



“十三五” 职业教育改革与创新系列教材

Geomagic Design X

三维建模案例教程

杨晓雪 闫学文 主编

GEOMAGIC DESIGN X
SANWEI JIANMO ANLI JIAOCHENG



附赠光盘

CD-ROM



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

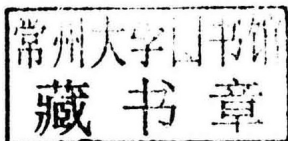


“十三五”职业教育改革与创新系列教材

Geomagic Design X

三维建模案例教程

主 编 杨晓雪 闫学文（企业）
副主编 牛小铁 李大荣（企业）
参 编 蔡 蕾 吴 兵 王兴东
主 审 徐安林



机械工业出版社

本书是国内第一本由高校教师与企业逆向工程师联手打造的,以真实工程项目和真实工作过程为特色,以教育部全国高职院校技能大赛和教师大赛为标准的基于 Geomagic Design X 三维建模案例教程,是校企合作在逆向工程领域多年的实践、培训及大赛经验的总结。

本书包含 8 个源于实际工程的项目案例,分别是维纳斯石膏像模型重构、三坐标检测标准件模型重构、叶片模型重构、遥控器模型重构、电话听筒模型重构、安全锤模型重构、车门把手模型重构和汽车后视镜模型重构。本书由浅入深地讲解和示范了逆向工程设计的各个方面,包含点云数据处理、逆向模型重构和误差分析等。

为便于教师教学和读者自学,本书配有项目操作过程的动画演示光盘,同时提供各项的点云数据,以帮助初学者尽快的掌握 Geomagic Design X 软件的操作步骤和规律,增加了本书的实用性和适用性。

本书可作为高等职业院校相关专业的教学用书,也可作为逆向工程师的岗位培训或自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

Geomagic Design X 三维建模案例教程/杨晓雪,闫学文主编. —北京:机械工业出版社,2016.4

“十三五”职业教育改革与创新系列教材

ISBN 978-7-111-53186-9

I. ①G… II. ①杨… ②闫… III. ①工业产品—造型设计—计算机辅助设计—应用软件—高等职业教育—教材 IV. ①TB472—39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 045574 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:齐志刚 责任编辑:齐志刚 叶蔷薇

版式设计:霍永明 责任校对:刘怡丹

封面设计:马精明 责任印制:乔宇

保定市中华美凯印刷有限公司印刷

2016 年 4 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·11 印张·256 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-53186-9

ISBN 978-7-89405-989-5(光盘)

定价:48.00 元(含 1CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649 机工微博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前言

Geomagic Design X 为 3D Systems 公司旗下产品,其前身 Rapid Form 是韩国 INUS 公司出品的全球四大逆向工程软件之一。该软件提供了新一代运算模式,可实时将点云数据运算出无接缝的多边形曲面,使它成为 3D Scan 后处理的最佳化接口。

随着逆向技术的发展和逐渐普及,Geomagic Design X 强大的功能和方便的操作被越来越多的用户认可并使用,但相关的书籍和资料十分短缺,特别是一些教育培训机构没有相应的教材组织教学,无法保证教育教学质量。基于市场和学校的实际需求,机械工业出版社组织高校教师和企业专家共同编写了此书。

本书是国内第一本校企合作打造的 Geomagic Design X 应用项目教程,融合了多年逆向工程设计的实践、培训和大赛经验,其特色如下:

1. 以真实逆向工程项目和工作过程为载体,重点强调逆向设计技术、技能的培养。
2. 精选了全国技能大赛(教育部全国高职院校技能大赛三维建模数字化设计制造赛项、全国机械职业院校教师大赛三维逆向建模与创新设计赛项)的 8 个经典项目。
3. 操作步骤明晰,内容由简到繁、易教易学、序化适当,能够实现“零起点开始,高技术实现”的效果。
4. 附加值高,呈现形式创新。本书的项目均提供原始扫描点云数据(stl)。为方便读者学习,在配套光盘中提供了每个项目案例的详细操作视频,增加了本书的实用性和适用性。

本书共 8 个项目,由北京工业职业技术学院杨晓雪、北京三维天下科技股份有限公司闫学文任主编并统稿,北京工业职业技术学院牛小铁、北京三维天下科技股份有限公司李大荣任副主编。参加编写的还有天津机电职业技术学院王兴东、蔡蕾和陕西工业职业技术学院吴兵。本书由无锡职业技术学院徐安林主审并对本书内容及体系提出了很多中肯的、宝贵的建议,在此表示衷心的感谢!

