

# Research on Engineering Modeling and Application of Reverse Design Based on Geomagic Studio Software

Jianfeng Zhou Chenkai Zhang

Quzhou College of Technology, Quzhou, Zhejiang, 324000, China

## Abstract

Reverse engineering is a related technology that obtains product mathematical models from physical samples and manufactures new products., it has become a research and application hotspot in CAD/CAM systems, and has developed into a relatively independent field. This paper briefly explains the reverse engineering the basic concepts, methods and general steps, combined with the reconstruction modeling of the shape of the inlet duct, carries out 3D scanning and data collection on the original shape of the air duct. After data processing, 3D reconstruction and other processes, a three-dimensional structure with the same shape and structure is constructed. Model, complete the digital technology redesign process of parts. Re-design-oriented reverse engineering related technologies and methods provide guidance for the application of reverse engineering technology.

## Keywords

reverse engineering; surface reconstruction; modeling; computer-aided design

# 基于 Geomagic Studio 的逆向设计工程建模及应用研究

周建锋 张晨恺

衢州职业技术学院, 中国·浙江 衢州 324000

## 摘要

逆向工程是从实物样本获取产品数学模型并制造得到新产品的相关技术, 已经成为 CAD/CAM 系统中一个研究和应用热点, 并发展成为一个相对独立的领域。论文简要阐述了逆向工程的基本概念、方法以及一般步骤, 并结合进气道外形曲面重建建模, 对某气道部件实物原形进行 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, 完成零部件的数字化技术的再设计过程。面向再设计的逆向工程相关技术及方法, 为逆向工程技术的应用提供参考。

## 关键词

逆向工程; 曲面重构; 建模; 计算机辅助设计

## 1 引言

随着科技的发展和市场竞争的越来越大, 对产品的设计提出了更高的要求, 即产品的多样化、外形美观更高、更新换代周期也在变短短, 同时也促进了产品制造过程的发展。近年来, 许多产品的设计、制造要求基于现有的原型或实物, 因此产生了逆向工程的概念。逆向工程是指根据实物模型测定的数据, 构造出 CAD 模型的过程。其主要目的是在不能轻易获得必要的生产信息的情况下, 直接从成品分析, 推导

出产品的设计原理。逆向工程为客户和制造者在并行工程环境下应用快速原型技术提供了强有力的工具, 是缩短产品开发周期的有效途径。特别是形状复杂的物体或自由曲面组成的物体。例如, 流线型物体、雕塑、品模具、人体器官等。这种技术在工程上正得到越来越广泛的应用。

传统设计所采用的方法主要是正向设计法, 这是一个从概念设计起步到 CAD 建模、数控编程、数控加工的过程, 产品造型设计的正向设计流程, 从功能与规格的预期指标确定开始, 构思产品的零组件需求, 再由各个元件的设计、制造以及检验零组件组装、检验整机组装、性能测试等程序来完成。逆向工程 (Reverse Engineering) 设计是现代外形 CAD 设计的重要组成部分, 也是计算机辅助几何造型设计 CAGD (Computer Aided Geometrical Design) 的主要方法和手段之一<sup>[1]</sup>。

【基金项目】衢州市科技计划指导性项目 (项目编号: 2020007; 2019009)。

【作者简介】周建锋 (1979-), 男, 中国浙江龙游人, 工程师, 从事数控技术应用与维护研究。

所谓 CAGD, 即主要研究工程中的几何造型问题, 它是对各种几何外形信息的计算机表示、分析和综合, 可分为曲面造型和实体造型, 其中曲面造型主要研究曲线曲面的表示方法和分析综合, 在外形几何设计中, 就是要建立全机几何外形的数学模型, 并通过计算机对其进行描述和控制。一方面, 按照产品引进、消化、吸收与创新的思路, 逆向工程技术原理“实物—原理—功能—三维重构—再设计”框架模型为工作过程, 为提高工程设计、加工、分析的质量和效率提供充足的信息; 另一方面, 为充分利用先进的 CAD/CAE/CAM 技术对已有的产品进行再创新工程服务, 逆向(反求)工程是产品正向设计有益的补充及验证、促进正向设计的必备手段<sup>[1]</sup>。

逆向工程设计就是通过对已有的产品零件、模线、样板进行测量, 得到一系列描述其型面的型值点, 再根据不同的数学方法, 使用软件中的曲面生成模块拟合出零件或主模型的型面, 并进行必要的光顺处理。逆向工程设计主要有以下作用:

- ①精确地逼近实物型面, 为下一步的曲面重构和计算机辅助制造(CAM)作准备;
- ②对已有零件的复制, 再现原产品的设计意图;
- ③可作为进行气动力分析、强度计算及建立电子样机的数据基础。

