

项目 1

了解逆向工程技术



项目目的

- (1) 了解逆向工程技术的概念和基本工作流程;
- (2) 了解常用的逆向设计造型软件;
- (3) 理解逆向工程关键技术;
- (4) 掌握逆向工程技术的特定应用领域及应用方法;
- (5) 培养学生独立分析和解决实际问题的实践能力。



项目内容

- (1) 逆向工程技术简介及其工作流程;
- (2) 逆向工程关键技术;
- (3) 逆向工程技术的特定应用领域及应用方法;
- (4) 逆向工程技术在模具行业的具体应用。



课时分配

本项目共 5 节,参考课时为 4 学时。

1.1 逆向工程技术简介

随着工业的进步以及经济的快速发展,在消费者对产品高质量的要求下,产品功能上的要求已不再是赢得市场的唯一条件。产品不仅要具有先进的功能,还要有流畅、富有个性的产品外观,以吸引消费者的注意。流畅、富有个性的产品外观要求必然会使得产品外形由复杂的自由曲面组成。但是,在设计和制造中,传统的产品开发模式基于产品或构件的功能和外形,由设计师在计算机辅助设计软件中构造,即正向工程,很难用严密、统一的数学语言来描述这些自由曲面。

为适应先进制造技术的发展,需要将实物样件或手工模型转化为 CAD 数据,以使用快速成型(rapid prototyping,RP)系统、计算机辅助制造(computer aided manufacturing,CAM)系统和产品数据管理(product data management,PDM)的先进技术对其进行处理和管理,并进行进一步修改和再设计优化。此时,就需要一个一体化的解决方案:样品-数据-样品。逆向工程专门为制造业提供了一个全新、高效的重构手段,实现从实物到几何模型的直接转换。

逆向工程(reverse engineering, RE)又称为反向工程,其思想源于从油泥模型到产品实物的设计过程。20 世纪 90 年代初,在现代计算机技术及测试技术飞速发展的同时,逆向工程也发展成为一种以国内外先进产品、设备的实物为研究对象,以现代设计理论、人机工程学、计量学、计算机图形学和相关专业知识为基础,利用先进制造技术来进行产品仿制及新产品开发的技术手段,最终实现对先进产品的认识、再现及创造性的开发。

逆向工程作为消化、吸收已有先进技术并进行创新开发的重要手段,人们对其的理论研究和应用越来越多。通过综合利用 RE 技术和 CAD 技术,形状复杂产品的数字化建模质量和效率将大大提高,并且能够以较低的成本制造出原型产品,从而有力支持新产品的创新设计和快速开发。

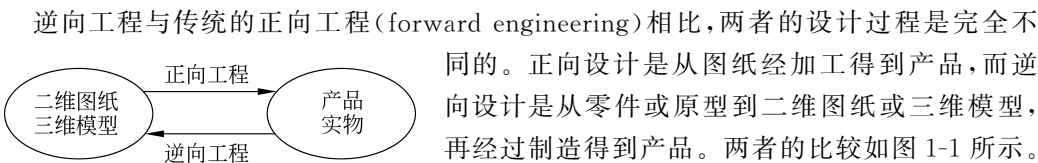


图 1-1 正向工程与逆向工程的比较

正向工程是从无到有的全新设计过程,而逆向工程则是对已有产品进行变形设计的再创新过程,两者在设计流程上有很大的区别,但目的都是一样的,即设计并生产出符合要求的产品。

1.2 逆向工程的工作流程

逆向工程的基本工作流程是：首先对实物样件或油泥模型进行数据采集,得到样件表面的几何数据,然后对这些数据进行去噪、三角化、全局优化、数据分块等预处理,再根据点云数据进行曲面重构,再根据产品工艺和功能要求,对光顺后的曲面进行工艺分块和产品结构设计,最终完成产品 CAD 模型的重建。之后,还可以进行一系列后续仿真分析操作,如有限元分析、运动仿真分析以及数控加工指令生成等。图 1-2 为逆向工程的基本工作流程。图 1-3 为某发动机气道砂芯的逆向设计流程。

