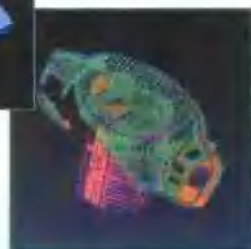


Reverse Engineering

逆向工程技术

金 涛 童水光 等编著
颜永年 主 审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

逆向工程技术

金涛 童水光 等编著
颜永年 主 审



机械工业出版社

随着现代计算机技术及测试技术的发展,利用 CAD/CAM 技术、先进制造技术来实现产品实物的逆向工程,已成为 CAD/CAM 领域的一个研究热点,并成为逆向工程技术应用的主要内容。本书根据国内外研究人员、技术人员及作者的研究成果写成。书中综合和归纳了逆向工程技术研究和应用的最新进展,较为详细地介绍了实物样件的数字化、数据处理、模型重建、应用系统等过程的理论基础、原理方法和技术状况,对组成逆向工程的系统及专用软件也作了介绍。在书中还尽量详尽地列出了国内外有关的参考文献和测量设备的生产厂商,各种逆向工程软件的技术特点和功能情况。

本书从逆向工程实际应用的要求出发,注重理论性和应用性的结合,面向工程应用,资料全、系统性强,可供企业工程技术人员参考或培训使用,也可作为高等工科院校的机械、电子、工业设计、CAD/CAM 等专业的教师、研究生和本科生的教材和参考书。

图书在版编目(CIP)数据

逆向工程技术/金涛等编著. —北京:机械工业出版社,
2003.8

ISBN 7-111-12449-9

I. 逆... II. 金... III. ①计算机应用—工业产品—设计②计算机应用—工业产品—制造 IV. TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 049765 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:李万宇 责任编辑:李万宇

封面设计:张静 责任印制:路琳

北京市樱花印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

2003 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

1 000mm × 1 400mm B5 · 12.625 印张 · 491 千字

0 001 ~ 4 000 册

定价:36.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话:(010) 68993821、88379646

封面无防伪标均为盗版

序

逆向工程的思想最初是来自从油泥模型到产品实物的设计过程。在 20 世纪 90 年代初,随着现代计算机技术及测试技术的发展,逆向工程发展为一项以先进产品、设备的实物为研究对象,利用 CAD/CAM 等先进设计、制造技术来进行产品复制、仿制乃至新产品开发的一种技术手段,其相关领域包括几何测量、图像处理、计算机视觉、几何造型和数字化制造等。除机械领域外,三维测量、模型重建技术还用于医学、地理、考古等领域的图像处理 and 模型恢复。

作为一种新产品开发和消化、吸收先进技术的重要手段,逆向工程的研究正受到各国工业和学术界的高度重视,一些重要的国际和国内的学术会议都将逆向工程及相关技术讨论作为一个重要的会议专题,如 Geometric Modeling and Processing Series、IEEE Transactions on Image Analysis and Modeling、SIGGRAPH 和 SPIE 等会议。著名的 CAD 杂志也在 1997 年编发了一个逆向工程的研究专集。从重要文献和会议情况看,国内外已形成了一批长期从事逆向工程研究的单位和个人,发表的文章也逐年递增,其研究方向已成为计算机辅助几何设计(CAGD)、CAD/CAM 等的一个相对独立和活跃的研究分支。

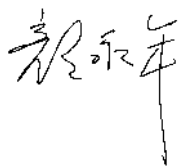
战后日本通过仿制美国及欧洲的产品,在采取各种手段获取先进的技术和引进技术的消化和吸收的基础上,建立了自己的产品创新设计体系,使经济迅速崛起,成为仅次于美国的制造大国。德国在 1998 年提出:“德国不能采用产品降价的办法来提高竞争力,而是要通过持续地创新出其他国家没有的产品来提高竞争力”。

