

工程训练·工程实践

逆向工程技术 及其应用

王 霄 主 编 ●
刘会霞 梁佳洪 副主编 ●



化学工业出版社
教材出版中心

工程训练·工程实践

逆向工程技术及其应用

王霄 主编

刘会霞 梁佳洪 副主编

蔡兰 主审



化学工业出版社
教材出版中心

· 北京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

逆向工程技术及其应用/王霄主编. —北京: 化学工业出版社, 2004. 7
(工程训练·工程实践)
ISBN 7-5025-5820-9

I. 逆… II. 王… III. 计算机辅助技术-应用
软件 IV. TP391.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 076102 号

工程训练·工程实践
逆向工程技术及其应用

王霄 主编

刘会霞 梁佳洪 副主编

蔡兰 主审

责任编辑: 刘俊之 陈 丽 王 斌

责任校对: 陈 静 李 军

封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
[http:// www. cip. com. cn](http://www.cip.com.cn)

*

新华书店北京发行所经销
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 21¼ 字数 397 千字

2004 年 9 月第 1 版 2004 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-5820-9/TB·51

定 价: 38.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

工程训练·工程实践

编委会主任 杨继昌

编委会副主任 袁银南 戈晓岚

编委会委员 杨继昌 袁银南

肖田元 梅 强

张永康 卢章平

陆一心 李金伴

戈晓岚 马汉武

序

人类进入 21 世纪前后,以信息技术为重要标志的高新技术的飞速发展,正在改变着人类的社会、经济和生活方式。“天翻地覆慨而慷”,世界范围内的激烈竞争,已越来越明显地表现为人才的竞争,特别是创新人才的竞争。1998 年 10 月,联合国教科文组织在巴黎召开了首届世界高等教育大会,会议达成了共识:高等教育的根本使命是促进社会的可持续发展与进步。目前,教育开始求新求变,要求坚持以人为本,更具有前瞻性。对学生的人文素质、科学素质、实践能力和创新能力的培养更显重要。

“问渠哪得清如许,为有源头活水来。”技术是工程的基础,科学是技术的源泉,科学技术相互支持,但直接作用于生产实际的是技术。因此,面向经济建设要高度重视工程人才的培养,高度重视工程教育,要努力加速建立科学、技术、经济和管理相结合的工程教育体系,强化工程意识,重组工程训练,提高工程素质,培养创新精神、创新人格和实践能力,以实现知识创新、技术创新、管理创新和市场开拓型的工程人才培养。

近年来,尽管各国的国情不同,面临的问题也不同,在工程教育的体制和运作上互有差异,但对工程教育的认识、做法和发展方向上都强调“综合、创造、实践”,强调“工程教育工程化”、“工程教育为工程实际服务”、强调人文关怀、创新精神、实践能力和工程师素质的培养。

另一方面,我国加入世界贸易组织后,对外开放更将进一步扩大,中国将更加深入地参与国际分工,越来越多的产品将打上“中国制造”,制造业是工业的主体,装配制造业是制造业的核心。没有装配制造业就没有制造,没有制造就没有获得物质财富的基本手段。制造首先要依靠直接从事制造的技能人才。从而,培养“中国制造”的技能人才就成为关键。我国已经成为了一个高级蓝领即银领制造业人才稀缺的国家。

我国“十五”计划提出,要在 5 年内将职工中的高级技能人才的比例提高到 20%。一个合格的银领人才应当具备比较深厚的理论基础与相当丰富的实际经验,并能够针对生产第一线的实际需要,具备很强的技术革新、开发攻关、项目改进的能力。这种人才应具有高度的责任感,不但关心产品,更加懂得团结人、关怀人;不仅是某些关键生产环节中的操作者,还是整个生产环节的组织者;同时还能高度关怀、有效带动和组织协调其他技术人员一起动手进行应有的技术攻关,把优秀的设计变成一个高质量的产品。

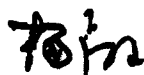
针对工程人才的需求,江苏大学工业中心组织编写了工程训练·工程实践系列图书,希望成为联接科学、教育与工程技术、生产实际的桥梁之一。在本系列图书规划过程中,作者针对“各种技能对工作的重要性”,对相关企业和历届毕业生进行了调查,证实在工业生产中,对技术交流、设计制造、工程经济、项目管理、质量控制、计算机等技能均有较高的要求。

