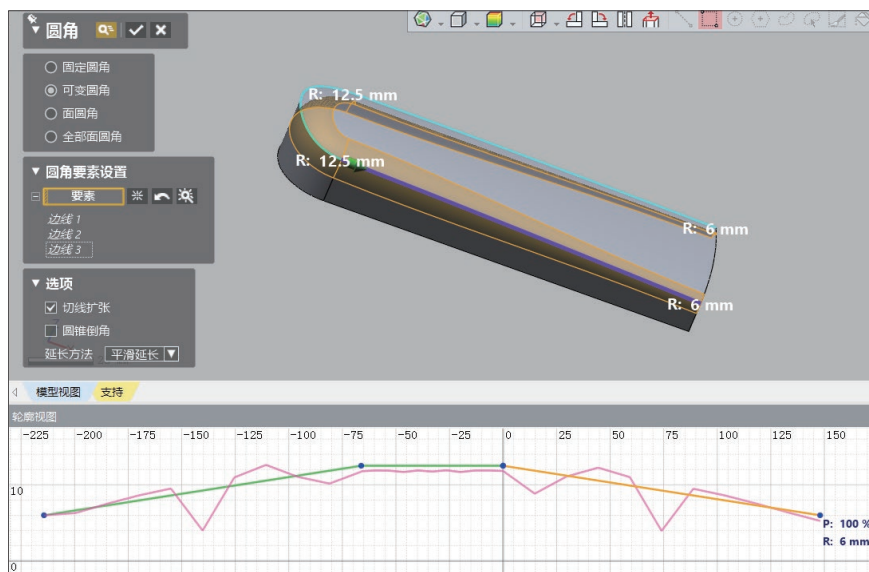


图 4-28 遥控器底面倒圆角

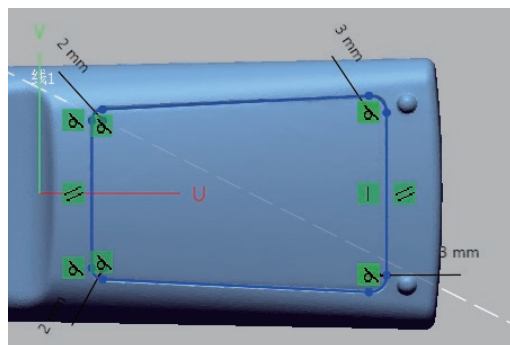


图 4-36 绘制草图

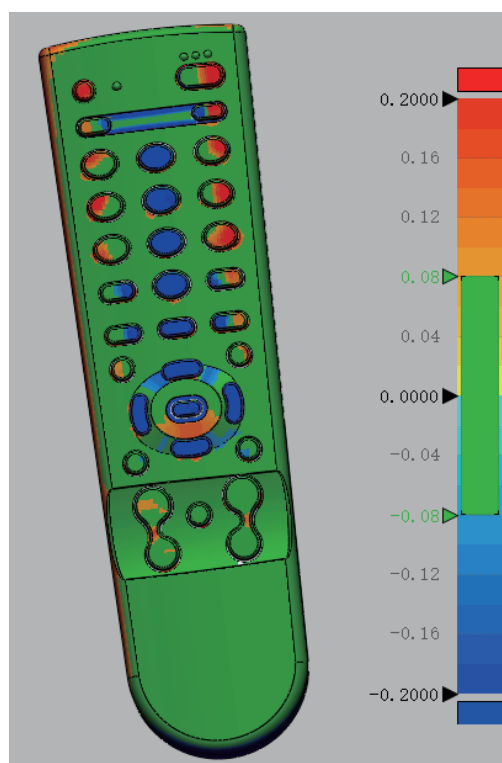
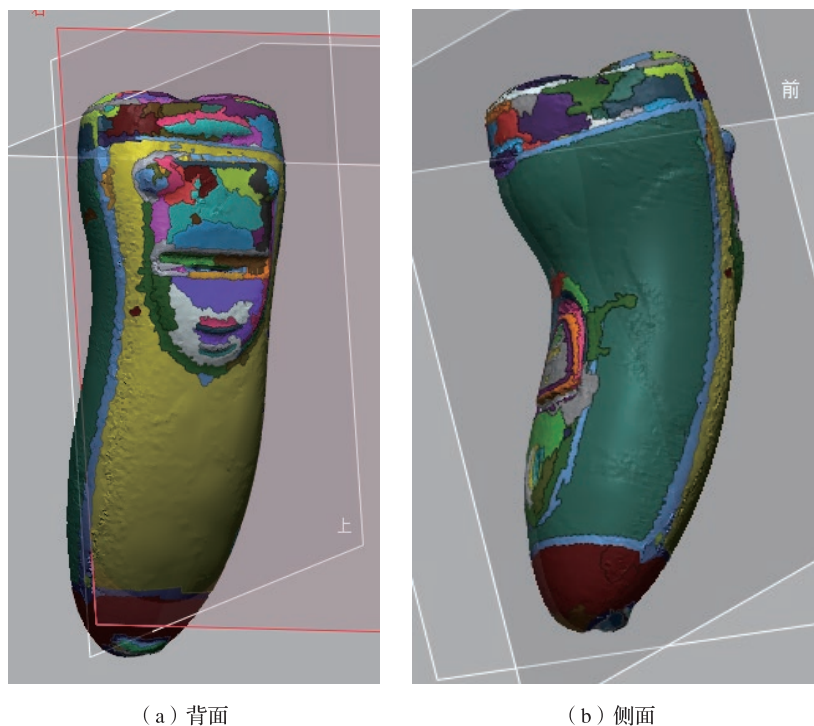


图 4-52 偏差分析



(a) 背面

(b) 侧面

图 5-12 划分领域

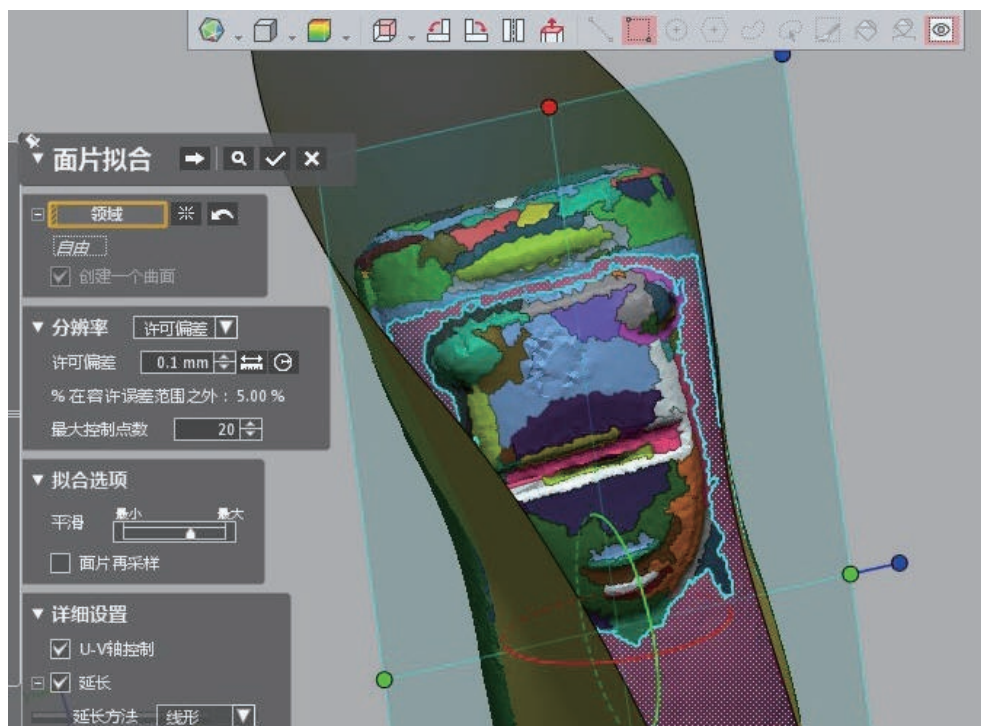


图 5-13 利用“面片拟合”命令得到刀身曲面

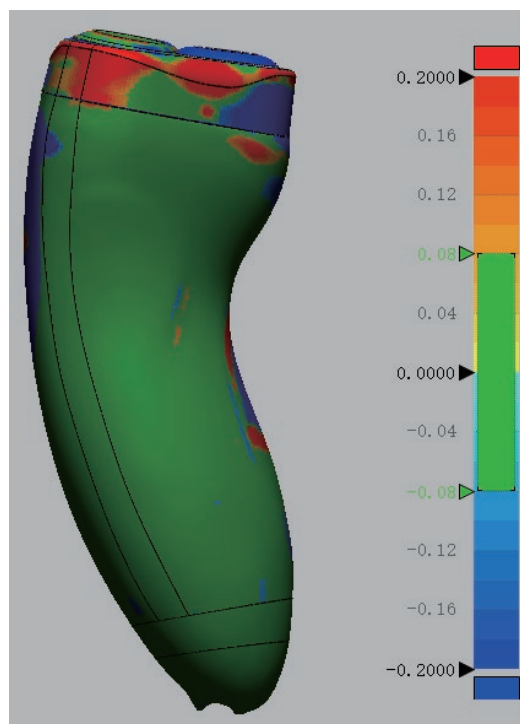
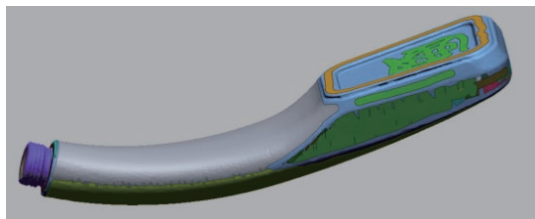
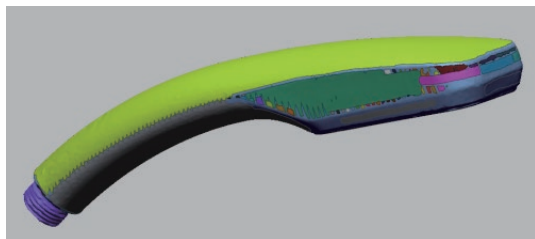