中国是一个制造大国,能够制造出很多高质量的机电产品,但在这些产品中鲜有自己的技术,也没有自己的知识产权。实事求是地说,我们在相当长的时期里还不具备创新能力,在这个阶段更多的是学习和模仿,积累自己的经验,为今后的创新打下坚实的基础。因此,通过逆向工程,在消化、吸收先进技术的基础上,建立和掌握自己的产品开发设计技术,进行产品的创新设计,即在 copy 的基础上进行改进进而创新,这是提升我国制造业的必由之路。实际上任何产品问世,不管是创新、改进还是仿制,都蕴涵着对已有科学、技术的继承和应用借鉴。逆向工程通过重构产品零件的 CAD 模型,

可对原型进行修改和再设计，这为产品的再设计以及创新设计提供了数字原型，各种先进的计算机辅助技术手段也为此提供了强有力的支持。

尽管逆向工程技术已经取得应用，但这项技术在理论研究和技术应用方面仍存在许多需要解决的问题。结合作者的研究，本书总结了国内外逆向工程研究及应用的成果，根据逆向工程的工作流程，较全面地介绍了逆向工程数字化技术、模型重建技术和专用逆向软件的理论和方法，作为一种学术思想，作者还探讨了基于逆向工程的产品创新设计的模型与方法，这将推动逆向工程技术在我国的研究与应用，使逆向工程技术成为一种可接受的、成熟的产品开发模式和技术手段。

本书的编著和出版是一件有意义的工作，从本书读者可以获取知识、开拓思路，可以了解国内外逆向工程的研究状况、技术水平和技术研究中有代表性的研究方向，为进一步开发研究提供重要借鉴。希望读者在实践中不断发现、提出和解决问题，以提高我国逆向工程技术的研究与应用水平。



清华大学机械工程系 教授
中国机械工程学会 理事
2003.2.18

前言

逆向工程技术 (Reverse Engineering, RE), 也称反求工程、反向工程等, 它的思想最初是来自从油泥模型到产品实物的设计过程, 随后发展形成一项以先进产品、设备的实物、样件、软件 (包括图样、程序、技术文件等) 或影像 (图像、照片等) 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系统分析和研究、探索掌握其关键技术, 进而开发出同类的更为先进的产品的技术。作为消化吸收先进技术的一种手段, 在 20 世纪 90 年代初, 逆向工程技术开始引起各国工业界和学术界的高度重视, 特别是随着现代计算机技术及测试技术的发展, 利用 CAD/CAM 技术、先进制造技术来实现产品实物的逆向工程, 已成为逆向工程技术应用的主要内容。

作为研究对象, 产品实物是面向消费市场最广、最多的一类设计成果, 也是最容易获得的研究对象; 另外, 在产品开发和制造过程中, 虽已广泛使用了计算机几何造型技术, 但仍有许多产品, 由于种种原因, 最初并不是由计算机辅助设计模型描述的, 设计和制造者面对的是实物样件。为了适应先进制造技术的发展, 需要通过一定途径将实物样件转化为 CAD 模型, 以期利用计算机辅助技术、快速原型制造和快速模具、产品数据管理及计算机集成制造系统等先进技术对其进行处理或管理。目前, 这种从实物样件获取产品数学模型并制造得到新产品的相关技术, 已成为 CAD/CAM 系统中的一个研究及应用热点, 并发展成为一个相对独立的领域。在这一意义下, 本书所讨论的“逆向工程”可定义为: 逆向工程是和将实物转变为 CAD 模型相关的数字化技术、几何模型重建技术和产品制造技术的总称。

工业产品设计需要 copy, 目前基于实物的逆向工程应用最广的是进行产品复制和仿制, 尤其是外观设计产品, 因为不涉及到复杂的动力学分析、材料加工、热处理等技术难题, 相对容易实现。目前基于 CAD/CAM 系统的数字扫描技术为实物逆向工程提供了有力的支持, 在进行数字化扫描、完成实物的 3D 重建后, 通过 NC 加工就能快速地制造出模具, 最终注塑得到所需的产品。这个过程已成为我国沿海地区许多家用电器、玩具、摩托车等产品企业的产品开发及生产模式, 但在这些产品中鲜有自己的技术。实事求是地说, 我们在相当长的时期里还不具备创新能力, 在这个阶段更多的是学