在本书编写过程中,得到了机械工业教育发展中心技术专家付宏生和北京三维天下科技股份有限公司技术人员的有益指导,在此一并表示衷心感谢!

因本书可参考的资料较少,加之编者水平有限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

目 录

前言

绪论	1
0.1 逆向工程的定义	1
0.2 逆向工程的关键技术流程	2
0.3 逆向工程的应用与发展	3
0.4 软件安装	3
0.5 用户界面	4
项目1 维纳斯石膏像模型重构	6
任务1 点云数据的处理	7
1.1 点云导入	7
1.2 点云过滤杂点	8
1.3 点云采样	9
1.4 点云平滑	11
1.5 构造面片	11
任务2 面片修复与处理	13
2.1 三角网格面片修补	13
2.2 面片优化	16
2.3 自动拟合曲面	17
任务3 误差分析和文件输出	19
3.1 误差分析	19
3.2 文件输出	20
项目2 三坐标检测标准件模型重构	22
任务1 点云数据的处理	23
1.1 点云导入	23
1.2 三角网格面片修补	23

1.3 数据保存	24
任务2 创建模型特征	24
2.1 领域组划分	24
2.2 对齐坐标系	29
2.3 草图绘制	31
2.4 创建拉伸实体	33
2.5 构造曲面	37
2.6 创建混合实体	38
任务3 误差分析和文件输出	42
3.1 误差分析	42
3.2 文件输出	43
项目3 叶片模型重构	45
任务1 点云数据的处理	46
任务2 创建模型特征	47
2.1 领域组划分	47
2.2 创建坐标系	47
2.3 模型构建	48
任务3 误差分析和文件输出	75
3.1 误差分析	75
3.2 文件输出	76
项目4 遥控器模型重构	77
任务1 点云数据的处理	78
1.1 点云导入	78
1.2 三角网格面片修补	78
1.3 数据保存	78
任务2 创建模型特征	79
2.1 领域组划分	79
2.2 对齐坐标系	80
2.3 构造曲面	80
2.4 倒圆角	83
2.5 曲面修剪实体	83
2.6 创建混合实体	85
任务3 误差分析和文件输出	92
3.1 误差分析	92
3.2 文件输出	92
项目5 电话听筒模型重构	95

任务 1 点云数据的处理	96
1.1 点云导入	96
1.2 三角网格面片修补	96
任务 2 逆向建模	97
2.1 领域组划分	97
2.2 对齐坐标系	98
2.3 模型构建	100
任务 3 误差分析和文件输出	106
3.1 误差分析	106
3.2 文件输出	107
项目 6 安全锤模型重构 (2014 年国赛样题)	108
任务 1 点云数据的处理	109
1.1 点云导入	109
1.2 三角网格面片修补	109
任务 2 创建模型特征	110
2.1 领域组划分	110
2.2 对齐坐标系	110
2.3 模型构建	111
任务 3 误差分析和文件输出	117
3.1 误差分析	117
3.2 文件输出	118
项目 7 车门把手模型重构 (2014 年国赛赛题)	120
任务 1 点云数据的处理	121
1.1 点云导入	121
1.2 三角网格面片修补	121
1.3 数据保存	121
任务 2 创建模型特征	122
2.1 领域组划分	122
2.2 对齐坐标系	123
2.3 构造曲面	123
2.4 添加局部主要特征	128
2.5 添加局部简单特征	133
2.6 创建倒圆角特征	135
任务 3 误差分析和文件输出	137
3.1 误差分析	137
3.2 文件输出	137