图 5-22 剃须刀的精度检测



(a)



(b)

图 6-4 初步划分领域

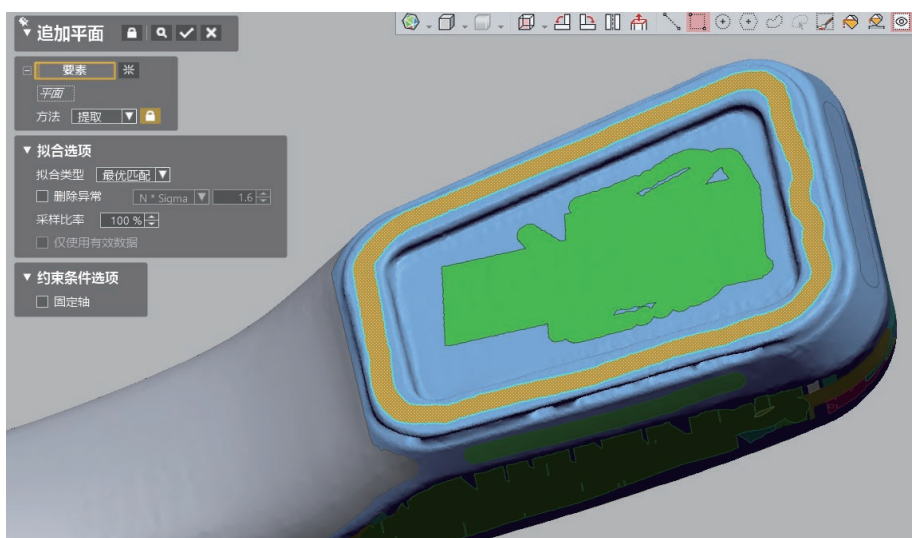
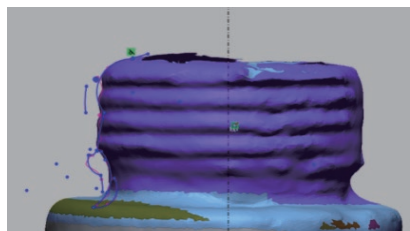


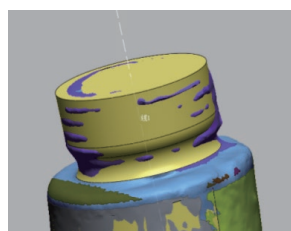
图 6-5 追加平面设置



(a)

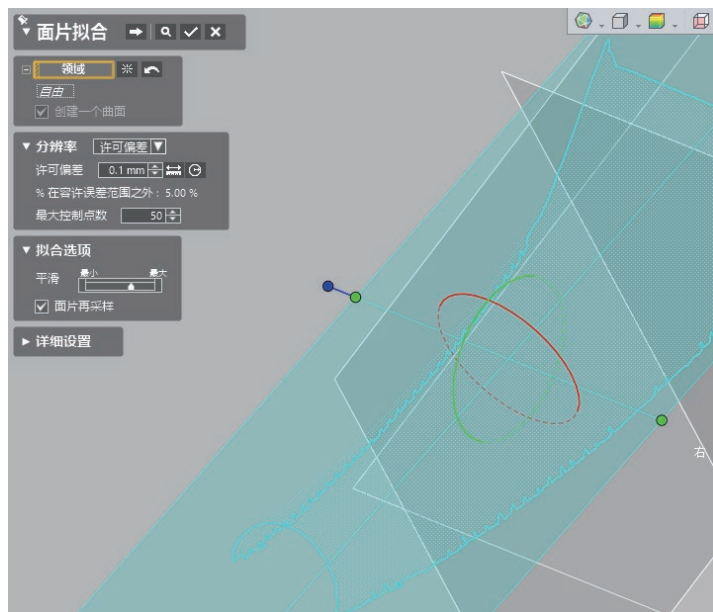


(b)

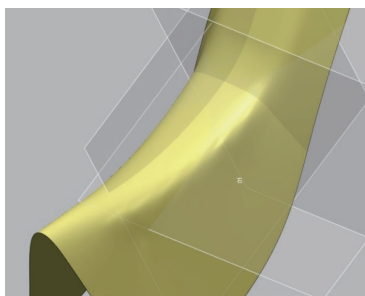


(c)

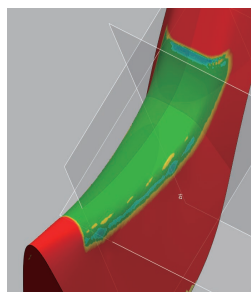
图 6-9 修改草图重新生成回转曲面



(a) 面片拟合设置



(b) 面片拟合结果

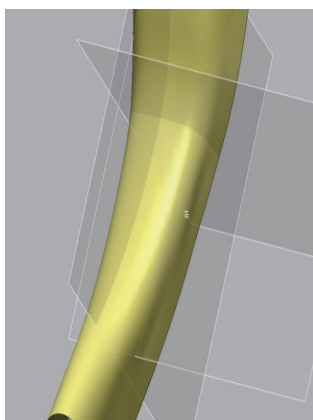


(c) 面片拟合精度分析

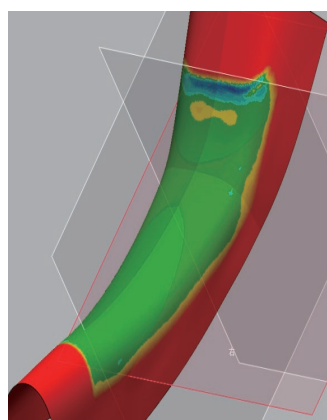
图 6-13 “面片拟合”生成曲面与精度分析



(a)



(b)



(c)

图 6-14 调整曲面的光顺度

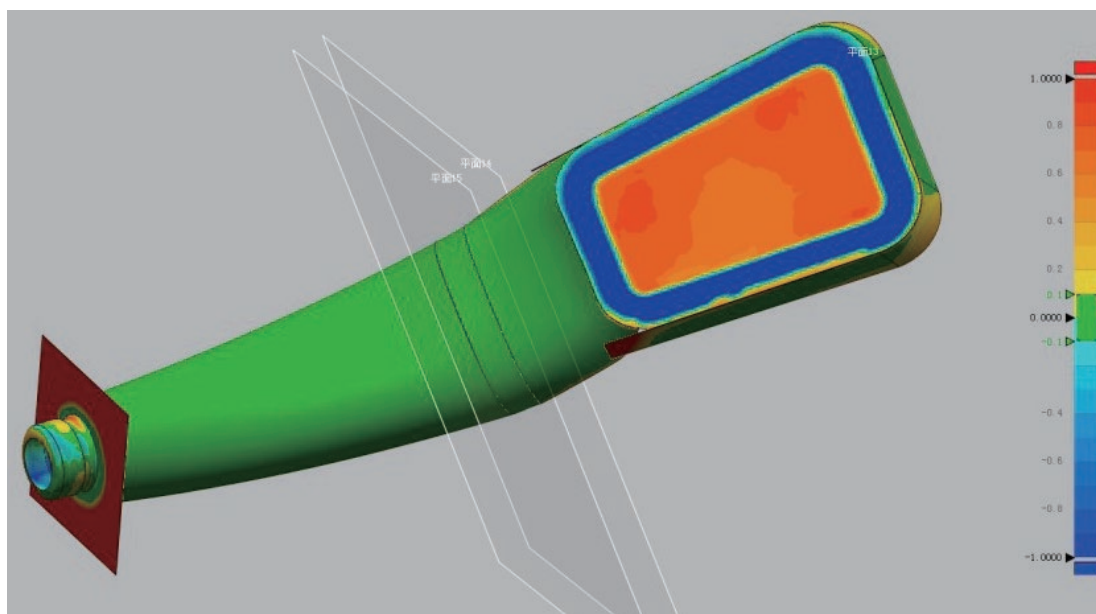
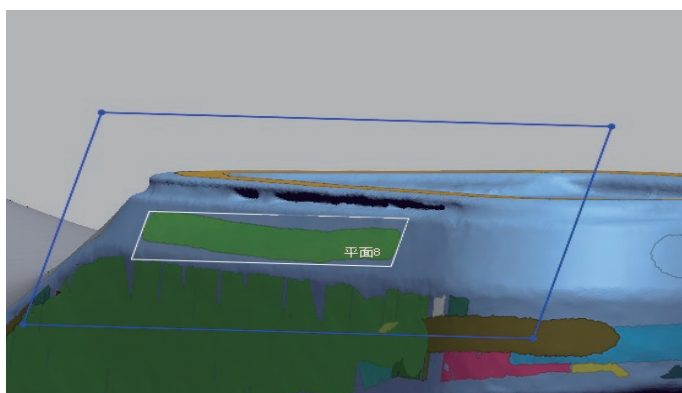


图 6-21 对生成的面进行精度分析



(a)



(b)