习和模仿, 积累自己的经验, 为今后的创新打下坚实的基础。因此, 通过逆向工程技术, 在消化、吸收先进技术的基础上, 建立和掌握自己的产品开发设计技术, 进行产品的创新设计, 即在 copy 的基础上进行改进进而创新, 是提升我国制造业的必由之路。

实际上任何产品问世, 不管是创新、改进还是仿制, 都蕴涵着对已有科学、技术的继承、应用和借鉴。逆向工程通过重构产品零件的 CAD 模型, 可对原型进行修改和再设计, 这为产品的再设计以及创新设计提供了数字原型, 各种先进的计算机辅助技术手段为此提供了强有力的支持。

尽管逆向工程技术已经取得应用, 并取得了巨大的成功, 但这项技术在理论研究和技术应用方面仍存在许多需要解决的问题。为推动逆向工程技术在我国的研究与应用, 给相关学科的教师、研究生、本科生、企业技术人员、管理和决策人员提供一本全面、系统地介绍逆向工程技术及其最新研究进展的教材和参考书, 帮助读者快速掌握所需的理论和技术资料, 我们编写了这本《逆向工程技术》。

本书结合国内外研究成果系统地介绍了实物原形的 3D 数据的获取、数据处理、模型重建、逆向工程系统和软件等逆向工程技术和应用, 注重理论性和实用性的结合, 可作为从事逆向工程研究及应用的专业技术人员的参考书, 也可作为逆向工程课程的教学参考书和技术培训教材。

本书内容共分 9 章, 第 1 章是概论, 介绍了逆向工程的概念、系统组成、工作过程、应用范围和发展研究现状; 第 2 章介绍了实物样件的数字化技术, 主要介绍了应用较广的三坐标测量机的结构原理、测量路径规划技术和生产厂商的情况; 第 3 章是关于数据处理技术, 介绍了不同数据类型的预处理技术、数据分割技术、对接触式测量数据的不同的测头半径补偿方法, 以及多视测量数据重定位对齐整合方法; 第 4 章讨论三维模型重建方法, 分别介绍了曲线、曲面的参数表示、B 样条表示的理论基础、曲线、曲面的插值和最小二乘拟合方法, 以及一种模型网格化简化(优化)方法, 最后讨论了重建模型的精度评价方法; 第 5 章探讨了基于几何特征及约束的模型重建方法; 第 6 章介绍了快速成型技术, 包括快速成型原理、方法和应用, 重点介绍了快速模具制造方法和基于 RE/RP 的远程模具制造服务系统的框架、流程及实现方式; 第 7 章提出了集成逆向工程系统的概念、框架结构和关键技术, 介绍了基于测量数据的 NC 代码直接生成和 STL 文件转换方法, 探讨了一种利用数据转换器与商用逆向软件实现集成的方法; 第 8 章讨论基于逆向工程的创新设计问题, 介绍了机械产品创新设计的概念、分类及方法, 探讨了支持外观结构创新设计的逆向工程的模型组织、结构及建模方法; 第 9 章详细地介绍目前流行的专用逆向软件的功能特点和技术特征。

本书由浙江大学的金涛博士主笔，童水光教授编写了第1章第1、2、3、4节；其他参加编写的人员还有昆明理工大学的胡明辅教授（第2章第6节）、浙江大学的单岩副教授（第7章第4节）、匡继勇副教授（第4章第5节）、张志新博士（第7章第3节）；浙江大学化机CAD室的陈建良博士、胡雪芬硕士、单新朝硕士等为本书做了许多辅助工作；清华大学的颜永年教授百忙之中对本书进行了认真的审阅并提出许多宝贵的建议；高等学校博士学科点专项科研基金和云南省自然科学基金为有关专题的研究与出书提供了支持；书中的部分内容还援引和介绍了国内外广大研究工作者的成果、观点和方法；最后本书的出版得到了机械工业出版社的大力支持。在此一并致谢！

虽然我们尽了最大努力，由于篇幅所限，仍有一些重要的研究和技术没有介绍到，如三角曲面构建技术等，更由于作者学习、研究和应用逆向工程的时间较短，限于作者的水平和经验，书中的缺点和错误在所难免，敬请广大读者和专家批评、指正和帮助。