本系列图书以工程类本科生(尤其是高职学生)和制造业银领的培训为对象,包括机、电、管三个领域。在内容上注重实践性、启发性、科学性,强调诸如制造、环境影响、质量、商务和经济等工程实践的多重功能。从当前工程人才的素质需求和实际出发,努力做到理论与实践并重,理论与实际相结合,基本概念清晰,重点突出,简明扼要,深入浅出,通俗易懂,以现代工程训练为特色,重视能力培养,面向生产实际,并考虑与国际教育交流,反映新技术、新工艺、新材料的应用和发展。

本套丛书的编写是适应我国制造业发展形势,在教育上的一个创新,值得鼓励。由于是一个创新,其中就不会没有问题,没有不足之处。我与编者的心情一样,希望读者能及时指出其中的问题与不足之处,有助于本系列图书不断改进,编者的水平不断提高。

谨以为序。

中国科学院院士
华中科技大学教授



2004年4月

前 言

作为消化、吸收先进技术的一种手段,需要将实物样件或手工模型转化为 CAD 数据,以便利用快速成形系统 (Rapid Prototyping, RP)、计算机辅助制造 (Computer Aided Manufacture, CAM) 系统、产品数据管理 (Product Data Management, PDM) 等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:从样品到数据再到产品。逆向工程就专门为制造业提供了一个全新、高效的重构手段,实现从实际产品/模型到几何模型的直接转换。逆向工程技术作为产品设计制造的一种手段,在 20 世纪 90 年代初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、企业和个人的关注,特别是随着现代计算机技术及测量技术的发展,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。

逆向工程技术现已广泛地用于产品的复制、仿制、改进及创新设计。利用逆向工程技术,可以直接在已有先进的国内外产品基础上进行结构性能分析、设计模型的重构、再设计优化与制造,吸收并改进国内外先进的产品和技术,极大地缩短产品开发周期,更重要的是可以快速赶上世界先进生产技术水平,有效地占据市场,领导技术前沿。

现代逆向工程技术除广泛应用在汽车工业、航空航天工业、机械工业、消费性电子产品等几个传统应用领域外,也开始应用于立体动画、多媒体虚拟实境、广告动画、文物及艺术品的仿制与破损的修复等领域。另外,在医学科技,如人体中的骨头和关节等的复制、假肢制造、人体外形量测、医疗器材制作等方面,也有其应用价值。

当前,企业界对逆向工程技术人员的需求量越来越大,而目前国内有关逆向工程技术及实际应用的书籍较少,本书正是针对这种状况而编写的。本书按逆向工程工作流程首先讲述了逆向工程数字化测量系统与方法、点云数据预处理、三维模型重构、逆向工程系统等,使读者清楚了解逆向工程技术实施的路线、关键技术,为全面应用打下坚实的基础。然后重点讲解了著名逆向工程软件 Imageware,这部分内容从实用角度出发介绍了 Imageware 一般流程、功能模块、

常用命令、曲线曲面基础、对齐与定位、大量典型范例与实用技巧，最后以汽车仪表板为综合实例讲述了汽车仪表板的逆向工程开发过程。

本书突出逆向工程应用性人才工程素质培养要求，系统性、实用性强，是作者从事逆向工程实施与应用的经验总结。本书可作为高等院校理工科本科生、高等职业技术学院的专门人才的教材、培训教程或参考书，同时可作为广大从事逆向工程方面的技术人员的自学参考书。

本书由王霄主编，刘会霞、梁佳洪副主编。其中，第1章、第3~5章由王霄编写，第2章、第6~8章由刘会霞编写，第9~12章由梁佳洪编写。全书由蔡兰主审。

本书编写过程中得到了台湾马路科技顾问有限公司陈文贤、萧伟镇、章金星、李荣华先生及宝力机械有限公司（上海）唐建树先生的大力支持，并提供了相关的技术资料。研究生吴勃、邓志华、刘东雷、朱显锋为本书做了许多辅助工作。化学工业出版社的有关工作人员也对本书出版做了大量工作，在此一并向他们表示衷心感谢。