图 6-23 基础曲面 - 平面

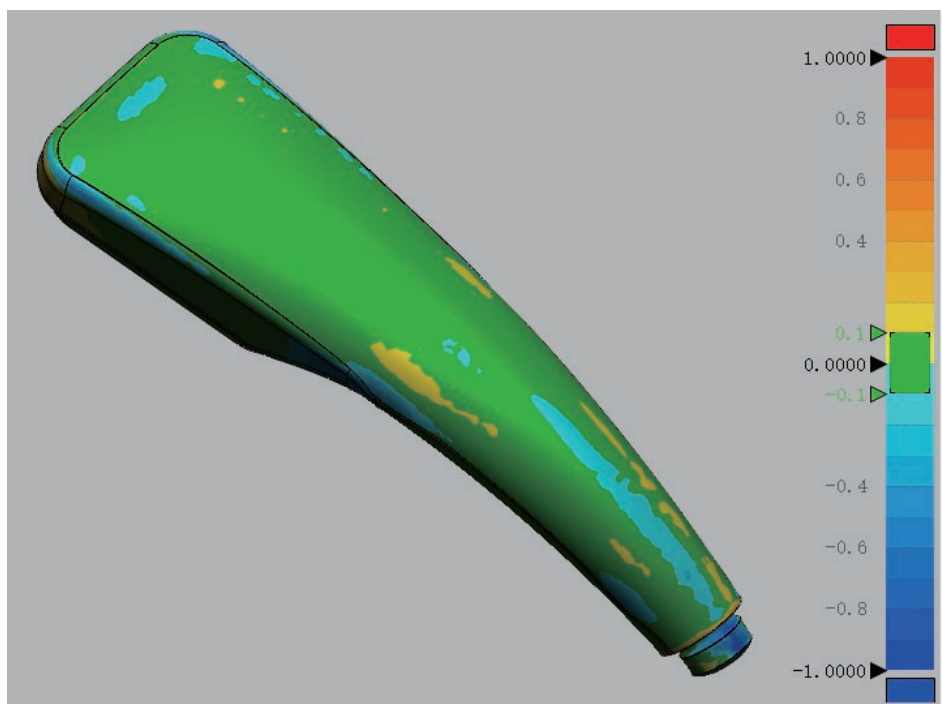


图 6-50 花洒的精度检测



图 7-4 查看模型

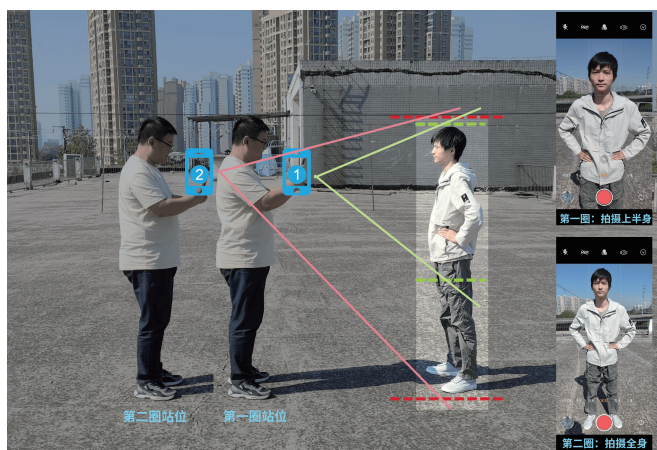


图 7-5 两圈两段拍摄法



图 7-10 边坡建模效果



图 7-14 彩色的三角面片数据



“十四五” 职业教育国家规划教材



SANWEI SAOMIAO YU NIXIANG GONGCHENG

三维扫描与逆向工程

主 编 胡双喜

副主编 黄莉萍 李 芳 李琳琳



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书介绍了逆向工程相关概念、三维扫描技术的应用,基于项目式详细讲解了三维数据扫描技术、点云处理技术、逆向工程的相关知识,融入了创新设计内容,融合了基于移动端的数据采集技术,涵盖了三维数字化设计的工作流程和应用技巧,图文并茂,步骤清晰,操作性强。

本书适合作为高等职业教育机械、模具、工业设计及增材制造等相关专业的教材,也可供爱好产品设计和从事三维测量的相关技术人员学习。

图书在版编目(CIP)数据

三维扫描与逆向工程 / 胡双喜主编. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2023. 12(2026. 1 重印)

ISBN 978-7-5635-7073-7

I. ①三… II. ①胡… III. ①产品设计—计算机辅助设计 IV. ①TB472-39

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 244185 号

策划编辑: 刘子嘉 责任编辑: 高 宇 封面设计: 黄燕美

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市骏杰印刷有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 12.5 插页 8

字 数: 259 千字

版 次: 2023 年 12 月第 1 版

印 次: 2026 年 1 月第 2 次印刷

ISBN 978-7-5635-7073-7

定 价: 49.90 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话: 400-615-1233

本书以应用技术操作为重点,关注前沿技术,结合技术理论和实际操作,从应用能力出发,遵循项目驱动、任务引领的教学理念。书中选取典型项目,讲解由浅入深,部分项目任务取自全国职业院校技能大赛的赛项,将数据采集、逆向工程、创新设计融合到项目任务中;同时书中所用技术应用案例均取自企业实际,由企业和学校老师合作编写。

本书编写特色如下。

- (1)以真实的项目和工作过程为载体,重点强调技能的培养。
- (2)操作步骤明晰,内容由简单到复杂,易教易学。
- (3)资源丰富,形式创新,除了多媒体课件,习题、点云、设计模型,操作视频,还包括教学计划等教学资料,既可以方便学生学习,也有利于教师教学。
- (4)对重点步骤图配套了彩图,放置在教材的插页中,方便学生更直观立体地学习。

本书共8个部分,主要内容包括概论、三维数据处理、标准零件的三维数据采集与逆向设计、回转体零件的三维数据采集与逆向设计、电视遥控器的三维数据采集与逆向设计、剃须刀的三维数据采集与逆向设计、花洒的逆向设计与创新设计、基于移动端的三维扫描与建模。

本书建议学时如下表所示。

项 目	建议学时
概论	4
项目一 三维数据处理	4
项目二 标准零件的三维数据采集与逆向设计	8
项目三 回转体零件的三维数据采集与逆向设计	8
项目四 电视遥控器的三维数据采集与逆向设计	8
项目五 剃须刀的三维数据采集与逆向设计	8
项目六 花洒的逆向设计与创新设计	10
项目七 基于移动端的三维扫描与建模	4
合计	54

本书由湖北科技职业学院胡双喜任主编,武汉华宇世纪科技发展有限公司黄莉萍、武汉大学李芳、湖北科技职业学院李琳琳任副主编,参与编写的有湖北科技职业学院刘芳、刘彩虹和汪超。编者在编写本书的过程中得到了武汉华宇世纪科技发展有限公司的大力支持,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,对于书中的不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者



概论	1
任务一 了解逆向工程	1
一、逆向工程的定义	1
二、逆向工程与正向工程的区别	2
任务二 三维扫描技术	3
一、三维扫描技术的分类	4
二、三维扫描技术的应用	6
任务三 基于逆向工程的设计与创新	14
一、逆向设计思路和方法	14
二、创新设计思路和方法	17
三、逆向设计软件	17
项目一 三维数据处理	19
任务一 了解 Geomagic Wrap	19
任务二 Geomagic Wrap 基本操作训练	22
任务三 点云阶段	23
一、点云阶段的命令与说明	23
二、点云阶段的操作步骤	24
任务四 多边形阶段	28
一、多边形阶段的命令与说明	28
二、多边形阶段的操作步骤	29
任务五 点云拼合	33
一、点云拼合的命令与说明	33
二、点云拼合的操作步骤	34

项目二 标准零件的三维数据采集与逆向设计 39

任务一 标准零件的三维数据采集	40
一、知识链接——拍照式数据采集技术	40
二、扫描仪标定	44
三、数据采集过程	51
任务二 标准零件的数据处理	56
一、点云阶段的数据处理	56
二、多边形阶段的数据处理	59
任务三 标准零件的逆向设计	59
一、知识链接——Geomagic Design X 软件	59
二、标准零件的逆向设计概要	62
三、标准零件的逆向设计步骤	64

项目三 回转体零件的三维数据采集与逆向设计 76

任务一 回转体零件的三维数据采集与数据处理	77
一、知识链接——三维激光扫描技术	77
二、手持式扫描仪的标定	78
三、手持式扫描仪数据采集	80
四、回转体零件的数据处理	85
任务二 回转体零件的逆向设计	87
一、回转体零件的逆向设计概要	87
二、回转体零件的逆向设计步骤	89

项目四 电视遥控器的三维数据采集与逆向设计 102

任务一 电视遥控器的三维数据采集与数据处理	103
一、电视遥控器的数据采集方案制定	103
二、电视遥控器的数据采集方案实施	103
三、电视遥控器的数据处理	107
任务二 电视遥控器的逆向设计	109
一、电视遥控器的逆向设计概要	109
二、电视遥控器的逆向设计步骤	111

任务三	电视遥控器的结构设计	125
一、结构设计的作用		125
二、结构设计的步骤		125
项目五	剃须刀的三维数据采集与逆向设计	130
任务一	剃须刀的三维数据采集与数据处理	131
一、剃须刀的数据采集策略和准备		131
二、剃须刀的数据采集方法		131
三、剃须刀的数据处理		134
任务二	剃须刀的逆向设计	135
一、剃须刀的逆向设计概要		135
二、剃须刀的逆向设计步骤		137
任务三	剃须刀的结构创新设计	143
一、剃须刀的结构创新设计要求		143
二、剃须刀的结构创新设计步骤		143
项目六	花洒的逆向设计与创新设计	148
任务一	花洒的逆向设计	149
一、花洒的逆向设计概要		149
二、花洒的逆向设计步骤		152
任务二	花洒底座的创新设计	171
项目七	基于移动端的三维扫描与建模	175
任务一	基于移动端的三维数据采集	176
一、易模 APP 简介		176
二、器物模式下石狮子摆件的三维数据采集		177
三、人像模式下人体的三维数据采集		180
四、主体模式下真人手臂的三维数据采集		182
五、场景模式下边坡的三维数据采集		184
六、自定义模式下机械零件的三维数据采集		185
任务二	数据的运用与建模	188
参考文献		192