项目 8 汽车后视镜模型重构 (2014 年教师赛赛题)	140
任务 1 点云数据的处理	141
任务 2 创建模型特征	141
2.1 创建坐标系	141
2.2 模型构建	143
2.3 安装基座的建立	150
2.4 过渡区域的建立	158
任务 3 误差分析和文件输出	166
3.1 误差分析	166
3.2 文件输出	167
参考文献	168

绪 论

0.1 逆向工程的定义

逆向工程 (Reverse Engineering, RE) 也称作反求工程或逆向设计, 是将已有产品模型 (实物模型) 转化为工程设计模型和概念模型, 并在此基础上解剖、深化和再创造的一系列分析方法和应用技术的组合。逆向工程可有效改善技术水平, 提高生产率, 增强产品竞争力, 是消化、吸收先进技术进而创造和开发各种新产品的重要手段。它的主要任务是将原始物理模型转化为工程设计概念和产品数字化模型, 一方面为提高工程设计及加工分析的质量和效率提供充足的信息, 另一方面为充分利用计算机辅助设计 (Computer Aided Design, CAD)/计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering, CAE)/计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacturing, CAM) 技术对已有产品进行设计服务。

传统产品的开发实现通常是从概念设计到图样, 再创造出产品, 其流程为构思—设计—产品, 被称为正向工程或者顺向工程。它的设计理念恰好与逆向工程相反。逆向工程的产品设计是根据零件或者原型生成图样, 再制造产品。目前逆向工程的应用领域主要是飞机、汽车、玩具和家电等模具相关行业。近年来随着生物和材料技术的发展, 逆向工程技术也开始应用于人工生物骨骼等医学领域。但是逆向工程技术的研究和应用还仅仅集中在几何形状, 即重建产品实物的 CAD 模型和最终产品的制造方面。

逆向工程把三坐标测量机、CAD/CAM/CAE 软件、计算机数字控制 (Computerized Numerical Control, CNC) 机床有机而又高效地结合在一起, 成为产品研发和生产的一个高效、便捷的途径。逆向工程不仅仅是产品的仿制, 更肩负着数学模型的还原和再设计的优化等多项重任。以往逆向工程通常是指对某一产品进行仿制工作。这种需求可能发生于原始设计图文件遗失、部分零件重新设计, 或是委托厂商交付一件样品或产品, 如高尔夫球头、头盔模型, 请制造厂商复制出来。传统的复制方式是立体雕刻机或液压三次元靠模铣床制造出等比例的模具, 再进行生产。这种方法称为模拟式复制, 无法建立工件尺寸图档, 也无法做任何的外形修改, 现在已渐渐被数字化的逆向工程系统所取代。

目前的逆向工程技术是指针对现有工件, 利用 3D 数字化测仪器, 准确、快速地取得轮廓坐标, 经过曲面建构、编辑和修改后, 传至一般的 CAD/CAM 系统, 再由 CAM 产生的数字控制 (Numerical Control, NC) 加工路径, 以 CNC 加工机制做模具, 之后就可以做产品并进行批量生产。当前, 虽然逆向工程有了长足进展, 其概念已深入人心, 并被广泛应用于各个领域, 不仅是机械产品的研发, 先进企业都纷纷采用逆向工程模式进行产品研发和生产, 但产品逆向工程还是一个不完全成熟的过程, 各个环节仍有待于进一步完善、探索和研究, 并没有非常完善的解决方案。

0.2 逆向工程的关键技术流程

逆向工程一般可分为五个阶段：获取数据、处理数据、重建原型 CAD 模型、快速加工、检验与修正模型。同时，这些阶段也为逆向工程的五大关键技术。

(1) 获取数据 获取数据是逆向工程 CAD 建模的首要环节。通常采用的数据测量手段有使用三坐标测量机、三维数字化扫描仪、工业 CT 和激光扫描测量仪等设备来获取零件原型表面的三维坐标值。