作者（cejintao@zju.edu.cn）

2003年2月于求是园

目 录

序

前言

第1章 绪论 1

1.1 概述 1

1.2 逆向工程定义 1

1.3 逆向工程与技术引进 2

1.4 逆向工程的应用 3

1.5 有关技术及研究的简要回顾 4

1.5.1 逆向工程系统组成 4

1.5.2 数字化方法与技术 5

1.5.3 CAD 模型重建技术 9

1.5.4 曲面造型技术 10

1.5.5 逆向工程曲面造型方法 12

1.5.6 模型评价问题 17

1.5.7 逆向 CAD/CAE/
CAM 软件 19

1.5.8 逆向工程技术
存在的问题 23

1.6 本书结构 24

第2章 逆向工程测量技术 26

2.1 概述 26

2.2 三坐标测量机 26

2.2.1 三坐标测量机的原理 27

2.2.2 三坐标测量机的组成 27

2.2.3 三坐标测量机的类型 29

2.2.4 三坐标测量机主机 30

2.2.5 三坐标测量机控制系统 31

2.2.6 三坐标测量机测头 33

2.2.7 三坐标测量机测头附件 42

2.2.8 三坐标测量机测量软件 43

2.3 路径规划与自动测量技术 46

2.3.1 测量路径的几种生成方法 46

2.3.2 测量路径规划与
自动测量技术 47

2.4 三坐标测量机主要生产
商及市场状况 53

2.5 三坐标测量机的发展趋势 60

2.6 断层数据测量方法 62

小结 65

第3章 测量数据处理技术 67

3.1 概述 67

3.2 测量数据格式转换 67

3.2.1 CAD/CAM 数据转换标准 67

3.2.2 IGES 标准 68

3.3 测量数据测头半径补偿方法 71

3.3.1 微平面法 72

3.3.2 三点共圆法 72

3.3.3 拟合补偿方法 73

3.3.4 直接计算法 78

3.3.5 三角网格法 80

3.4 数据预处理 83

3.4.1 异常点(误差点)处理 84

3.4.2 数据插补 85

3.4.3 数据平滑 86

3.4.4 点云处理方法 87

3.5 数据分割技术	95	4.5 模型精度评价	169
3.5.1 基于参数二次曲面逼近 的数据分割方法	95	4.5.1 误差模型	170
3.5.2 散乱数据点自动 分割方法	101	4.5.2 模型精度评价及 量化指标	172
3.5.3 CT 数据分割方法	105	4.5.3 控制误差提高精度 的策略	176
3.6 多视数据对齐定位 (数据统一)	112	小结	178
3.6.1 对齐问题提出	112	第5章 基于特征约束的 模型重建方法	180
3.6.2 对齐方法研究	113	5.1 概述	180
3.6.3 基于三个基准点的 对齐方法	120	5.2 几何特征及约束定义	180
3.6.4 多视数据统一	123	5.2.1 几何特征组成、 分类及数学表示	181
3.6.5 多视数据对齐 的误差分析	125	5.2.2 特征模型	182
小结	127	5.2.3 约束定义、分类及 数学表示	183
第4章 模型重建技术	128	5.3 特征识别及数据分割	184
4.1 概述	128	5.3.1 基于特征的模型 数字化方法	184
4.2 曲线拟合造型	129	5.3.2 数据处理	184
4.2.1 曲线拟合(插值 与逼近)概念	129	5.3.3 表面棱线特征抽取 和数据分割	185
4.2.2 参数曲线、曲面 插值与逼近	130	5.3.4 曲面特征	187
4.2.3 B 样条曲线插值与逼近	135	5.4 基本几何特征的拟合	194
4.2.4 曲线编辑	140	5.5 约束识别及确定	200
4.2.5 基于曲线的曲面片重建	142	5.6 模型重建过程的约束处理	200
4.3 曲面片直接拟合造型	144	5.6.1 约束模型建立	200
4.3.1 基于有序点的 B 样条曲面插值	144	5.6.2 约束求解	202
4.3.2 B 样条曲面逼近	149	5.7 自由曲面特征 识别及重建	203
4.3.3 对任意测量点的 B 样条曲面逼近	150	5.7.1 放样(Loft)曲面 重建方法	204
4.3.4 曲面编辑	158	5.7.2 扫掠(Sweep)曲面 重建方法	210
4.4 点数据网格化	161		