概 论



项目引入

随着 3D 打印技术的广泛兴起,人们对产品设计速度和创新速度的要求越来越高。传统的产品设计从图纸到实物,已经越来越难以在市场的竞争中胜出。随着各类先进的三维扫描仪的诞生,逆向工程成为解决这一问题的有效手段。通过完成本项目,达到以下学习目标。

知识目标

- (1) 掌握逆向工程的定义及流程。
- (2) 了解三维扫描技术的分类和应用。
- (3) 掌握逆向工程产品创新的基本内容。

能力目标

具有逆向产品创新设计思维。

素养目标

- (1) 培养分析问题、解决问题的能力。
- (2) 树立产品创新设计理念。
- (3) 建立知识产权法律意识。



思政园地

励志建业

3D 数字化大潮已至,随时随地低成本(建模成本、时间成本)解决建模问题,是未来发展的必然方向。随着消费者个性化需求的不断攀升,定制化的创新设计需求也逐渐成为主流趋势。这就对人工建模师的专业素养提出了更高的要求。同学们要瞄准技能需求趋势,努力让自己成为技术提升、技术创新的主力军中的一员,为国家做出自己的贡献。

任务一



了解逆向工程

一、逆向工程的定义

逆向工程(reverse engineering, RE)也称反求工程,是相对于传统的设计而言的。逆向工程流程如图 0-1 所示,它是指从一个存在的零件或原型入手,先对其进行数字化处理,然后进行数

据处理、曲面重建、构造 CAD 模型等,最后制造出产品的过程。逆向工程技术能快速建立新产品的数字化模型,缩短新产品的研发周期,提高企业产品的设计效率和生产效率。

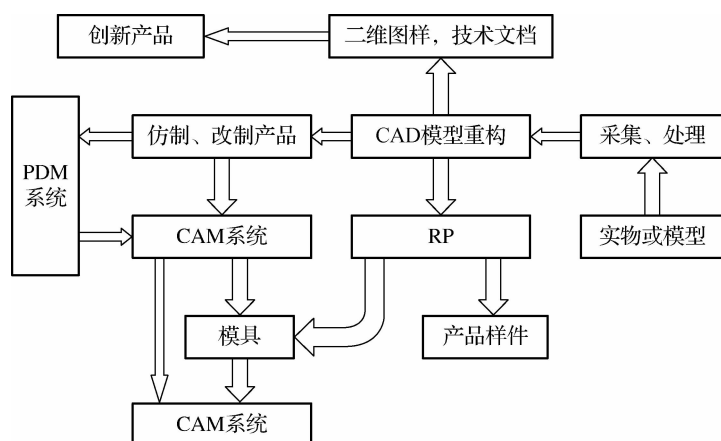


图 0-1 逆向工程流程

CAD—计算机辅助设计(computer aided design); CAM—计算机辅助制造(computer aided manufacturing);
PDM—产品数据管理(product data management); RP—快速成型(rapid prototyping)

二、逆向工程与正向工程的区别

传统的产品设计一般都要经历“从无到有”的过程,设计人员先构思产品的外形、性能以及大致的技术参数等,再利用 CAD 建立产品的三维数字化模型,最后将模型转入制造流程,完成产品的整个设计制造周期,如图 0-2 所示,这样的过程可称为正向工程。而逆向工程则是由已有的产品模型反向推出产品的设计数据,包括设计图纸和数字模型,流程如图 0-3 和图 0-4 所示。

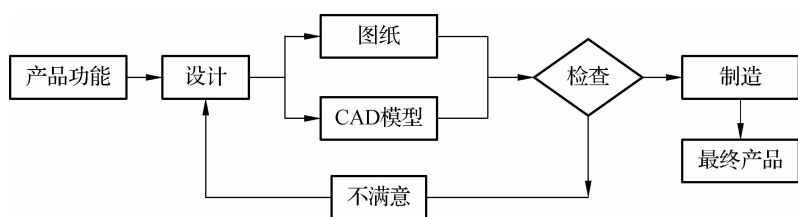


图 0-2 传统工业产品造型流程

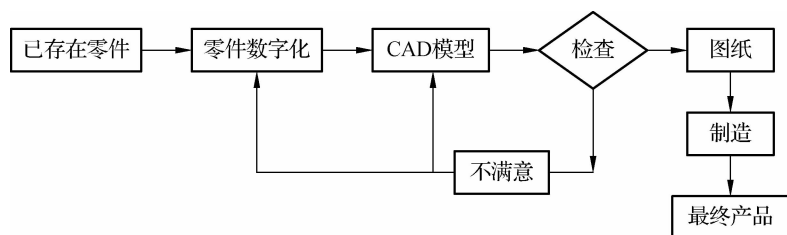


图 0-3 逆向工程造型流程

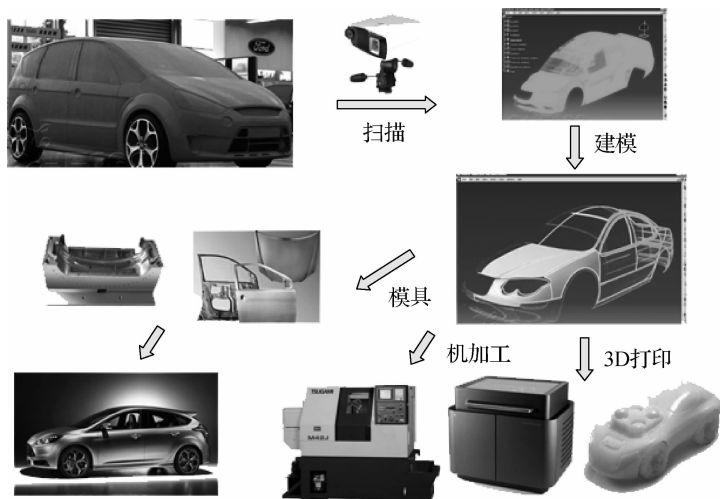


图 0-4 逆向工程的工作流程

逆向工程相对于正向工程而言,是在没有设计图纸或者设计图纸不完整以及没有 CAD 模型的情况下,将实物转变为 CAD 模型的相关数字化测量技术、几何模型重建技术和产品制造技术的总称。

正向工程与逆向工程的关系如图 0-5 所示。

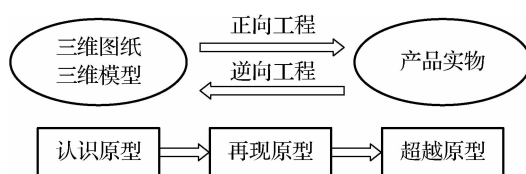


图 0-5 正向工程与逆向工程的关系

逆向工程的关键技术包括数据采集、数据处理、CAD 模型重构等,最后应用于下游 CAD 直接面向生产过程。

任务二 三维扫描技术

三维数据的采集,是逆向工程的重要步骤。三维扫描是集光、机、电和计算机技术于一体的高新技术,主要用于对物体空间外形、结构及纹理信息进行扫描,以获得物体表面的空间坐标和纹理信息。三维扫描的重要意义在于能够将实物的立体信息转换为计算机能直接处理的数字信号,为实物数字化提供相当便捷的解决方案。现实的三维扫描技术能实现非接触测量,且具有效率高、精度高的优点,尤为重要是其扫描获取的数据结果能被直接用于多种应用软件,即三维扫描在软硬件方面已形成了稳定成熟的应用技术体系,这使得它在计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助制造(CAM)、计算机现代集成制造系统(computer integrated manufacturing system,CIMS)等应用技术领域日益普及。三维扫描技术在数字经济时代已成为不可或缺的应用技术。

一、三维扫描技术的分类

根据使用方法的的不同,三维扫描技术可分为拍照式、三坐标式(固定式)、激光跟踪式、激光扫描式、红外式等类型。根据传感方式的不同,三维扫描技术可分为接触式和非接触式。不同类型的三维扫描技术具有不同的应用特点(见表 0-1)。

表 0-1 各类三维扫描技术的应用特点

分类标准	类 型	简要说明	特 点
使用方法	拍照式	扫描范围灵活,具体范围与视觉传感器选型有关;精度与扫描仪搭载的视觉传感器有关,可达亚像素级	精度较高,测量范围理论上可达无限,但操作者需要经过专业培训
	三坐标式(固定式)	现在通用的接触式三维扫描技术,是一种固定式扫描方法,扫描范围为指定型号的工作台面,精度最高可达 $0.9\ \mu\text{m}$	精度较高,适合扫描测量大尺寸物体,如整车、框架,但扫描速度慢,需要花费较长时间
	激光跟踪式	扫描范围可达 70 m,精度可达 $0.003\ \text{mm}$	精度较高,测量范围大,可对如建筑物这类大型物体进行测量,但价格较高
	激光扫描式	扫描范围比较有限,单站扫描精度高	扫描速度快,实时性好,但是扫描得到的数据会有冗余,且为非全息数据
	红外式	光谱扫描范围为 $3\ 000\sim 4\ 360\ \text{nm}$,最小光谱分辨率为 $10\ \text{nm}$,全谱扫描时间为 $10\sim 60\ \text{s}$,实际的精度可达 $0.030\ \text{mm}$	易于分类信息的自动提取,但是扫描后获取的物体表面,还需要做平滑、灰度调节等进一步的技术处理才能被使用
传感方式	接触式	三坐标测量机法	具有较高的准确性和可靠性,配合测量软件,可快速、准确地测量出物体的基本几何形状,如面、圆柱、圆锥、圆球等。但其测量费用往往较高,探头易磨损,测量速度慢,检测一些内部元件时有先天限制,故欲求得物体的真实外形,则需要对测头半径进行补偿,由此可能会导致修正误差。测量时,接触探头的力将使探头尖端部分与被测件之间发生局部变形而影响测量值的实际读数,由于探头触发机构的惯性及时间延迟而使探头产生超越现象,趋近速度会产生动态误差
		电磁数字法	
	非接触式	二维分析法	避免了接触测量中需要对测头半径加以补偿所带来的麻烦,可以实现对各类表面的高速三维扫描
		三维模型法	点激光扫描技术精度较高,测量速度慢,但相较于三坐标系统要快。 线激光扫描技术相比点激光扫描技术,其扫描速度大大提高,精度较高,但也要附加运动系统才能得到完整的三维物体面形数据。该测量方法的精度较高,代表系统有三维激光扫描仪、手持式激光扫描仪等。 结构光的面扫描技术能够迅速获取物体表面的面形信息,同时具有很高的测量精度,对测量环境有一定要求,应用于物体的三维扫描具有一定的优势