(2) 处理数据 处理数据是逆向工程 CAD 建模的关键环节。它的结果可以直接影响后期重建模型的质量。它的主要内容包括散乱点排序、多视拼合、误差剔除、数据光顺、数据精简、特征提取和数据分块等。对于在获取数据的测量过程中受某些仪器的影响，或者在测量过程中不可避免地会带进噪声和误差等，必须对点云数据进行某些补偿或者删除一些明显错误点；对于大量的点云数据，也得对其进行精简。因此，对于获取得到的数据进行一系列数据拓扑的建立、数据滤波、数据精简、特征提取与数据分块的数据处理是必不可少的。对于一些形状复杂的点云数据，经过数据处理，将被分割成特征相对单一的块状点云，按测量数据的几何属性对其进行分割，采用匹配与识别几何特征的方法来获取零件原型所具有的设计与加工特征。

(3) 重建原型 CAD 模型 通过复杂曲面产品反求工程 CAD 模型，进而通过建模得到该复杂曲面的数字化模型是逆向工程的关键技术之一，此技术涉及计算机、图像处理、图形学、神经网络、计算几何、激光测量和数控等众多交叉学科及领域。

运用 CAD 系统模型，将一些分割后形成的三维点云数据做表面模型的拟合，并通过各曲面片的求交与拼接来获取零件原型表面的 CAD 模型。其目的在于获得完整一致的边界表示 CAD 模型，即用完整的面、边、点信息来表示模型的位置和形状。只有建立了完整一致的 CAD 模型，才可保证接下来的过程顺利进行下去。

(4) 快速加工 现有的快速加工有“减材加工”的数控加工，还有“增材加工”的快速成型机，是整个流程的最关键环节。

数控加工是指在数控机床上进行零件加工的一种工艺方法，数控机床加工与传统机床加工的工艺规程从总体上来说是一致的，但也发生了明显的变化。数控加工用数字信息控制零件和刀具位移的机械加工方法，是解决零件品种多变、批量小、形状复杂、精度高等问题和实现高效化及自动化加工的有效途径。

近年来，国际上在设计制造领域出现了很多新的成型技术和方法。快速成型（Rapid Prototyping, RP）从 20 世纪 80 年代中后期开始发展起来，是将计算机辅助设计、计算机辅助制造、计算机数控技术及材料学等结合应用的一种新型综合性成型技术。这一技术的出现被认为是近代制造技术领域的一次重大突破，对制造业的影响可与当年数控技术的出现相媲美。RP 技术主要是通过把合成材料堆积起来生成原型的形状加工技术，使用材料包括聚酯、ABS、人造橡胶、熔模铸造用蜡和聚酯热塑性塑料等，所制作原型件的强度可以达到其本身强度的 80%。由于 RP 技术可将 CAD 的设计构想快速、精确而又经济地生成可触摸的物理实体，从而可以对产品设计进行快速评估、修改和部分的功能试验，有效地缩短了产品研发

周期,以快速提供市场需要的产品。

(5) 检验与修正模型 重建 CAD 模型的检验与修正主要包括精度与模型曲面品质等方面。精度反映反求模型与产品实物差距的大小。该阶段的进程是根据获得的 CAD 模型重新测量和加工出样品,来检验重建的 CAD 模型是否满足精度或者其他实验性能指标的要求,对不满足要求者重复以上过程,直至达到零件的设计要求。

目前,精度的评价没有统一标准,但是根据通用的方式,可以在曲面品质的评价时,采用控制顶点、曲率梳、反射线、高光线、等照度线和高斯曲率等方法,对曲面拼接连续性的精度和曲面的内部品质进行评价。

0.3 逆向工程的应用与发展

随着新的逆向工程原理和技术的不断引入,逆向工程已经成为联系新产品开发过程中各种先进技术的纽带,在新产品开发过程中居于核心地位,被广泛应用于摩托车、汽车、飞机、家用电器、模具等产品的改型与创新设计,成为消化和吸收先进技术、实现新产品快速开发的重要技术手段。逆向工程技术的应用对发展中国家的企业缩短与发达国家的差距具有特别重要的意义。据统计,发展中国家 65% 以上的技术源于国外,而且应用逆向工程消化并吸收先进技术经验,并使产品研制周期缩短 40% 以上,极大地提高了生产率和竞争力。因此,研究逆向工程技术,对科学技术水平的提高和经济发展具有重大意义。