5.7.3 旋转 (Revolute) 曲面 重建方法	216	7.2.6 面向集成的模型 表达与重建	277
5.8 三维对称平面特征重建方法	222	7.2.7 模型分析及评价	281
5.8.1 原理及算法	223	7.2.8 面向集成的逆向 制造技术	281
5.8.2 算法讨论	225	7.3 集成逆向工程系统 的实现方法	283
5.8.3 基于对称平面 的模型重建	227	7.4 面向集成的逆向工程 数据前处理系统	283
小结	229	小结	285
第 6 章 快速原型和快速模具技术	230	第 8 章 逆向工程与产品创新设计	286
6.1 概述	230	8.1 概述	286
6.2 快速原型制造技术的概念	230	8.2 产品设计与创新设计	287
6.3 快速原型制造技术的发展	231	8.2.1 产品设计理论	287
6.4 快速原型制造工艺的种类	233	8.2.2 产品创新设计	289
6.5 快速原型制造技术 的发展趋势	234	8.2.3 机械产品创新设计内容、 特点及理论体系	291
6.6 快速模具制造技术	239	8.3 计算辅助产品创新 设计方法	293
6.6.1 模具 CAD/CAM 技术	239	8.3.1 产品创新设计过程 的计算模型	293
6.6.2 快速模具制造技术	242	8.3.2 面向产品创新设计 的 CAD 方法	301
6.6.3 基于逆向工程的 模具制造技术	250	8.4 支持产品创新设计的 逆向工程的模型组织、 结构及建模方法	308
6.6.4 远程快速模具制造技术	250	8.4.1 支持逆向创新设计的 产品模型组织、结构	309
小结	254	8.4.2 支持创新的 逆向建模方法	314
第 7 章 集成逆向工程系统	255	小结	316
7.1 概述	255	第 9 章 商用逆向软件介绍	317
7.2 集成逆向工程系统框架	256	9.1 概述	317
7.2.1 集成逆向工程 系统的特点	256	9.2 Imageware 软件	317
7.2.2 集成逆向工程系统框架	257		
7.2.3 面向集成的实物 数字化技术	258		
7.2.4 基于测量数据的 NC 代码直接生成方法	260		
7.2.5 基于测量数据的 STL 文件直接生成方法	271		

9.2.1 Surface	318	9.8 Paraform 软件	342
9.2.2 Verdict	324	9.8.1 Paraform 概况	342
9.3 PTC 公司软件	325	9.8.2 Paraform (V3.0) 技术特征	342
9.3.1 ICEM Surf	325	9.8.3 Paraform Inspect 软件	345
9.3.2 SCAN-TOOLS	328	9.8.4 Paraform PolySurf 软件	346
9.3.3 CDRS	331	9.8.5 Paraform 软件模块	347
9.4 DELCAM 公司软件	334	9.8.6 Paraform Viewer 软件	347
9.4.1 CopyCAD	334	9.8.7 Points2Polys 软件	348
9.4.2 PowerINSPECT 软件	336	9.9 SurfaceStudio 软件	348
9.5 UG/Quick Shape 软件	337	9.9.1 SurfaceStudio 概况	348
9.6 Surface Reconstruction 软件	338	9.9.2 SurfaceStudio 的 技术特征	349
9.6.1 Surface Reconstruction 概况	338	9.10 RapidForm 软件	352
9.6.2 Surface Reconstruction 技术特征	338	9.10.1 RapidForm 概况	352
9.7 Geomagic Studio 软件	339	9.10.2 RapidForm 功能模块	353
9.7.1 Geomagic Studio 软件概况	339	9.10.3 RapidForm 的特点	354
9.7.2 Geomagic Studio 工作流程	340	9.11 GRADE 软件	355
9.7.3 Geomagic Studio 技术特征	340	9.12 Mimics 软件	356
		小结	357
		参考文献	358