续表

分类标准	类 型		简要说明	特 点
传感方式	非接触式	泛在、便捷的移动端三维扫描方式	拍照式三维扫描近期得到极大发展,易模 APP 为移动端三维扫描技术的典型代表,其扫描范围大,即手机摄像头所能拍摄的范围。精度达像素级	具有良好的可视化效果,安装方便,使用简单,拥有人脸模式、人像模式、主体模式、场景模式、器物模式及自定义模式,还拥有在线分享、多格式导出、触屏编辑、增强现实 (augment reality, AR) 等内置功能,同时拥有移动 APP 的共同优势,即更加便于协同共享。底层技术也可通过应用程序接口 (application program interface, API) 提供定制化功能

图 0-6 为三坐标测量机,图 0-7 为关节臂测量机,图 0-8 为手持式激光扫描仪,图 0-9 为拍照式三维扫描仪。实际应用时,我们可以根据不同扫描模式的特点结合具体的应用场景,有针对性地选择与之适配的三维扫描技术。

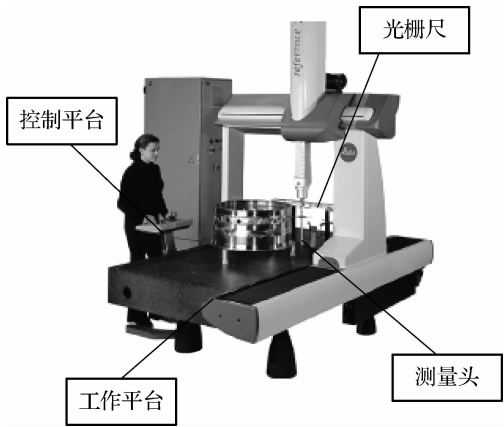


图 0-6 三坐标测量机



图 0-7 关节臂测量机



图 0-8 手持式激光扫描仪



图 0-9 拍照式三维扫描仪

二、三维扫描技术的应用

1. 在机械工业/制造业中的应用

1) 质量检查

三维扫描技术在质量检查方面的应用包括但不限于以下几方面。

(1) 比较检测: 扫描所生产的工件数据点, 再与相关的原始 CAD 3D 数模进行比较, 通过测量任意位置 3D 偏差实现比较检测。

(2) 尺寸检测/全尺寸测量: 扫描实物, 将其表面三维数据导入检测软件, 建立坐标系及对象特征, 对其进行 2D+3D 尺寸测量标注。

(3) 形位公差分析: 将扫描数据和原始 CAD 模型同时导入检测软件, 对其进行形位公差分析。形位公差分析可应用于生产线质量控制和产品元件的形状检测。

(4) 壁厚检测: 针对薄壁件, 对其实物的正反两面进行三维扫描, 将所得数据导入检测软件, 直接进行壁厚评估, 可实时获取每个位置的厚度值。

(5) 磨损检测: 将使用一段时间的零件的扫描数据和最初模型数据进行比对, 生成偏差色谱图, 可以直观呈现零件的磨损状况。

(6) 计算机辅助检测: 图 0-10 为采用 ControX 软件对汽车车身进行制造偏差检测。

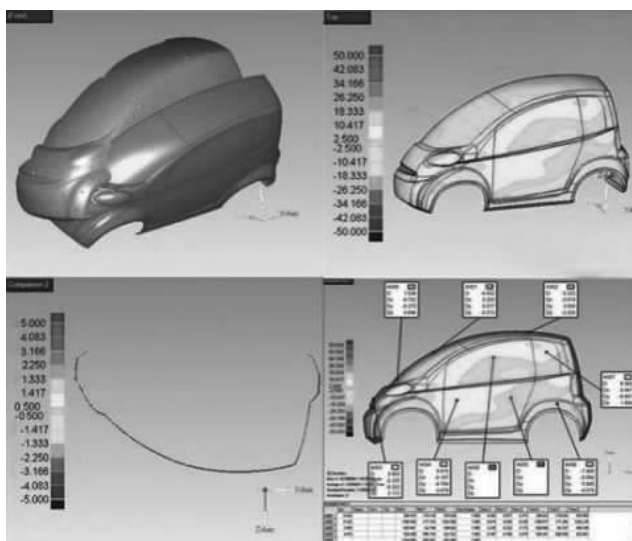


图 0-10 采用 ControX 软件对汽车车身进行制造偏差检测



2)在逆向工程中的应用

传统的模式为先通过接触式的测量方式进行数据采集,然后利用 CAD 软件进行设计和重新建模,这样操作既耗时费力,也不确定能够得到合规的部件。例如,三坐标仪和专用的夹具检具等检测效率低下,测量过程中很可能会对零件造成不必要的损害,而且结构复杂处存在较多死角,不利于检测。采用非接触式的三维光学扫描仪,可以在不对扫描工件造成磨损破坏的前提下获得真实可靠的三维数据,通过这些数据获取关键尺寸,然后利用软件快速制作出模型(见图 0-11),从而在最短的周期里帮助工程师完成生产。它相较于传统制造方法,可以明显缩短生产周期,大大提高生产效率。因此可以使用三维扫描快速创建的真实模型,建立和完善产品设计。

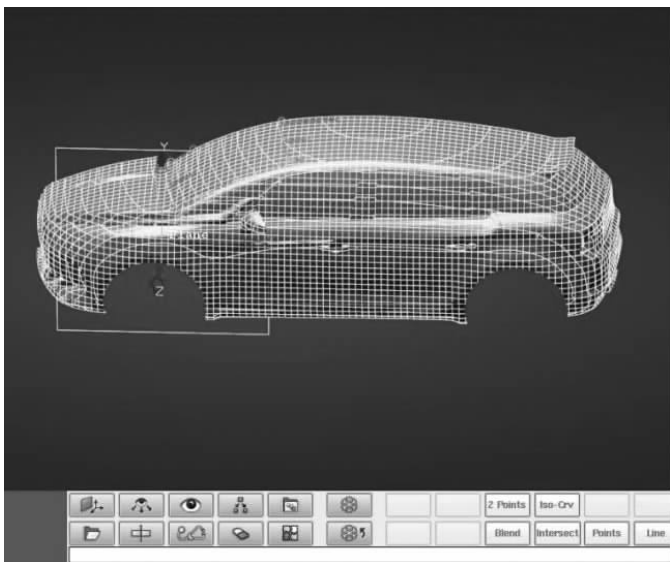


图 0-11 逆向设计应用

三维扫描技术在逆向工程方面的应用包括以下几个方面。

- (1)扫描行业内相关产品,创建数据库。
- (2)正逆向设计:扫描实物,将其变为数字化 CAD 模型,进行正向二次设计开发。
- (3)将成品参数与设计参数进行对比、分析。
- (4)来样加工和模具设计。
- (5)工程设计中的计算机辅助工程(computer aided engineering, CAE)的相关应用。

2. 地理信息系统(geographic information system, GIS)

1)三维地理信息系统(3D GIS)

三维地理信息系统是地理信息系统向动态、多维和网络化方向发展的产物,是虚拟现实(virtual reality, VR)技术和地理信息系统的结合体。其中,VR 技术利用计算机技术生成一个逼真的,具有视、听、触等多种感知的虚拟环境,用户通过各种交互设备与虚拟环境中的实体相互作用,实现身临其境的交互式实景仿真和信息交流。VR 技术是一种先进的数字化人机接口技术,其建设需要数字三维模型的支持。

三维测绘及三维地理信息系统在数字城市规划中具有重要作用。目前的测绘都是基

于 2+1 维理论而建立起来的测量体系：二维确定目标的平面位置，一维确定目标的高程。2+1 维测绘技术经过几百年的发展，已达到了比较完善的程度；但随着社会和科技的发展，2+1 维测绘的成果已不能完全满足社会发展和经济建设的需要。2+1 维地图实际上是从空中俯瞰地面的情况，而人们绝大多数时间都生活在地面，人们在街上行走，看到的都是周围的三维景象，这些景象在 2+1 维地图上无法表达。数字城市规划的属性要求其有一个可靠的了解城市的基础，而城市三维测绘能够为数字城市规划提供所需要的数据，包括但不限于以下方面。

(1) 数字正射影像图(digital orthophoto map, DOM)数据：三维数据入库、三维数据管理、三维空间浏览、空间地理信息检索等。

(2) 三维城市模型(3D city model, 3D CM)数据：数字高程模型(digital elevation model, DEM)、三维建筑物、三维高架道路等。