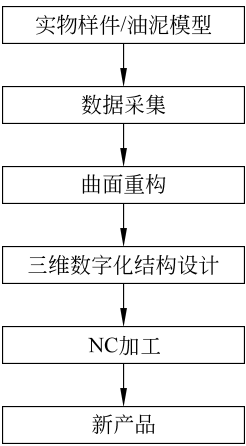


图 1-2 逆向工程的基本
工作流程

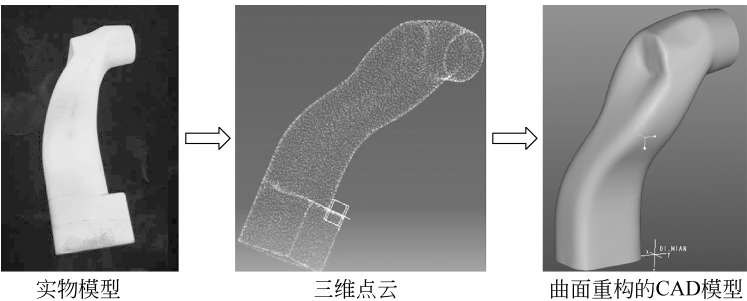


图 1-3 某发动机气道砂芯的逆向设计流程

1.3 逆向工程技术常用软件

1.3.1 基于正向的 CAD/ CAE/ CAM 系统软件

1. CATIA

CATIA 是法国 Dassault Systems 公司旗下的 CAD/CAE/CAM 一体化软件,Dassault Systems 成立于 1981 年,CATIA 是英文 computer aided tri-dimensional interface application 的缩写。它支持从项目前阶段、具体的设计、分析、模拟、组装到维护在内的全部工业设计流程。CATIA 软件界面如图 1-4 所示。

CATIA 通过以下三大模块专门进行逆向造型设计。

(1) digitized shape editor (DSE, 数字曲面编辑器), 根据输入的点云数据, 进行采样、编辑、裁剪, 以达到最接近产品外形的要求, 可生成高质量的 mesh 小三角片体, 完全非参。

(2) quick surface reconstruction (QSR, 快速曲面重构), 根据输入的点云数据或者 mesh 以后的小三角片体, 提供各种方式生成曲线, 以供曲面造型, 完全非参。

(3) automotive class A (汽车 A 级曲面), 完全非参, 此模块提供了强大的曲线曲面编辑功能和无比强大的一键曲面光顺功能。几乎所有命令可达到 G3, 而且不破坏原有光顺外形, 可实现多曲面甚至整个产品外形的同步曲面操作(控制点拖动、光顺、倒角等)。对于丰田等对 A 级曲面近乎疯狂(全 G3 连续等)的要求, 可应付自如。目前只有纯造型设计软件, 比如 Alias、Rhino 可以达到这个高度, 不过达不到 CATIA 的高精度。



图 1-4 CATIA 软件界面

2. Siemens NX

Siemens NX 是 Siemens PLM Software 公司出品的一个产品工程解决方案, 它为用户的产品设计及加工过程提供了数字化造型和验证手段。它不但拥有现今 CAD/CAM 软件中功能较强大的 Parasolid 实体建模核心技术, 更提供高效能的曲面建构能力, 能够完成最复杂的造型设计。其主要为汽车与交通、航空航天、日用消费品、通用机械以及电子工业等领域, 通过其虚拟产品开发 (VPD) 的理念, 提供多级化的、集成的、企业级的、包括软件产品与服务在内的完整的 MCAD 解决方案。Siemens NX 软件如图 1-5 所示。

Siemens NX 具有丰富的曲面建模工具, 包括直纹面、扫描面、通过一组曲线的自由曲面、通过两组类正交曲线的自由曲面、曲线广义扫掠、标准二次曲线方法放样、等半径和变半径倒圆、广义二次曲线倒圆、两张及多张曲面间的光顺桥接、动态拉动调整曲面、等距或不等距偏置、曲面裁减、编辑、点云生成、曲面编辑。

Siemens NX 还拥有自由形状建模用于设计高级自由形状, 或直接在实体上, 或作为独立片体, 使得它能够进行复杂自由形状的设计, 如机翼、进气道和工业设计的产品。自由曲面建模技术合并了实体和曲面建模技术到一个强大功能的工具集中, 该技术包括沿



图 1-5 Siemens NX 软件

曲线的通用扫描,利用 1、2 和 3 个轨道方法等比例地建立形状,从标准二次锥方法的放样体,圆形或锥形截面的圆角,在两个或更多的其他体间光滑桥接间隙的曲面,也支持通过一个曲线/点网格定义形状或对逆向工程任务通过点去拟合建立形状模型,可以或通过修改定义的曲线,改变参数的数值,或通过利用图形的或数字的规律控制来进行编辑。例如,一个可变半径的倒圆或改变一个扫描的横截面面积,模型是与所有其他 NX 功能完全集成的,自由曲面建模也包括为评估复杂模型的形状、尺寸和曲率的易于使用的工具。