第 1 章 绪 论

1.1 概述

作为产品设计制造的一种手段,在 20 世纪 90 年代初,逆向工程技术开始引起各国工业界和学术界的高度重视,从此以后,有关逆向工程技术的研究与应用就一直受到政府、企业 and 个人的关注,特别是随着现代计算机技术及测试技术的发展,利用 CAD/CAM 技术、先进制造技术来实现产品实物的逆向工程,已成为 CAD/CAM 领域的一个研究热点,并成为逆向工程技术应用的主要内容。

本章介绍逆向工程的定义、逆向工程的应用范围和研究内容,最后给出本书的内容及结构。

1.2 逆向工程定义

“逆向工程”(Reverse Engineering, RE),也称反求工程、反向工程等。逆向工程起源于精密测量和质量检验,它是设计下游向设计上游反馈信息的回路。

传统的产品实现通常是从概念设计到图样,再制造出产品,我们称之为正向工程(或顺向工程),而产品的逆向工程是根据零件(或原型)生成图样,再制造产品。它是一种以先进产品设备的实物、样件、软件(包括图样、程序、技术文件等)或影像(图像、照片等)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系统分析和研究、探索掌握其关键技术,进而开发出同类的更为先进的产品的技术,是针对消化吸收先进技术采取的一系列分析方法和应用技术的结合。广义的逆向工程包括形状(几何)逆向、工艺逆向和材料逆向等诸多方面,是一个复杂的系统工程。

目前,大多数有关“逆向工程”技术的研究和应用都集中在几何形状,即重建产品实物的 CAD 模型和最终产品的制造方面,称为“实物逆向工程”。这是因为一方面,作为研究对象,产品实物是面向消费市场最广、最多的一类设计成果,也是最容易获得的研究对象;另一方面,在产品开发和制造过程中,虽已广泛使用了计算机几何造型技术,但是仍有许多产品,由于种种原因,最初并不是由计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)模型

描述的,设计和制造者面对的是实物样件。为了适应先进制造技术的发展,需要通过一定途径将实物样件转化为 CAD 模型,以期利用计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacture, CAM)、快速原型制造和快速模具 (Rapid Prototyping Manufacture/Rapid Tooling, RPM/RT)、产品数据管理 (Product Data Management, PDM) 及计算机集成制造系统 (Computer Integrate Manufacture System, CIMS) 等先进技术对其进行处理或管理。同时,随着现代测试技术的发展,快速、精确地获取实物的几何信息已变成现实。目前,这种从实物样件获取产品数学模型并制造得到新产品的相关技术,已成为 CAD/CAM 系统中的一个研究及应用热点,并发展成为一个相对独立的领域。在这一意义下,“实物逆向工程”(简称逆向工程)可定义为:逆向工程是和将实物转变为 CAD 模型相关的数字化技术、几何模型重建技术和产品制造技术的总称,本书所指的逆向工程即指这一概念。

1.3 逆向工程与技术引进

市场全球化使国家、企业面临的竞争日趋激烈,市场经济竞争机制已渗透到各个领域,随着科学技术的高度发展,科技成果的应用已成为推动生产力发展和社会进步的重要手段。如何更快、更好地发展科技和经济,世界各国都在研究对策,充分利用别国的科技成就加以消化吸收与创新,进而发展自己的技术已成为普遍的手段。事实证明,技术引进是吸收国外先进技术,促进民族经济高速度增长的战略措施,据有关统计资料表明,各国百分之七十以上的技术都是来自外国,要掌握这些技术,正常的途径都是通过逆向工程。实际上任何产品问世,不管是创新、改进还是仿制,都蕴涵着对已有科学、技术的继承、应用和借鉴。

引进技术的应用和开发一般分为三个阶段:

(1) 使用阶段:对引进的生产设备等硬件技术会操作、使用、维修,在生产中发挥作用。对图样、生产工艺等软件应通过加工和生产实践的应用了解其特点及不足之处,即做到“知其然”。

(2) 消化阶段:对引进产品或设备的设计原理、结构、材料、工艺、生产管理方法等进行深入的分析研究,用科学的设计理论和测试手段对其性能进行计算测定,了解其原料配方、工艺流程、技术标准、质量控制、安全保护等技术,特别是掌握产品的关键技术,即做到“知其所以然”。

(3) 创新阶段:对引进技术消化综合,博采众家之长,结合深入的科学研究,通过移植、综合、改造等手段,开发具有本国特色的创新技术,并争取进一步实现某些技术从输入到输出的转化。

由于技术保密,除非购买转让,否则要获得产品的图样、技术文档、工艺等技术资料几乎是不可能实现的,而产品实物作为商品和最终的消费品,是最容易获得的一类“研究”对象。在只有产品原型或实物模型条件下,可以基于产品实物逆向工程对产品零件进行生产制造,除实现对原型的仿制外,通过重构产品零件的 CAD 模型,在探询和了解原设计技术的基础上,实现对原型的修改和再设计,以达到设计创新、产品更新之目的。对于其他具有复杂曲面外形的零部件,逆向工程更成为其主要的设计方式,如汽车、摩托车的外形覆盖件,通常由艺术家制作 1:1 的木或陶土模型,然后测量表面数据输入计算机,进行造型、修改、完善,最后经 CAM 完成模具。

1.4 逆向工程的应用

在制造业领域内逆向工程有广泛的应用背景。在下列情形下,需要将实物模型转换为 CAD 模型:

(1) 尽管计算机辅助设计技术(CAD)发展迅速,各种商业软件的功能日益强大,但目前还无法满足一些复杂曲面零件的设计需要,还存在许多使用粘土或泡沫模型代替 CAD 设计的情况,最终需要运用逆向工程将这些实物模型转换为 CAD 模型。

(2) 外形设计师倾向使用产品的比例模型,以便于产品外形的美学评价,最终可通过运用逆向工程技术将这些比例模型用数学模型表达,通过比例运算得到美观的真实尺寸的 CAD 模型。

(3) 由于各相关学科发展水平的限制,对零件的功能和性能分析,还不能完全由 CAE 来完成,往往需要通过实验来最终确定零件的形状,如在模具制造中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。若将最终符合要求的模具测量并反求出其 CAD 模型,在再次制造该模具时就可运用这一模型生成加工程序,就可大大减少修模量,提高模具生产效率,降低模具制造成本。

(4) 目前国内,由于 CAD/CAM 技术运用发展的不平衡,普遍存在这样的情况:在模具制造中,制造者得到的原始资料为实物零件,这时为了能利用 CAD/CAM 技术来加工模具,必须首先将实物零件转换为 CAD 模型,继而在 CAD 模型基础上设计模具。

(5) 艺术品、考古文物的复制。

(6) 人体中的骨头和关节等的复制、假肢制造。

(7) 特种服装、头盔的制造要以使用者的身体为原始设计依据,此时,需首先建立人体的几何模型。

(8) 在 RPM 的应用中, 逆向工程的最主要表现为: 通过逆向工程, 可以方便地对快速原型制造的原形产品进行快速、准确的测量, 找出产品设计的不足, 进行重新设计, 经过反复多次迭代可使产品完善。

1.5 有关技术及研究的简要回顾

1.5.1 逆向工程系统组成

图 1-1 是逆向工程的工作流程图。从图 1-1 的逆向工程流程看出, 逆向工程系统主要由三部分组成: 产品实物几何外形的数字化、CAD 模型重建、产品或模具制造。组成系统的设备软件主要包括:

1. 测量机与测量探头

测量机+测量探头是进行实物数字化的关键设备。测量机有三坐标测量机、多轴专用机、多轴关节式机械臂等; 测量探头分接触式(触发探头、扫描探头)和非接触式(激光位移探头、激光干涉探头、线结构光及 CCD 扫描探头、面结构光及 CCD 扫描探头)两种。