(3) 场景数据：近景摄影测量制作的路牌、微型景观、座椅、雕塑等。

2) 地籍测绘

采集不规则、复杂程度高、大型的实景三维数据，借助计算机及相关软件实现目标的三维点云模型构建，将其应用到地基测绘工作中，有助于更好地掌握待测目标的地理要素信息及地块权属界线的界址点坐标，为制定相关策略提供重要依据(可借助全站仪获取信息，进行信息自动识别、点云处理)。外接 GPS 功能有助于更好地得到地物的绝对坐标。

3. 变形监测

变形监测是指对建筑物及其地基、建筑基坑或一定范围内的岩体及土体的位移、沉降、倾斜、挠度、裂缝和相关影响因素(如地下水、温度、应力应变等)进行监测，并提供变形分析预报的过程。监测内容涉及水平位移、竖向位移(沉降)、倾斜、裂缝、挠度、摆动和振动等。我国针对各个领域的变形监测制定了相应的技术标准，如《城市轨道交通工程监测技术规范》(GB 50911—2013)、《公路路基设计规范》(JTG D30—2015)等。

在三维扫描技术应用于表面变形监测之前，表面变形监测经历了定性分析评价阶段(20 世纪 50 年代以前)和理论研究、半定量分析阶段(20 世纪 50—90 年代)。随着三维扫描技术的应用，监测仪器设备的研发速度加快，20 世纪 90 年代至今已经进入自动化监测、定量分析阶段，监测新技术不断涌现，如自动化监测技术、地基雷达干涉监测技术、三维激光扫描监测技术等。图 0-12 为表面变形监测原理，其中，三维激光扫描监测技术是由激光脉冲二极管发射出激光脉冲信号，经旋转棱镜射向目标，然后通过探测器接收反射回来的激光脉冲信号，最后转换成能够直接被识别处理的数据信息，经过软件处理实现实体建模输出。

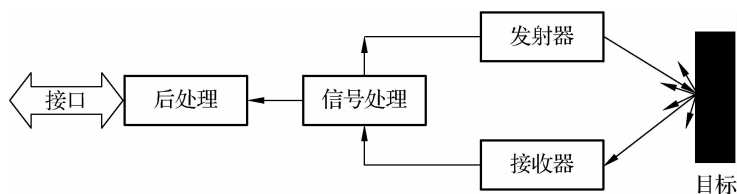


图 0-12 表面变形监测原理

以岩土工程为例，三维激光扫描技术可应用于隧道监测(见图 0-13)、矿山井巷(见图 0-14)、滑坡监测(见图 0-15)。



图 0-13 三维激光扫描技术在隧道监测中的应用

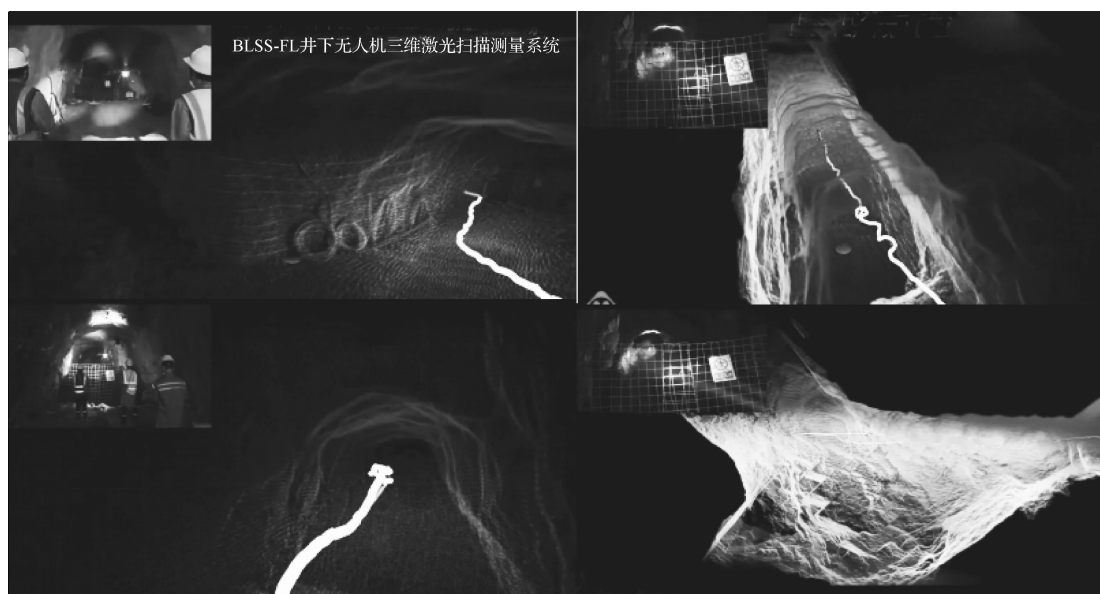


图 0-14 三维激光扫描技术在矿山井巷中的应用

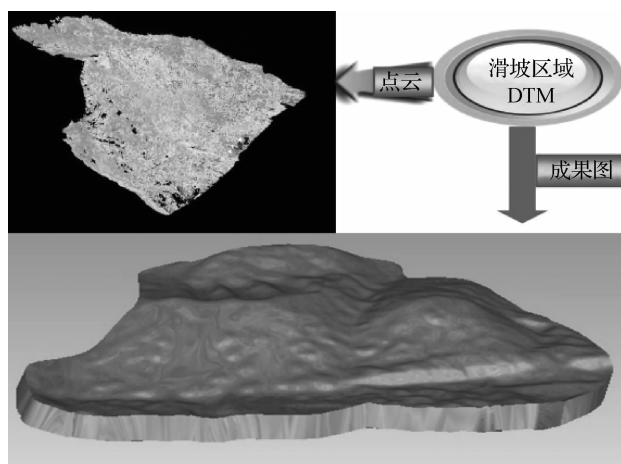


图 0-15 三维激光扫描技术在滑坡监测中的应用

通过三维扫描获取实景的全息三维信息之后进行高保真建模,除上述应用外,还可实现多期比对,因此在变形监测方面有诸多应用。

4. 文物数字化

三维扫描及快速成形技术可以在非接触条件下获得文物的三维点云,并创建、制作、修复模型,在文物保护与修复领域具有强大优势和很好的应用前景,也是现代科学技术在文物保护与修复领域应用的重要体现。三维扫描及快速成形技术在文物数字化领域可以实现的功能有很多,最常见的有文物的数字化复制和对大型不可移动文物的衰亡监测与修复。20 世纪 90 年代,我国的某些文物保护单位就可以借助三维扫描技术,并结合快速成形技术对文物缺损进行修复,很好地完成复原工作。这在当时是很少见的,因为在开始复原工作之前,需要利用逆向工程软件完成三维建模,这就要求具有较高的技术水平。现如今,三维扫描技术已经发展到可以借助自然光非接触式无破坏地采集文物本体信息(见图 0-16),为复原工作提供高效的数据支持。总之,三维扫描技术尤其是非接触式的三维扫描技术已经被广泛地应用于文物的数字化保护工程,在文物本体信息采集留存、考古学研究、文物本体抢救性和预防性保护、文物活化展示等工作中得到深入应用,成为文物数字化不可或缺的重要数字技术。



图 0-16 三维扫描工作者在石窟寺考古现场采集信息

5. 医学医疗

自 1895 年德国物理学家伦琴发现 X 光,并拍出世界上第一张手部 X 线透视照片以来,影像技术在医学领域已经经历了 100 多年的发展过程。但是直到 2018 年,医疗领域才拥有了世界上第一台能够同时捕获整个人体三维图像的医学成像扫描仪,它就是美国加州大学戴维斯分校的研究人员西蒙·切瑞和拉姆齐·巴达维发明的 EXPLORER。它是一种结合正电子发射断层成像(positron emission tomography, PET)和 X 射线计算机断层扫描(computed tomography, CT)的扫描仪,可以同时对整个身体进行成像。该仪器相比其他仪器更加先进之处在于,它可以在 1 s 内产生图像,并且随着时间的流逝,产生能够跟踪特殊标记的药物在整个身体内移动的视频,因此可用于研究新的药物疗法。

而在人体表观领域,新的扫描技术可借助零辐射的方式高效定制与患者全身或局部表观特征 1:1 的真彩数字三维模型,并通过技术支持应用于以下方面。



(1)在线会诊:非接触、零辐射扫描患者患处,制作1:1真彩数字三维模型,并可在线展示,如图0-17所示。



图 0-17 三维扫描在人体建模方面的运用成果

(2)VR 模拟手术:数字三维模型可协同互动。

(3)烫伤/烧伤患者皮肤修复方案的制定:扫描患者患处,通过计算机辅助设计制定修复方案。

(4)义肢义体的定制:扫描患者身体,获取精确的数据信息,结合科学方法定制最佳尺寸的义肢义体,如图0-18所示。



图 0-18 腿部矫正器

(5)牙齿及畸齿矫正:获取患者口腔数据以供参考,如图0-19所示。



图 0-19 用口腔扫描仪获取患者口腔数据

(6)获取医学教学中的实物三维模型。

(7)医美领域:整容及上颌面手术等效果预览。

6. 定制

三维扫描技术在个性化定制方面也有很多体现,可按需定制、量体设计生产。例如,根据脚型定制鞋楦,通过 3D 打印定制鞋(见图 0-20);根据面部数据定制 VR 眼镜;根据眼部数据定制游泳眼镜、护目镜、框架眼镜(见图 0-21);根据身体数据定制驾驶室,大幅优化车辆使用者的驾驶体验。此外,还可以根据用户需求,定制家具上的纹理图案(见图 0-22)。