目前,逆向工程在数据处理、曲面处理、曲面拟合、规则特征的识别、专用商业软件和三维扫描仪的开发等方面已取得了非常显著的进步,但在实际应用中,缺乏明确的建模指导方针,整个过程仍需大量的人工交互,操作者的经验和素质影响着产品的质量,自动重建曲面的光顺性难以保证,对建模人员的经验和技能依赖较重。而且目前的逆向工程 CAD 建模软件大多仍以构造满足一定精度和光顺性要求的 CAD 模型为最终目标,没有考虑到产品的创新需求,因此逆向工程技术依然是目前 CAD/CAM 领域中一个十分活跃的研究方向。

逆向工程 CAD 建模的研究经历了以重构几何形状为目的的逆向工程 CAD 建模、基于特征的逆向工程 CAD 建模和支持产品创新设计的逆向工程 CAD 建模三个阶段。以现有产品为原型、还原产品的设计意图以及注重重建模型的再设计能力已成为当前逆向工程 CAD 建模研究的重点。

0.4 软件安装

1. 系统要求

最基本的系统硬件要求如下(较大的内存可以处理更大的模型)。

处理器: Intel® 与 AMD® 处理器, 2GHz 或以上。

RAM: 4GB。

硬盘: 建议使用 30GB 以上(每百万个点的临时文件缓存大约需要 3GB 可用硬盘空间)。

显卡: OpenGL 1.2 或以上, 32 位真彩。

2. 操作系统

支持的操作系统如下。

- Windows Vista (32 位或 64 位 SP1 或以上)
- Windows 7 (32 位或 64 位)
- Windows 8 (32 位或 64 位)

第三方应用程序: Microsoft .NET Framework 4.0。

3. 软件下载

如果在设置中, 将“自动更新产品”选项设置为“True”, 已经激活了有效的维护码, 并且计算机已联网, 应用程序将会自动检查是否有新的版本, 并会自动下载安装。单击“帮助”→“检查更新”, 可以手动检查更新。使用此命令可以将产品更新为最新的版本。

4. 安装步骤

请按照下面的步骤完成更新。从 Geomagic 支持中心下载 ZIP 文件, 链接如下: <http://support1.geomagic.com/link/portal/5605/5668/Article/2191/Getting-Started-With-Geomagic-Solutions>。

将 ZIP 文件解压到临时目录下。双击 .exe 文件, 按照提示进行更新安装。

注意: 安装后, 运行应用程序时会确认更新, 单击“帮助”→“关于”可以查看产品的版本。

5. 激活许可

Geomagic Verify 需要激活许可才可以在计算机上运行。如果之前已购买过该产品, 并已在计算机上对之前版本的应用程序激活过许可, 在运行新版本的应用程序时就无须重新激活许可。如果这是用户第一次运行该应用程序, 在启动应用程序后就需要在“许可激活”对话框中进行激活。

0.5 用户界面

该软件的用户界面比较直观, 如图 0-1 所示, 主要由菜单栏、工具面板、工具条、特征树、模型树、模型显示区和状态栏等组成。用户界面窗口和工具栏可以修改, 可以使它们常显示或在工具栏区域单击鼠标右键动态显示。

1) 工具面板。

- ① 面片: 处理面片格式数据。
- ② 领域组: 划分点云区域。
- ③ 点云: 处理点云数据。
- ④ 面片草图: 截取点云数据轮廓再编辑。
- ⑤ 草图: 不依托点云数据直接做二维轮廓图形。
- ⑥ 创建特征。