由于时间紧迫，水平与经验有限，书中难免有不足之处，恳请读者不吝赐教。

编者

2004年5月

内 容 提 要

本书首先讲述了逆向工程的内涵及应用领域、逆向工程测量系统与方法、点云数据预处理、三维模型重构、逆向工程系统等逆向工程理论基础,然后重点讲解了著名逆向工程软件 Imageware,主要内容有:Imageware 一般流程、功能模块、常用命令、曲线曲面基础、对齐与定位以及大量典型范例与实用技巧,最后以汽车仪表板为综合实例讲述了汽车仪表板的逆向工程开发过程。

本书突出逆向工程应用性人才工程素质培养要求,系统性、实用性强,是作者从事逆向工程实施与应用的经验总结。本书可作为高等院校理工科本科生、高等职业技术学院的教材、培训教程或参考书,同时也可作为广大从事逆向工程方面的技术人员的参考用书。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 概述	1
第二节 逆向工程的定义	1
第三节 逆向工程的工作流程	2
第四节 逆向工程的应用领域	3
第二章 逆向工程测量系统	5
第一节 概述	5
第二节 接触式测量	6
一、三坐标测量机的原理	6
二、三坐标测量机的组成	7
三、三坐标测量机的分类	9
四、三坐标测量机的测头	10
五、测量过程	12
六、实物分解	15
七、测量误差的影响因素	16
八、接触式测量的优、缺点	17
第三节 非接触式测量	18
一、非接触式测量的分类	18
二、ATOS 激光扫描测量系统	23
三、非接触式测量的优、缺点	25
第四节 数据测量的各种方式的比较	26
第五节 数据测量的误差分析	26
第六节 小结	28
第三章 数据预处理	29
第一节 概述	29
第二节 多视点云的对齐	29
一、对齐问题的提出	30
二、基于三基准点的对齐方法	32

三、多视数据对齐的误差分析	36
第三节 数据平滑、精简及误差点的识别和去除	38
一、误差点的识别和去除	38
二、数据平滑	41
三、数据精简	42
第四节 数据分块	47
一、数据分块方法	47
二、散乱数据的自动分割	49
第五节 小结	53
第四章 三维模型重构	54
第一节 绪论	54
第二节 曲线、曲面数学模型	55
第三节 曲线拟合造型	56
一、曲线拟合(插值与逼近)概念	57
二、参数曲线、曲面插值与逼近	57
三、B样条曲线插值与逼近	62
四、曲线编辑	66
五、基于曲线的曲面重构	66
第四节 曲面片直接拟合造型	67
一、基于有序点的B样条曲面插值	67
二、B样条曲面逼近	71
三、对任意测量点的B样条曲面逼近	72
四、曲面编辑	79
第五节 模型质量评价	79
一、参数曲线的几何连续性定义	80
二、参数曲面的几何连续性定义	81
三、曲线、曲面光顺评价和处理	81
第六节 小结	83
第五章 逆向工程系统	84
第一节 概述	84
第二节 逆向工程系统框架	84
一、逆向工程系统的特点	84
二、逆向工程系统框架	85

第三节 逆向工程系统	86
一、数字化及数据处理子系统	86
二、模型重建子系统	88
三、产品制造子系统	94
第四节 逆向工程系统与产品创新	98
第五节 基于逆向工程的产品快速开发	99
 第六章 Imageware 及逆向一般流程	103
第一节 Imageware 简介	103
第二节 Imageware 模块	103
一、基础模块	104
二、点处理模块	104
三、曲线、曲面模块	104
四、多变形造型模块	104
五、检验模块	105
六、评估模块	105
第三节 Imageware 数据处理流程	105
一、点处理过程	106
二、曲线创建过程	108
三、曲面创建过程	110
第四节 逆向工程的要求	111
 第七章 Imageware 常用命令	113
第一节 Edit 菜单	113
第二节 Create 菜单	114
第三节 Construct 菜单	115
第四节 Modify 菜单	126
第五节 Evaluate 菜单	135
 第八章 Imageware 曲线、曲面基础	138
第一节 曲线建构与分析	138
一、曲线的基本元素	138
二、曲线创建	139
三、曲线编辑	145
四、注意点	150