图 0-20 定制鞋

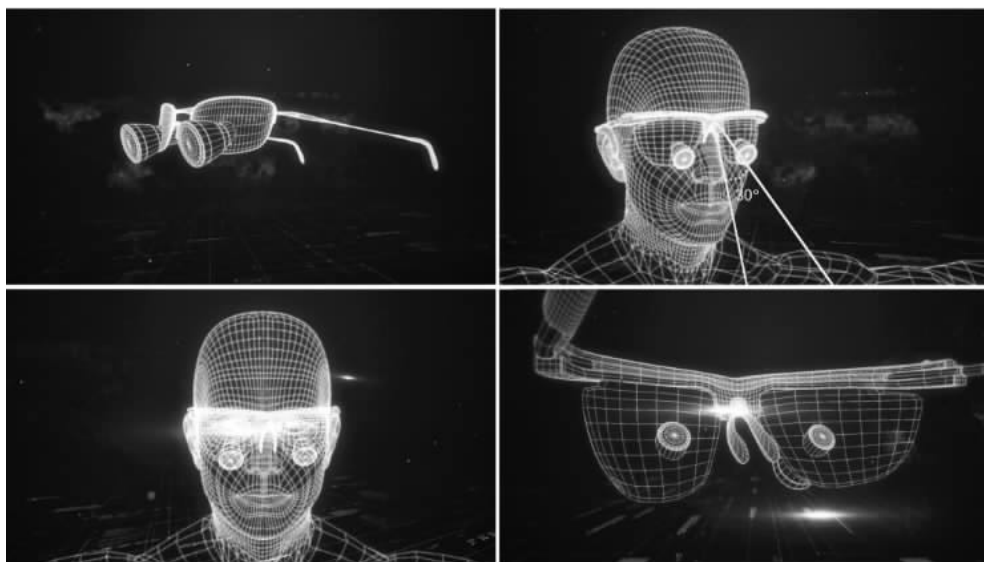


图 0-21 定制框架眼镜



图 0-22 定制家具上的纹理图案



7. 艺术设计

三维扫描技术在艺术设计领域的应用也非常广,往往结合计算机辅助设计及 3D 打印快速成形技术。例如,在艺术领域,可借助三维扫描技术扫描雕塑,随后利用计算机软件进行优化设计;在游戏开发领域,可使用三维扫描技术扫描真人进行角色设计,扫描实物、实景进行游戏道具与场景的设计与搭建。三维扫描技术在影视动漫 IP 衍生品的设计与生产过程中也可起到提高效率、降低成本的作用。

8. 道路、桥梁、隧道的运维

三维扫描技术的出现为空间数据的获取提供了新的方法和手段,它不仅解决了传统方法耗费人力、低效、不准确的问题,而且也推动着空间三维数据的获取方式向实时化、动态化、集成化、数字化和智能化的方向发展。以非接触的方式采集道路、桥梁、隧道实景的三维信息,然后进行数据建模,利用模型实现高效率、高准确率的识别检测。

1) 道路运维

养护大于翻修是我国道路运营管理传统之一。对达到养护周期的道路进行运维时,道路运维部门需要先实地检测后调配资源实施养护作业,三维扫描技术可应用于道路病害识别的信息采集环节。高效、客观地获取道路表观信息是道路养护工作的重要开端。三维扫描技术可以在数据采集及智能识别过程中起到重要作用。

2) 桥梁运维

一座桥梁的设计寿命一般为 80 年,随着我国交通运输吞吐量的日益增大,同时部分水利桥梁的使命逐渐向运输功能靠拢,行业普遍认为运行超过 25 年的桥梁就算进入老化期。为了保证桥梁使用安全、延长桥梁的使用寿命,及时、有效、低人员成本地实现桥梁的病害检测是一项重要工作。三维扫描如今已经成为桥梁病害智能识别体系的基础环节,其高效可靠的信息获取方式得到了桥梁运营部门的青睐。

3) 隧道运维

随着城市的不断发展,在地铁隧道沿线附近或上方进行非地铁施工的建设项目也越来越多,为了确保地铁隧道结构的运营安全以及信息化、科学化地指导非地铁项目施工,为了防止隧道结构局部或整体变形变位扩散有碍正常运营及其他项目施工,需对相应范围内的地铁隧道进行变形变位监测,以便为判断隧道稳定性提供可靠信息。三维扫描提供的基于面的监测数据,相较于利用“点”模式获取的监测物信息更全,基于面数据的变形分析更可靠,并且摄影测量提供的是可视化的数据成果,为变形监测预警带来了极大的便利。成果应用范围广,将输出的隧道断面图数据转换到 CAD 中可以自动获取点坐标信息;输出的隧道断面图数据可以与设计断面相叠加,据此判断隧道断面实际衬砌厚度;多期断面图相互叠加可以得到隧道变形量;在三维数据模型中可以实时获得不同位置、不同方向的断面数据,供施工人员分析时使用。

任务三



基于逆向工程的设计与创新

一、逆向设计思路和方法

逆向设计全过程分为点云处理、数据分割和分块构面、重建模型评价,如图 0-23 所示。建模结果符合要求,就可以进入下一个环节去生产。如果不符合要求,就得重新修改、完善建模,直到精度符合要求为止。

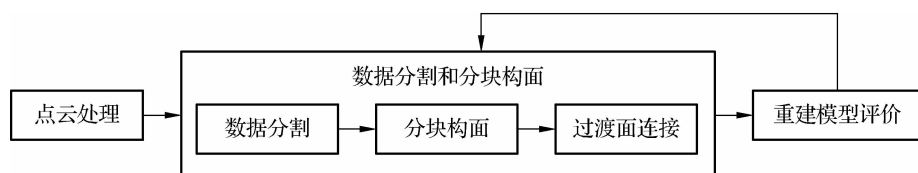


图 0-23 逆向设计路线

1. 点云处理

采集到的点云存在杂点、重复点、数据缺失等问题,一般要进行点云处理后才能进行逆向建模。数据处理的关键技术有数据拼接、噪声去除、数据简化、数据补缺。

1) 数据拼接

无论是接触式还是非接触式的测量方法,要完成样件所有表面的数据采集,都必须进行多方位采集,进行数据处理时会涉及数据拼接技术,即将从各个视图得到的点集合并到一个公共坐标系下(见图 0-24),对从不同视角测量的数据确定一个合适的坐标变换方法进行拼接。

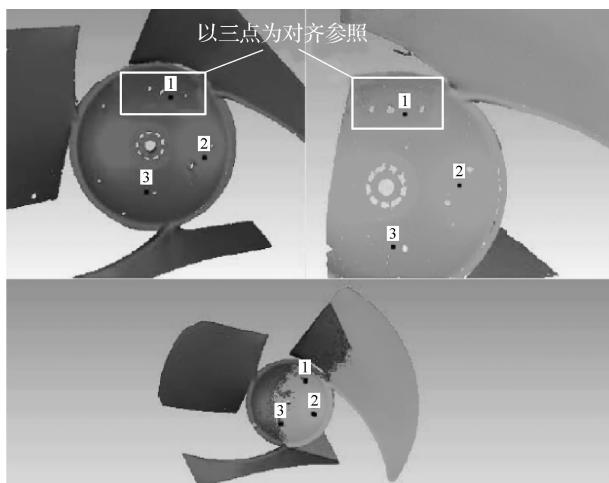


图 0-24 数据拼接

2) 噪声去除

在测量过程中,由于环境变化和其他人为的因素,数据点不可避免地会存在噪声,有必



要对数据点进行去噪。去除噪声数据通常采用标准高斯、平均和中值滤波方法。

3) 数据简化

当测量数据的密度很高时,如光学扫描设备常采集到几十万、几百万甚至更多的数据点,会产生大量的冗余数据,这些数据将严重影响后续算法的效率,因此需要按一定要求减少测量点的数量。

4) 数据补缺

由于被测实物本身的几何拓扑原因或者是被其他物体阻挡,会有部分表面无法测量,采集的数字化模型存在数据缺损的现象,因而需要对数据进行补缺。例如,深孔类零件的数据就无法测全,因为在测量过程中常需要一定的支撑或夹具,模型与夹具接触的部分就无法获得真实的坐标数据,用于数据拼接的标志点数据也无法测量,这时就需要采用数据补缺技术,如图 0-25 所示。

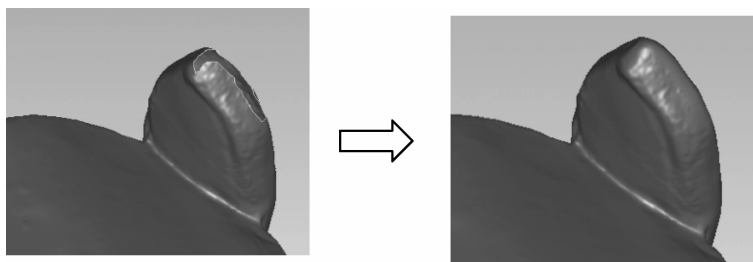


图 0-25 数据补缺

2. 数据分割和分块构造

在逆向设计中,由点云一次性生成符合要求的曲面不仅实现起来有一定困难,而且即便是生成了曲面,该曲面在光顺度上也得不到保证。如果用一张曲面片来拟合由两个或两个以上的曲面类型组成的曲面,最终拟合曲面一般都是不光滑的。因此,逆向建模需先将点云进行分块,分别构造曲面,再通过桥接、过渡、裁剪等细节特征处理,最终生成全部曲面。图 0-26 和表 0-2 分别为汽车车门曲面分割和说明。