由于这种逆向工程设计一般是在先有零件或模型的基础上进行的, 是利用先进的计算机软件对零件表面参数化和数字化的处理, 使之由实物转化为数据的过程, 因此被称为逆向工程设计(如图1所示)。

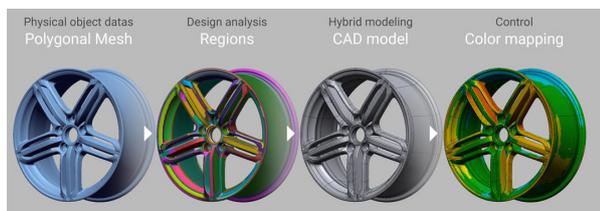


图1 汽车轮廓逆向仿真过程

充分利用逆向工程技术将零件图纸数据化, 使之符合现有的模线图样, 以完成下一步的优化设计及分析计算和校核。

## 2 逆向工程系统及应用情况

目前研究或应用中的系统可分以下几类:

- ①针对具体应用开发的系统开发了一种针对机械零件识别的逆向工程系统, 此系统只能识别由平面组成的零件。开

发了基于微机的逆向工程系统主要用于仿制空军部门淘汰的零件。

- ②专用曲面拟合软件系统曲面拟合是逆向工程的关键过程, 开发了拟合 3D 激光扫描数据的软件包, 数据点被交互的划分区域, 拟合曲面输入通用 CAD 系统进行相交、延伸、过渡、建立完整的 CAD 模型。此系统只处理标准的二次曲面。

- ③与商用 CAD 系统的结合有些系统直接把数字化系统与商用 CAD 系统结合, Kwok 开发的系统将 CMM 与 AutoCAD 结合起来, 每测一个点的坐标, 自动转化为 IGES 格式, 系统具有实时可视化功能。

- ④测量与拟合的集成, 以上系统中数字化与曲面拟合是两个分离的过程, 为了提高测量精度, 用拟合结果指导测量, 减少测量数据, 出现了测量与拟合的集成系统。Liang-Chia 提出的集成系统, 首先由用户交互地划分测量边界, 每个面片的测量中实时进行 B2 样条曲面拟合, 用拟合结果进行下一个测量点的位置预测, 用实测值与预测值的误差控制测量精度和拟合精度<sup>[2]</sup>。

- ⑤与快速原形制造的结合, 缩短产品制造的周期是逆向工程的目的之一, 近年来出现了数字化系统直接用于制造的逆向工程与快速制造的集成系统, Jones C 开发了由激光扫描结果产生螺旋线数控加工路径的系统。

## 3 逆向工程的一般步骤

逆向工程的一般步骤如图2所示。

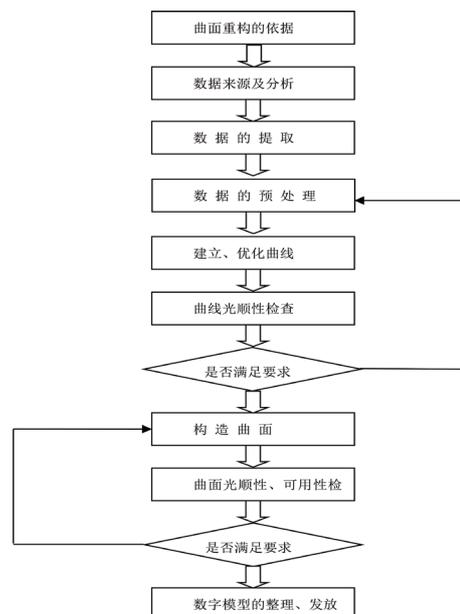


图2 逆向工程设计流程图

外形曲面重构是逆向工程的核心和主要目的,是依据得到的数据利用相关软件恢复曲面形状建立 CAD 数学模型的过程。在取得零件外形的数据后,以逆向工程软件进行数据的处理,经过分门别类、群组分隔、点线面生成、曲面误差的对比后,再重新构建曲面模型,重新构建的数字模型可以作为下游设计的依据、制造和 CAM (Computer-aided manufacturing) 加工。

### 3.1 逆向工程流程

由于外形曲面是由许多大小不等、形状各异的曲面拼接而成,从而导致其复杂性及曲率变化的不规则性,因此在构造这些曲面之前,就应先生成由型值点控制拟合、逼近和优化而成的高级曲线,然后根据不同的控制条件由曲线生成最终的理想曲面。逆向工程设计的流程图如图 2 所示。