除了软件本身强大的曲面设计功能,Siemens PLM Software 公司已经在新版本的 NX 软件中加入了专用的逆向工程模块,包括了常用的逆向曲面造型设计专用功能,可以与后续的产品细节结构设计实现无缝连接。

3. Creo

Creo Parametric 是 PTC 核心产品 Pro/E 的升级版本,是新一代 Creo 产品系列的参数化建模软件。Creo Parametric 利用具有关联性的 CAD、CAM 和 CAE 应用程序(范围从概念设计到 NC 刀具路径生成),可在所有工程过程中创建无缝的数字化产品信息。此外,Creo Parametric 在多 CAD 环境中表现出色,并且保证向下兼容来自早期 Pro/E 版本的数据。Creo 软件如图 1-6 所示。



图 1-6 Creo 软件

Creo 软件拥有专业曲面设计功能,利用自由风格功能更快速地创建复杂的自由形状;使用扫描、混合、延伸、偏移和其他各种专门的特征开发复杂的曲面几何;使用拉伸、旋

转、混合和扫描等工具修剪和延伸曲面;执行复制、合并、延伸和变换等曲面操作定义复杂的几何曲面。经常使用以下模块进行逆向曲面造型设计。

(1) Creo interactive surface design(交互式曲面设计)。通过 Creo 交互式曲面设计的自由形状曲面设计功能,设计者和工程师可以快速轻松地创建极为准确并且具有独特美感的产品设计结果,根据您的需求而不是软件的限制来进行设计。

(2) Creo reverse engineering(逆向工程)。使用该模块可以将现有实物产品变换为数字化模型。逆向工程模块以其快速且功能强大的特性使设计人员和工程人员能有效地利用现有的知识产权,直接对任一个实体零件中的几何外形和自由形式的曲面进行有效的开发,或者开发整个曲面模型。它具有一整套自动化功能,并具有实施剧烈的设计变更的能力,从而有助于改进产品定制,并提高设计重用率。

1.3.2 专用的逆向造型设计软件

1. Imageware

Imageware 由美国 EDS 公司出品,是著名的逆向工程软件,正被广泛应用于汽车、航空、航天、消费家电、模具、计算机零部件等设计与制造领域。该软件拥有广大的用户群,国外有 BMW、Boeing、GM、Chrysler、Ford、Raytheon、Toyota 等著名的国际大公司,国内则有上海大众、上海申模模具制造有限公司、上海 DELPHI、成都飞机制造公司等大企业。

以前该软件主要被应用于航空航天和汽车工业,因为这两个领域对空气动力学性能要求很高,在产品开发的开始阶段就要认真考虑空气动力学性能。常规的设计流程是:首先根据工业造型需要设计出结构,制作出油泥模型之后将其送到风洞实验室去测量空气动力学性能,然后根据实验结果对模型进行反复修改直到获得满意结果为止,如此所得到的最终油泥模型才是符合需要的模型。如何将油泥模型的外形精确地输入计算机成为电子模型,就需要采用逆向工程软件。首先利用三坐标测量仪器测出模型表面点阵数据,然后利用逆向工程软件 Imageware 进行处理即可获得 A 级曲面。Imageware 软件如图 1-7 所示。



图 1-7 Imageware 软件

随着科学技术的进步和消费水平的不断提高,许多其他行业也纷纷开始采用逆向工程软件进行产品设计。

以微软公司生产的鼠标器为例,就其功能而言,只需要三个按键就可以满足使用需要,但是,怎样才能让鼠标器的手感最好,而且经过长时间使用也不易产生疲劳感,却是生产厂商需要认真考虑的问题。因此,微软公司首先根据人体工程学制作了几个模型并交给使用者评估,然后根据评估意见对模型直接进行修改,直至修改到满意为止,最后再将模型数据利用逆向工程软件 Imageware 生成 CAD 数据。当产品推向市场后,由于其外观新颖、曲线流畅,再加上手感很好,符合人体工程学原理,因而迅速获得用户的广泛认可,产品的市场占有率大幅上升。