2) 工具栏: 视图、特征的显示/隐藏等。

3) 特征树: 记录作图顺序和方法。



图 0-1

- 4) 模型树：对特征具体划分。
- 5) Accuracy Analyzer (TM)：模型分析。

项目 1 维纳斯石膏像模型重构

项目引入

客户：北京京西时代科技有限公司

产品：维纳斯石膏雕像

背景：

北京京西时代科技有限公司应某艺术家的要求将其设计稿维纳斯石膏像放大到 2.5m 高，并进行分块加工，最终组装后参加某展览。

现有维纳斯石膏雕像一个（图 1-1）以及通过三维扫描仪采集后未经处理的三维数据（.stl），现需要根据数据进行复杂曲面的实体重构，以满足加工要求。

技术要求：数据完整、特征清晰、整体精度为 0.1mm。

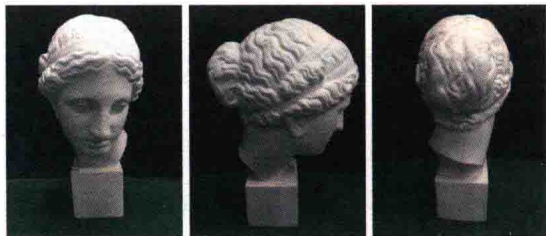
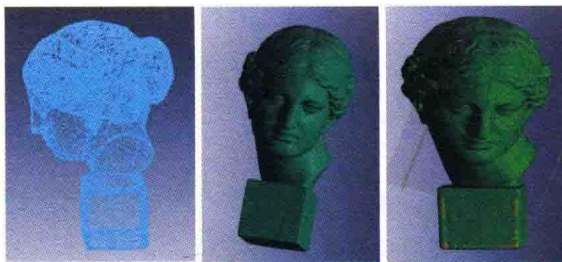


图 1-1

项目分析

本章主要介绍 Geomagic Design X 中维纳斯石膏雕像三维数据的处理、自动拟合复杂特征曲面以及误差分析的全过程，如图 1-2 所示。



a) 原始数据

a) 曲面重构

c) 误差分析

图 1-2

项目要点

- 熟悉逆向建模
- 熟悉 Geomagic Design X 中数据处理的基本功能
- 熟悉 Geomagic Design X 中自动拟合曲面的基本功能
- 熟悉 Geomagic Design X 中误差分析的基本功能