### 3.2 曲面重构的数据来源及依据

外形曲面重构的数据来源主要有两方面:外形理论图中的数据和公式;通过实物或横线样板获得的测量数据(如图 3 所示)。

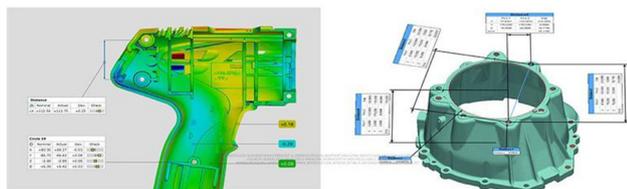


图 3 测量数据

在设计制造过程中,首先根据外形理论图绘制理论横线,而横线的绘制往往需要反复修改,且在很多情况下修改的结果未真实反映到理论图纸中。因此,当出现理论横线与外形理论图不一致时,应以理论横线为准;当理论横线与外形理论图一致时,可以根据外形理论图提取曲面重构所需的数据。理论横线是制造的原始依据。同时,也是逆向设计的协调依据。

### 3.3 曲面重构数据的提取及处理

如图 4 所示,  $f(x, y) = 0$  为位于任一截面的外形曲线,  $P_{i-1}(x_{i-1}, y_{i-1})$  和  $P_i(x_i, y_i)$  为已提取的数据点,  $P_{i+1}(x_{i+1}, y_{i+1})$  为待提取的下一个数据点。为保证数据点的近似均匀分布,预先确定一个弧长间隔  $\Delta S$  的点,即  $|P_{i+1} - P_i| = \Delta S$ 。将  $P_{i+1}$  的横坐标  $x_{i+1}$  取为  $x_{i+1}^*$ , 即  $x_{i+1} = x_{i+1}^*$ , 再由  $f(x, y) = 0$  确定其纵坐标  $y_{i+1}$ 。这样获得的各相邻数据点间的弧长接近定值,取点越密则数据点的分布越均匀。

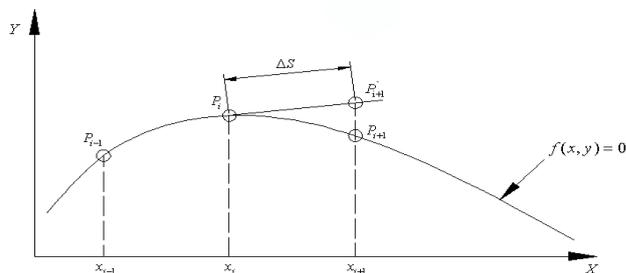


图 4 根据外形理论图提取数据信息

通过对原始数据的预处理,可以为下一步的曲线、曲面构造做好准备。一般预处理的过程如图 5 所示。

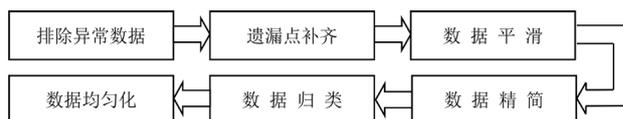


图 5 原始数据预处理过程

### 3.4 曲线的创建及质量控制

曲线是构成曲面的基础,曲线的创建原则应满足连续性要求,包括位置连续(G0)、切矢连续(G1)和曲率连续(G2),必要时可对数据点进行插值或拟合来改善曲线的光顺性<sup>[2]</sup>。在修改和调整曲线时要注意保持曲线端点的控制条件,这样才能保证曲面之间的光顺连接;通过分析曲线的曲率分布、曲线的光顺处理过程后,可以使曲线具有一致的保凸性,没有多余的拐点,即满足曲线变化均匀的要求<sup>[3]</sup>。

### 3.5 曲面的创建及质量控制

曲面的重建是逆向设计过程中最为关键的一步。目前,逆向工程中主要有三种构造曲面的方法:

- ①以 B-Spline 样条曲线或非均匀有理 B 样条曲线(NURBS 曲线)为基础的曲面构造方法;
- ②以三角 Bezier 曲面为基础的曲面构造方法;
- ③以多面体方式来描述曲面物体。

其中, NURBS 曲面构造方法有着突出的优点:可以精确地表示二次规则曲线曲面,能用统一的数学形式表示规则曲面和自由曲面;曲面的形状宜于修改和控制;可以准确表达多块曲面连接而成的复合曲面;相邻曲面之间可以达到 G2 连续等, NURBS 曲面的这些特性对建立高品质的曲面模型是非常重要的。