Imageware 采用 NURBS 技术,软件功能强大,Imageware 由于在逆向工程方面具有技术先进性,产品一经推出就占领了很大市场份额。

Imageware 主要用来做逆向工程,它处理数据的流程遵循点—曲线—曲面原则,流程简单清晰,软件易于使用。

Imageware 在计算机辅助曲面检查、曲面造型及快速样件等方面具有其他软件无可匹敌的强大功能,它当之无愧地成为逆向工程领域的领导者。

2. Geomagic Studio

由美国 Geomagic 公司出品的逆向工程和三维检测软件 Geomagic Studio 可轻易地从扫描所得的点云数据创建出完美的多边形模型和网格,并可自动转换为 NURBS 曲面。Geomagic Studio 可根据任何实物零部件自动生成准确的数字模型。Geomagic



图 1-8 Geomagic Studio 软件

Studio 还为新兴应用提供了理想的选择,如定制设备大批量生产,即定即造的生产模式以及原始零部件的自动重造。Geomagic Studio 软件如图 1-8 所示。

Geomagic Studio 的特点:确保完美多边形和 NURBS 模型处理复杂形状或自由曲面形状时,生产率比传统 CAD 软件提高多倍。自动化特征和简化的工作流程可缩短培训时间,并使用户免于执行单调乏味、劳动强度大的任务。

Geomagic Studio 可与所有主要的三维扫描设备和 CAD/CAM 软件进行集成,能够作为一个独立的应用程序运用于快速制造,或者作为对 CAD 软件的补充。

Geomagic Studio 主要包括 Qualify、Shape、Wrap、Decimate、Capture 五个模块。主要功能包括以下几点。

- (1) 自动将点云数据转换为多边形(Polygons)。
- (2) 快速减少多边形数目(Decimate)。
- (3) 把多边形转换为 NURBS 曲面。
- (4) 曲面分析(公差分析等)。
- (5) 输出与 CAD/CAM/CAE 匹配的文件格式(IGS、STL、DXF 等)。

3. CopyCAD

CopyCAD 是由英国 Delcam 公司出品的功能强大的逆向工程系统软件,它能允许从已存在的零件或实体模型中产生三维 CAD 模型。该软件为来自数字化数据的 CAD 曲面的产生提供了复杂的工具。CopyCAD 能够接收来自坐标测量机床的数据,同时跟踪机床和激光扫描器。

Delcam CopyCAD Pro 是世界知名的专业化逆向/正向混合设计 CAD 系统,采用全球首个 Tribid Modelling 三角形、曲面和实体三合一混合造型技术,集三种造型方式为

一体,创造性地引入了逆向/正向混合设计的理念,成功地解决了传统逆向工程中不同系统相互切换、烦琐耗时等问题,为工程人员提供了人性化的创新设计工具,从而使得“逆向重构+分析检验+外形修饰+创新设计”在同一系统下完成。CopyCAD Pro 为各个领域的逆向/正向设计提供了高速、高效的解决方案。

CopyCAD 软件如图 1-9 所示。

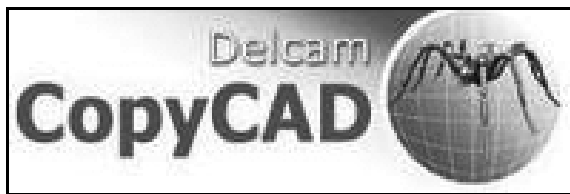


图 1-9 CopyCAD 软件

Delcam CopyCAD Pro 具有高效的巨大点云数据运算处理和编辑能力,提供了独特的点对齐定位工具,可快速、轻松地对齐多组扫描点组,快速产生整个模型;自动三角形化向导可通过扫描数据自动产生三角形网格,最大限度地避免了人为错误;交互式三角形雕刻工具可轻松、快速地修改三角形网格,增加或删除特征或是对模型进行光顺处理;精确的误差分析工具可在设计的任何阶段帮助用户对照原始扫描数据对生成模型进行误差检查;Tribrid Modelling 三合一混合造型方法不仅可进行多种方式的造型设计,同时可对几种造型设计进行混合布尔运算,为操作者提供了灵活而强大的设计方法;设计完毕的模型可在 Delcam PowerMILL 和 Delcam FeatureCAM 中进行加工。