难度系数

☆☆☆☆

任务1 点云数据的处理

1.1 点云导入

1) 选择菜单“插入”→“导入”命令，弹出如图 1-3 所示的对话框，选择点云数据“维纳斯.stl”，单击“仅导入”按钮。



图 1-3

2) 导入数据如图 1-4 所示。

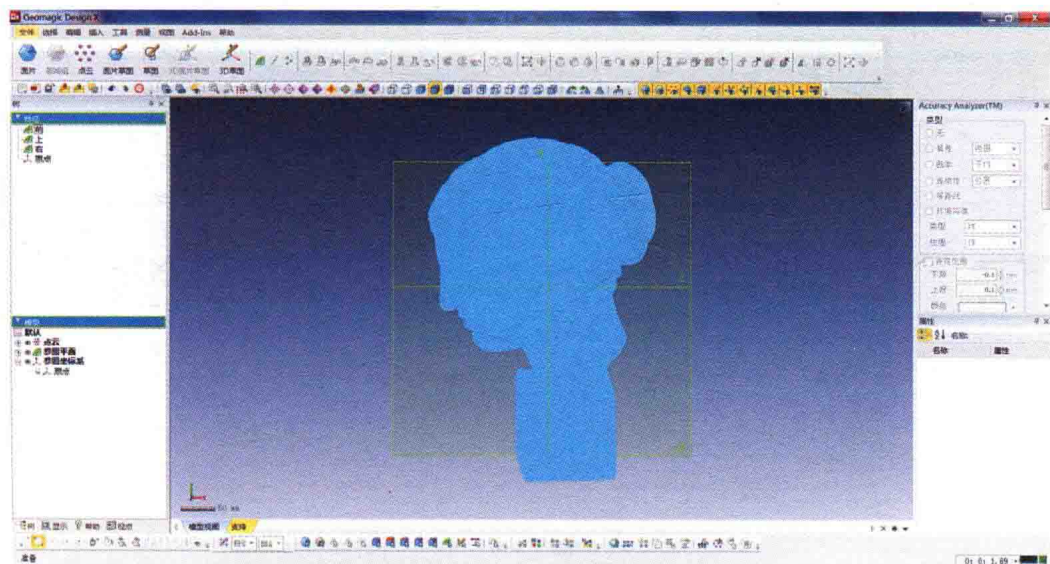


图 1-4

1.2 点云过滤杂点

1) 单击“点云”按钮进入点云模块，如图 1-5 所示。



图 1-5

2) 单击“过滤杂点”按钮，再单击“确定”按钮即可，如图 1-6 所示。

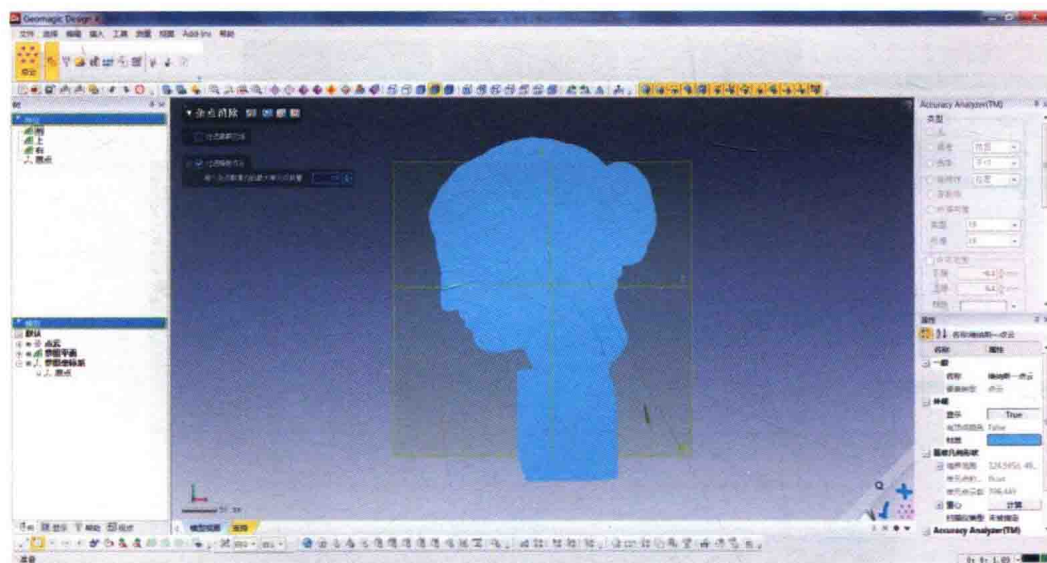


图 1-6

命令详解

“杂点清除”命令可以从点云中过滤杂点，主要应用于从点云中清理杂点群以及删除不必要的点，如图1-7所示。

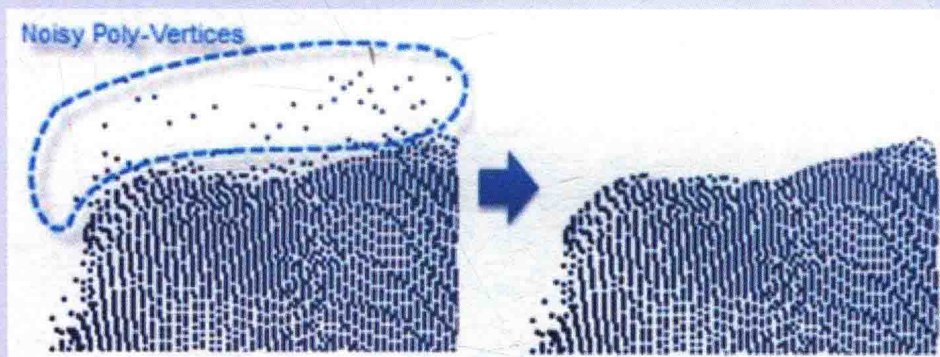


图 1-7

详细选项

过滤离群区域：设置一个理想区域，删除在定义区域外的所有点。

用包围盒过滤：将理想区域定义为有体积的长方体。删除该区域外的所有点。

1.3 点云采样

利用“点云采样”按钮，在详细设置中勾选“保持边界”复选框，百分数根据模型扫描的数量来判定，如图1-8所示。



图 1-8