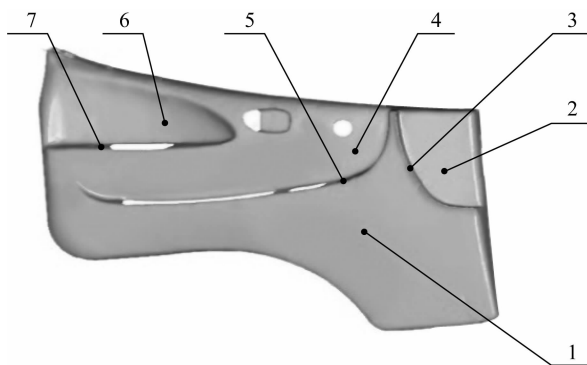


图 0-26 汽车车门曲面分割

1~7—区域号,详见表 0-2

表 0-2 面的分割

区域号	点云的特点	曲面要求
1	非常光滑	光顺度要求高
2	近似平面	平面化
3	近似指纹面	直纹化
4	中部点云光顺,边界曲率变化大	光顺度高,与区域 5、6 光顺过渡
5	光滑,近似直纹	光顺度好,过渡连续
6	光滑,边界不明确	光顺度好,过渡连续
7	光滑	与区域 1、4、6 光滑过渡

三维重构时,必须考虑两个关键问题:一是怎样用比较简单的几何元素对模型进行表达;二是怎样找到原始设计者的造型思路或痕迹,并用类似(最好是相同)的几何元素来构建 CAD 模型。

曲面建模有基于曲线的曲面建模、曲面片直接拟合造型、基于特征的模型重构。方体、柱体、球体、锥体、环等可以通过获取特征线来完成曲面建模。拉伸、放样、扫掠、回转等正向思路可用于完成特征建模。基于特征的模型重构是将正向工程中的特征技术引入逆向工程中,通过提取蕴含在点云中用来表达原始设计意图的特征,重建基于特征的逆向工程 CAD 模型。

3. 重建模型评价

重建模型的光顺度和精度是衡量重建质量的两个要素。光顺度可以理解为相互连接的曲面之间过渡的光滑程度。提高连续性级别可以使表面看起来更加光滑、流畅。

1) 模型精度评价及量化指标

- (1) 由逆向工程重构得到的模型和实物样件的误差到底有多大。
- (2) 所建立的模型是否可以被接受。
- (3) 根据模型制造的零件是否与数学模型相吻合(评价零件的制造误差)。

2) 逆向工程的误差来源

逆向工程的误差来源如图 0-27 所示。将由逆向模型制造得到的产品和原实物进行对比,通过计算两者之间的总体误差来判断逆向模型的有效性和准确性。

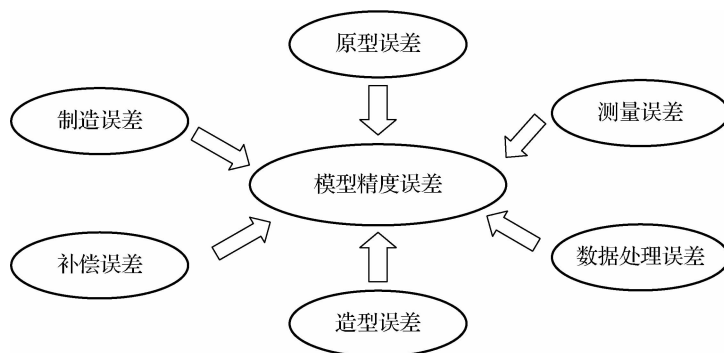


图 0-27 逆向工程的误差来源



(1)比较实物模型和 CAD 模型(逆向得到)。

(2)比较制造产品和 CAD 模型。

以上两过程的精度相加即为逆向工程的总精度。

二、创新设计思路和方法

应用于产品设计的逆向工程主要有以下两种:一是先由设计师、美工师设计好产品的油泥或木制模型,并用扫描仪等设备将模型的数据扫入,再建立计算机模型;二是对已有产品的实物零件(通常是国内外一些最新的设计产品)进行仿制。仿制是一种最低层次的逆向工程,需要对模型进行修改、再设计,以获得一个不完全相同甚至不同的新的结构外形,最终达到产品设计创新的目的。

产品设计创新,首先要进行产品调研,了解现有产品的特点和市场状况,研究现有产品的外观、结构、功能和原理,尽可能多地掌握产品的信息,然后根据要求对产品进行功能分析、概念设计、常规设计,最后得到设计图样和数据文件。其次,产品的整体设计是否符合人体工程学,能否为用户提供稳定安全、简便舒适的使用体验。产品的人机问题贯穿于设计的整个过程,设计师应以人为本,从用户的角度思考问题及解决方案。

此外,产品外观是否新颖,是否符合消费群体的审美需求,是否符合时代审美趋势,可以从产品造型、色彩、材质及工艺等方面进行思考。产品外观设计的创新是非常重要的。一个好的产品外观创意可以赋予产品独特的魅力,使产品个性鲜明,从众多产品中脱颖而出,给人以深刻的印象,甚至可以树立企业的品牌,提高产品的附加值及核心竞争力。

对于功能设计,创新产品的原理方案设计包括三个方面的内容:功能原理设计、机构方案设计、方案评价,即从产品的功能要求入手,确定工作原理,进行功能分析;根据原理,选择、设计执行传动等各机构的类型,进行机构组合优化;通过方案评价和决策,优选最佳设计方案。

三、逆向设计软件

国际市场上有很多逆向设计应用软件,如美国 EDS 公司的 Imageware,英国 Renishaw 公司的 Trace,英国 MDTV 公司的 Strim 和 Surface Reconstruction,英国 Delcam 公司的 CopyCAD,美国 3D Systems 公司的 Geomagic。另外还有一些 CAD/CAM 系统,如美国 PTC 公司的 Pro/ENGINEER,德国西门子 PLM 的 NX,法国达索的 CATIA 和 Solidworks Office Premium 等。这些正向设计软件也集成了可实现逆向三维造型设计的模块。

其中 Geomagic Design X 可以很容易地利用扫描所得的点云创建出完美的多边形模型和网格,并可自动转换为非均匀有理 B 样条(non-uniform rational B-spline, NURBS)曲面。相比任何其他逆向设计软件,Geomagic Design X 能够从 3D 扫描中更快、更准确且更可靠地创建 CAD 模型,从而利用现有产品创造新的商业价值。该软件以独特的方式结合了自动、导向性的实体模型提取功能,同时非常精确。此外,它还提供了将精确的曲面拟合到有机 3D 扫描、面片编辑和点云处理等诸多功能。该软件也是除 Imageware 以外应用最为广泛的逆向设计软件之一。

本书主要应用 Geomagic 系列软件进行逆向设计:用 Wrap 进行数据处理,用 Design X 进行逆向和正向设计。



项目评价

同学们通过概论部分的学习,按照表 0-3 对本部分的学习完成情况进行自我评价。

表 0-3 概论部分的评价依据

指 标	掌握逆向工程流程	掌握三维扫描技术的分类	了解三维扫描技术的应用	了解创新设计的意义和内容
分 值	25	25	25	25



项目总结

- (1)掌握逆向工程流程。
- (2)掌握逆向工程和正向工程的区别。
- (3)了解三维扫描技术的应用。
- (4)了解逆向设计的基本方法及创新设计思路。



项目拓展

- (1)查找资料并思考三维扫描技术都被应用在哪些领域。
- (2)逆向工程包括哪些流程? 与正向工程有何不同?
- (3)逆向工程的误差来源有哪些?
- (4)逆向设计分为哪些过程?



项目一

三维数据处理



项目引入

某公司采用照相式扫描仪对产品的点云进行采集,以便对零件进行测量、设计,所采集的产品的三维点云杂点较多,无法直接使用。

要求:对数据进行预处理,并将数据保存为 STL 格式。

通过完成本项目,达到以下学习目标。

知识目标

了解数据处理的基本流程。

能力目标

会使用 Geomagic Wrap 软件对点云进行处理。

素养目标

(1)培养分析问题、解决问题的能力。

(2)树立精益求精的工匠精神及爱岗敬业的劳动精神。



思政园地

严谨细致,善于研究、精益求精

数据处理的流程比较烦琐,要有足够的细致和耐心,精益求精,才能得到好的数据结果。这是走上工作岗位的基本要求。此外,在处理过程中如果遇到问题,先要自己探索和思考,再向其他同学请教,以培养自己思考和解决问题的能力。

任务一



了解 Geomagic Wrap

目前很多数据采集系统都具备数据处理功能,对于没有数据处理功能的采集系统,可采用逆向设计软件进行数据处理。

Geomagic Wrap 软件是一款可以用于数据处理和逆向建模的软件。经该软件处理后的数据,既可以直接输出进行 3D 打印,也可以使用目前行业中常用的建模软件进行逆向建模,从而得到扫描零件的模型数据。

1. 界面

Geomagic Wrap 软件界面如图 1-1 所示。



图 1-1 Geomagic Wrap 软件界面

2. 基本操作

利用鼠标和快捷键可对模型进行操作,具体见表 1-1。

表 1-1 利用鼠标和快捷键对模型进行操作

功 能	鼠标和快捷键的操作
旋转模型	按住鼠标滚轮进行拖动
缩放模型	滚动鼠标滚轮
平移模型	按住 Alt 键和鼠标滚轮进行拖动 按住 Alt 键和鼠标右键进行拖动

通过快捷键可实现全屏显示、旋转点设置、选项设置等功能,具体见表 1-2。

表 1-2 快捷键

快 捷 键	命令详解	快 捷 键	命令详解
Ctrl+N	新建项目	Ctrl+P	画笔选择工具
Ctrl+O	打开项目	Ctrl+T	矩形选择工具
Ctrl+S	保存项目	F2	单独显示
Ctrl+Z	撤销上一次操作(只能返回一步)	F3	显示下一个
Ctrl+Y	重复上一次操作	F4	显示上一个