CopyCAD 简单的用户界面允许用户在尽可能短的时间内进行生产,并且能够快速掌握其功能,即使对于初次使用者也能做到这点。使用 CopyCAD 的用户将能够快速编辑数字化数据,产生具有高质量的复杂曲面。该软件系统可以完全控制曲面边界的选取,然后根据设定的公差能够自动产生光滑的多块曲面。同时,CopyCAD 还能够确保在连接曲面之间的正切的连续性。

CopyCAD 的主要功能如下。

- (1) 数字化点数据输入。
- (2) 点操作。
- (3) 三角测量。
- (4) 特征线的产生。
- (5) 曲面构造。

4. Geomagic Design X

Geomagic Design X 是目前业界最全面的逆向工程软件,在众多工业领域,如汽车、航空、医疗设备和消费产品,许多专业人士在使用 GeomagicDesign X 软件和服务。Geomagic Design X 的前身是韩国 Rapidform XOR 软件,2013 年被 3D Systems 公司收购,双方经过多年合作并有机地结合在一起,一起为“从模型到成品”的过程提速。Geomagic Design X 软件如图 1-10 所示。



图 1-10 Geomagic Design X 软件

Geomagic Design X 软件的主要特征如下。

(1) 多点云数据管理界面。高级光学 3D 扫描仪会产生大量的数据(可达 100000~200000 点),由于数据非常庞大,因此需要昂贵的计算机硬件才可以运算,现在 Geomagic Design X 提供记忆管理技术(使用更少的系统资源),可缩短处理数据的时间。

(2) 多点云处理技术。可以迅速处理庞大的点云数据,不论是稀疏的点云,还是跳点,都可以轻易地转换成非常好的点云。Geomagic Design X 提供过滤点云工具以及分析表面偏差的技术来消除 3D 扫描仪所产生的不良点云。

(3) 快速点云转换成多边形曲面的计算方法。在所有逆向工程软件中,Geomagic Design X 提供一个特别的计算技术,针对 3D 及 2D 处理是同类型计算,软件提供了一个快速且可靠的计算方法,可以将点云快速计算出多边形曲面。Geomagic Design X 能处理无顺序排列的点数据以及有顺序排列的点数据。

(4) 自动分割领域。自动分割领域功能是 Geomagic Design X 的专有功能,它会根据面片的曲率和特征,自动将面片表面归类为不同的领域加以分割,可以快速地识别平面、圆柱面、回转面、圆面等。后续设计过程中可以根据这些分割的领域快速地构建实体特征。Geomagic Design X 也提供上色功能,通过实时上色编辑工具,使用者可以直接对模型编辑自己喜欢的颜色。

(5) 偏差分析功能。在建模过程之中,Geomagic Design X 可以快速且方便地进行体偏差分析、面偏差分析、曲线偏差分析等,可以轻易知道逆向设计模型和原始扫描数据之间的偏差,从而调整更改逆向设计模型。

1.4 逆向工程关键技术

当前,国内外对逆向工程关键技术的研究主要集中在数据采集技术和曲面重构技术两个方面。

1.4.1 数据采集技术

形状表面数据采集是逆向工程的第一步工作,逆向工程技术的实施必须以数字化测量设备的输出数据为基础,只有在得到需要进行逆向设计的实体的表面三维信息后,才能实现模型检测、复杂曲面重构、评价和制造等后续工作。而逆向工程测量得到的数据质量直接影响对被测实体描述的精度和完整程度,进而影响重构的 CAD 曲面、三维实体模型的质量,并最终影响整个工程的进度和质量。因此,数据采集是整个逆向工程技术实施的基础,也是逆向工程中的关键技术之一。