在生成合乎要求的曲线后,才可进行外形曲面的构造。为保证外形的简洁性,提高曲面设计质量,降低曲面偏差量,可以调整 U、V 参数方向的控制点坐标,增减曲面的数

量及改变曲面的造型方法等措施使曲面的偏差量控制在容许范围内。

### 3.6 曲面可用性检查

通过逆向得到的曲面,既要保证曲面质量,又要保证设计精度。除了对原始曲线进行检查、光顺外,还要控制修改后的数据点同原始数据点的坐标偏差,生成的各曲面之间应该有唯一的公共边界,并且均匀、连续过渡,曲面不应有局部凸出和凹陷,尽量避免微小曲面及非必要的曲面波动,最后还要通过等距面(OFFSET)检查外形曲面是否满足结构设计的可操作性要求等。

## 4 逆向工程技术的具体应用

### 4.1 某型进气道外形曲面的逆向建模

数字化设计/制造技术取代模拟量的标准样件/模线样板研制手段已是必然趋势。传统的外形设计方法,理论外形向下游各个专业传递的信息实质是曲线,因而对数学模型的整体曲面品质要求不是很高,而在全数字化的设计制造技术体系中,下游专业尤其是结构设计专业的设计基础是理论外形曲面,这样就对外形数学模型的曲面品质提出了很高的要求,如曲面过渡应当均匀、连续,满足结构设计的偏置、增厚等可操作性要求等。基于以模线样板为基础的模拟量传递的制造与协调体系,其对理论外形的定义是以曲线来描述纵、横向变化规律及曲线曲面的数学方程来定义的,在以模拟量传递为协调依据的上实施数字化定义技术,就是要沿用现行工装设备,建立与生产所用工艺装备协调一致、满足设计和生产需要的理论外形数字化模型。在实际工作中,充分利用了逆向工程技术,完成了某型进气道外形曲面的逆向建模。

### 4.2 进气道理论外形的数字化定义

建立外形数字化模型与现有理论模线图样的一致性,首先从模线图样上利用逆向设计可以得到进气道各切面的理论模线数据,经过数据的预处理,得到各框位及中间剖面的切面曲线,再利用这些曲线进一步生成进气道的理论外形数字模型<sup>[3]</sup>。由于原模线图样是手工绘制,又经过了测量误差,此时生成的进气道曲面品质非常差,光顺性和可操作性都难以满足实际使用要求。因此,必须对部分曲线进行光顺性处理,光顺处理后的曲线与原始曲线的误差要控制在工程可接受的范围内,而且还要对部分中间切面进行必要的取舍。最后用经过光顺处理和舍弃部分中间切面后的曲线生成的曲面能够满足光顺性和可操作性的要求。但是与原始模线图样的误差

情况还要通过绘制新的曲面截面进行对比检测。如果偏差较大,还要对所生成的曲面模型进行修形,然后再绘制再比较。这样通过对各框位及中间剖面数据与理论模线图样的对比,确定出曲线曲面的修形方向,如此反复迭代,在此基础上完成的进气道数字模型才能作为下游设计及制造的理论依据。

### 4.3 数字化模型的检验

完成进气道外形曲面的建模后,最后一步就是对曲面品质的检测,主要包括光顺性和重合度两个方面。但光顺性和重合度是相互矛盾的,保证曲面的光顺性往往就要牺牲重合度,如何把握曲面光顺性与重合度的最佳平衡点,需要外形设计人员在工作中不断地摸索,积累经验。

进气道曲面模型如图6所示,通过与模线纵横向的对比检验后,完全满足设计和制造要求。



图6 进气道数字化模型

## 5 结语

利用逆向设计完成外形曲面重构,其最终目的要保证建立的数字化模型符合模线图样。从数据点的提取到模型的建立,最关键的就是曲线的创建过程,因为曲线的好坏直接影响到曲面的品质要求,而且在实际的操作中,曲面的修改和调整是比较复杂和烦琐的,相比较而言曲线的修改就简单得多。因此,耐心仔细地构造出高质量的曲线对下一步曲面建立有着重要的作用。

随着逆向技术的不断应用,在上进行的改进改型工作将大大缩短设计周期,同时大幅度降低设计研制成本,而且数据精确唯一,易于修改,转换、取值方便,不受环境和时效的限制、影响,存在着明显的技术优势。

## 参考文献

- [1] 李美美,康玉辉,赵敬云.基于逆向工程的吸尘器接头创新设计[J].南方农机,2021,52(9):119-121.
- [2] 杨艳玲,张增强.计算机辅助设计类课程“课程思政”教学改革探析[J].计算机时代,2021(5):107-109+112.
- [3] 张姣姣.基于生态认知教育的校园景观设计——以校园生产性景观为例[J].设计,2021,34(9):64-67.