第二节 曲面建构与分析	151
一、曲面元素	151
二、常用功能	152
三、具体用法	152
四、小结	179
第九章 对齐与定位	181
第一节 引言	181
第二节 配对定位的形式	182
一、点对正	183
二、线对正	184
三、方向对正	184
四、向线对正	184
五、定线对正	184
六、平面对正	184
第三节 几项常用的功能	184
一、点对点式对齐	184
二、最佳拟合式对齐	186
三、逐步模式定位 (Stepwise Registration)	188
四、混合式对齐 (Mixed Mode Registration)	196
五、SPT 模式定位 (SPT Registration)	197
六、编辑定位动作	199
第十章 范例	201
第一节 车座	201
一、查看点云信息	201
二、求解对称面, 将点云摆放在基准面上	202
三、边界线的创建	205
四、中间控制曲线的创建	212
五、中间架构线的创建	212
六、曲面的创建	214
七、小结	218
第二节 手柄	219
一、查看点云信息	219
二、底部曲面的创建	219

三、顶部曲面的生成	221
四、创建中间曲面	223
五、过渡曲面的建立	225
六、小结	227
第三节 鞋楦	227
一、鞋楦底面的构建	227
二、侧边和底部曲面的架构线的建立	234
三、侧边和底部曲面的重构	238
第四节 车身 A 级曲面	243
一、侧围面的生成	244
二、构建曲线	249
三、创建轮舱凸缘曲面	252
四、小结	258
第五节 手机	258
一、点云信息	258
二、上、下表面的建立	259
三、周边曲面的创建	263
四、按钮和屏幕的创建	270
五、天线的创建	283
六、最终模型	286
第十一章 实用技巧	287
第一节 不规则边界曲面的处理	287
一、三角面的处理	287
二、五边面的处理	296
三、六边面的处理	297
四、小结	297
第二节 对称零件的处理	298
一、对称产品重建的方法	298
二、对称平面特征重建	304
第十二章 汽车仪表板的逆向设计	308
第一节 前期准备	308
第二节 数据获取	308
第三节 数据预处理	309

第四节 曲面重构.....	311
第五节 三维结构设计.....	318
第六节 小结.....	319
参考文献.....	320

第一章 绪 论

第一节 概 述

随着工业技术的进步以及经济的发展,在消费者高质量的要求下,功能上的需求已不再是赢得市场的惟一条件。产品不仅要具有先进的功能,还要有流畅、造型富有个性的产品外观,以吸引消费者的注意。流畅、造型富有个性的产品外观要求必然会使得产品外观由复杂的自由曲面组成。但是,在设计和制造过程中,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(Computer Aided Design, CAD)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。

为适应现代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,以便利用快速成形系统(Rapid Prototyping, RP)、计算机辅助制造(Computer Aided Manufacture, CAM)系统、产品数据管理(Product Data Management, PDM)等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→产品。逆向工程就专门为制造业提供了一个全新、高效的重构手段,实现从实际物体到几何模型的直接转换。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、企业和个人的关注,特别是随着现代计算机技术及测量技术的发展,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。

本章主要介绍逆向工程的定义、逆向工程设计的基本方法及其应用范围,最后给出本书的内容及结构。

第二节 逆向工程的定义

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

广义的逆向工程是消化、吸收先进技术的一系列工作方法的技术组合,是一门跨学科、跨专业的、复杂的系统工程。它包括影像逆向、软件逆向和实物逆向等三方面。目前,大多数关于逆向工程的研究主要集中在实物的逆向重构上,即

产品实物的 CAD 模型重构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、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,是将已有产品或实物模型转化为工程设计模型和概念模型,在此基础上对已有产品进行解剖、深化和再创造的过程。

第三节 逆向工程的工作流程

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。除此之外,目前基于实物的逆向工程应用最广的还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,但这只是对国外产品的简单复制和仿制,只是简单的照抄和照搬,从严格意义上来说,这不等于逆向工程。

随着计算机辅助几何设计的理论和技术的发展和应用以及 CAD/CAE/CAM 集成系统的开发和商业化,产品实物的逆向设计首先通过测量扫描以及各种先进的数据处理手段获得产品实物信息,然后充分利用成熟的 CAD/CAM 技术,快速、准确地建立实体几何模型,在工程分析的基础上,数控加工出产品模具,最后制成产品,实现从产品或模型—设计—产品的整个生产流程。具体流程如图 1-1 所示。