根据测量探头是否接触零件表面,常用的数据采集方法可分为接触式数据采集方法和非接触式数据采集方法两大类,如图 1-11 所示。

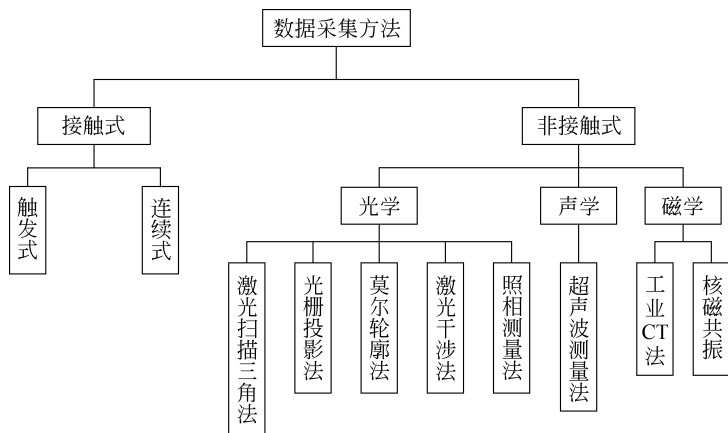


图 1-11 数据采集方法

1. 接触式数据采集方法

接触式数据采集方法主要有两种,即基于力触发原理的触发式数据采集方法和基于模拟量开关探头的连续式数据采集方法。

(1) 触发式数据采集方法。触发式数据采集采用触发式探头,当测头的探针与样件的表面接触时,由于探针尖变形触发采样开关,数据采集系统即可记下探针尖(测量球中心点)的当时坐标,探针沿样件表面轮廓逐点移动,就能采集到完整的样件三维数据。

(2) 连续式数据采集方法。连续式数据采集的探头采用模拟量开关,模拟式探头与样件的表面接触时会产生侧向位移,经可变线圈感应,会产生相对的电压变化,此模拟电压变化信号转换成数字信号送入处理器,探针沿样件表面轮廓移动,就能采集到完整的样件的表面轮廓数据。由于这种方法的数据采集过程是连续的,测量速度比触发式探头快许多倍,采样精度也较高。但使用模拟式探头时必须保持实时与样件的接触,测量过程中不能中途离开样件表面。这种测量适用于曲率变化平滑的样件表面。由于与样件的接触力较小,可以用小直径的探针去扫描具有细微部分或由较软材料制作的模型。

2. 非接触式数据采集方法

非接触式数据采集方法主要是利用光学、声学、磁学等学科的基本原理,将一定的模拟量转化为被测模型表面的坐标点。该方法包括激光扫描三角法、光栅投影法、照相测量法、超声波测量法和工业 CT 法等,其中激光扫描三角法是逆向工程中复杂曲面数据采集应用最广泛的方法。

(1) 激光扫描三角法。其原理是将激光束照射到被测物体上,用 CCD 得到漫反射光成像点,根据光源点、被测物体表面反射点和 CCD 上的成像点之间的三角关系,从而计算出被测物体表面某点的三维坐标。

三角法的优点是速度快并且不与被测工件表面接触。因此,适合测量尺寸较大、外部曲面复杂的零件。随着先进技术的不断发展,激光扫描三角法将成为应用最为广泛的方法之一。

(2) 光栅投影法。其原理是利用投影仪将光栅影线投影到被测物体的表面,光栅影线受到被测样件表面高度变化的影响而发生变形,通过解调变形的的光栅影线可以计算出被测样件表面高度值,再通过解码即可确定被测件的三维坐标。

光栅投影法的优点是测量精度高、范围大、速度快、成本低、操作方便;缺点是只能测量表面曲率变化不大的物体,对于表面形状有突变的物体,光栅影线在陡峭处经常会发生相位突变,从而影响测量精度。

(3) 照相测量法。其原理是用一个或多个照相机,从不同方向拍摄被测物体三幅以上的照片,利用交会原理和模式识别,计算出各个特征点,进而综合计算出物体表面三维曲面轮廓。

照相测量法的优点是测量范围大、速度快,可以测量复杂曲面,不受环境的影响;其缺点是在对物体轮廓边界进行测量时,精度较低。

(4) 超声波测量法。其原理是利用超声波脉冲在与被测物体的两种介质交界表面处发生的回波反射,通过检测零点脉冲与回波之间的时间间隔,即可计算出被测物体各面到零点的距离。

超声波测量法设备简单,成本低,但是测量速度慢,测量精度较低且容易受物体材料及表面特性的影响。由于超声波在高频下的方向性很好,它在三维扫描测量中的应用研究已成为热点。

(5) 工业 CT 法。其原理是以被测物体对 X 射线的衰减系数为基础,通过用 X 射线逐层扫描被测物体,然后用数学方法经过计算机处理而重建各个断层的图像,最后得到完整的三维图像。

CT 测量法的优点是能同时测量物体的内外表面,并且不需要其他处理措施,即可获得精度高、数据密集的 STL 模型。但它测量速度慢,重建三维图像的计算量比较大。

接触式测量与非接触式测量广泛应用在工件质量检测、工装检测和逆向工程中,这两种测量方式在逆向工程中也最为常用且各有特色,表 1-1 总结了激光扫描仪非接触式测量和三坐标测量机接触式测量的技术特点。