2. 数据处理

由坐标测量机得到的外形点数据在进行 CAD 模型重建以前必须进行格式转换、噪声滤除、平滑、对齐、归并、测头半径补偿和插值补点等数据处理。

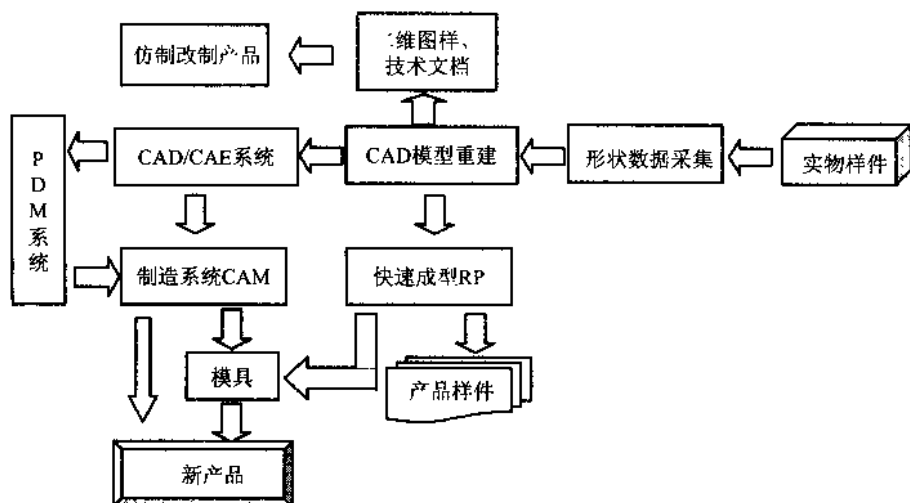


图1-1 逆向工程流程图

3. 模型重建软件 (CAD/CAM)

模型重建软件包括三类, 一是用于正向设计的 CAD/CAE/CAM 软件,

如 Solidworks、I-deas、GRADE 等,但数据处理和逆向造型功能有限;二是集成有逆向功能模块的正向 CAD/CAE/CAM 软件,如集成有 SCAN-TOOLS 模块的 Pro/Engineer、集成有点云处理和曲线、曲面拟合、快速造型功能的 UGII 和 STRIM100 等;三是专用的逆向工程软件,如 Imageware、Paraform、Geomagic 等。除此之外,有较高要求的还包括产品数据管理(PDM)等软件。支撑软件的硬件平台有个人计算机和 workstation。

4. CAE 软件

计算机辅助工程分析,包括机构运动分析、结构仿真、流场及温度场分析等。目前较流行的分析软件有 Ansys、Nastran、I-deas、Moldflow、ADMAS 等。

5. CNC 加工设备

各种 CNC 加工设备进行原型和模具制作。

6. 快速成型机

产生模型样件,按制造工艺原理分有立体印刷成型、层合实体制造、选域激光烧结、熔融沉积造型、三维喷涂粘结、焊接成型和数码累积造型等方法。

7. 产品制造设备

各种注塑成型机、轧出机、钣金成型机等。

1.5.2 数字化方法与技术

实物零件的数字化是通过特定的测量设备和测量方法获取零件表面离散点的几何坐标数据。只有获得了样件的表面三维信息,才能实现复杂曲面的建模、评价、改进、制造。因而,如何高效、高精度地实现样件表面的数据采集,一直是逆向工程的主要研究内容之一。一般说来,三维表面数据采集方法可分为接触式数据采集和非接触式数据采集两大类,接触式有基于力—变形原理的触发式和连续扫描式数据采集和基于磁场、超声波的数据采集等。而非接触式主要有激光三角测量法、激光测距法、光干涉法、结构光学法、图像分析法等,见表 1-1。另外,随着工业 CT 技术的发展,断层扫描技术也在逆向工程取得了应用。

表 1-1 实物数字化方法

数据获取方法											
接触方法				非接触方法							其他
机器人	CMMs	声波	电磁	光学					声波	电磁	层析法
				三角测量	距离	结构光	干涉	图像分析			