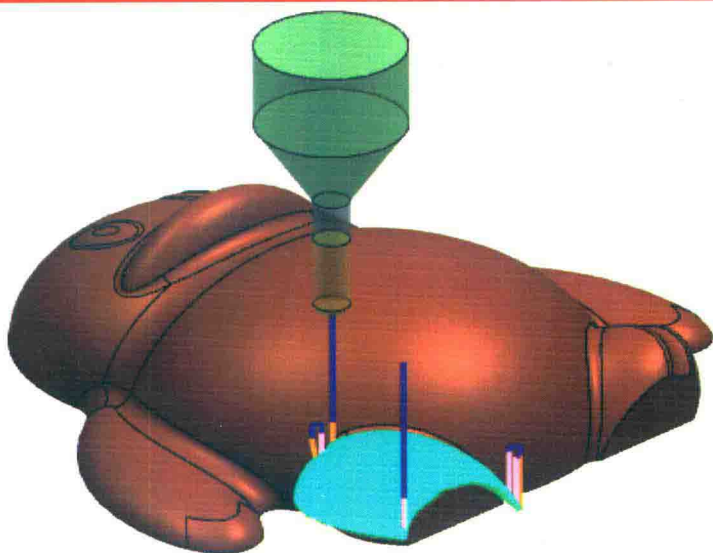


校企合作优秀教材
精品课程配套教材
21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材

产品三维建模与制造

——UG NX逆向建模与数控编程加工

CHANPIN SANWEI JIANMO YU ZHIZAO —— UG NX NIXIANG JIANMO YU SHUKONG BIANCHENG JIAGONG



主编 刘长灵 陈艳芳

+教材配套课件、视频等教学资源请上www.zysya.com。

西北工业大学出版社
国家985、211大学出版社

校企合作优秀教材

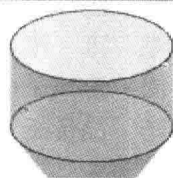
精品课程配套教材

21世纪应用型人才培养“十三五”规划教材

产品三维建模与制造

——UG NX逆向建模与数控编程加工

CHANPIN SANWEI JIANMO YU ZHIZAO —— UG NX NIXIANG JIANMO YU SHUKONG BIANCHENG JIAGONG



主 编 刘长灵 陈艳芳
副主编 梁 丰 黄翊之 梁国栋
参 编 孙 丰 张锦洪 庄沛彦 陈焕学 谢 锋

西北工业大学出版社

国家985、211大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

产品三维建模与制造:UG NX 逆向建模与数控编程加工 /刘长灵,陈艳芳主编.—西安:西北工业大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5612-5004-4

I.①产… II.①刘…②陈… III.①工业产品—计算机辅助设计—应用软件—高等学校—教材②数控机床—计算机辅助设计—应用软件—高等学校—教材 IV.

①TB472-39②TG659.022

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 199295 号

出版发行:西北工业大学出版社 北京志远思博文化有限公司

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:北京俊林印刷有限公司

开 本:787mm×1 092mm 1/16

印 张:21.75

字 数:452 千字

版 次:2016 年 8 月第 1 版 2016 年 8 月第 1 次印刷

定 价:39.00 元

高等院校教育教材研究与编审委员会

主任：丁红朝

副主任：(排名不分先后顺序)

魏力	黄群瑛	郭福琴	陈丽佳	潘邦贵	黄爱科	武跃春	黄超平
周洁	吴让军	宋君远	周宇	郭波	张莉	王力	庄小将
田君	仲蓬	林光友	刘智勇	肖湘	耿喜则	程文明	邓恩
胡景煌	李金伟						

委员：(排名不分先后顺序)

王汝志	仲崇高	邓光明	王玲	李青阳	柯晶莹	刘秀峰	梁珺
郑璁	颜伟	冉恩贵	邓景泉	刘恽凡	王东坡	靳炜伟	何春华
马毅	顾晨婴	周瑞强	李飞	陈桂平	殷志文	余鹏	陈力攀
陈辉	石莉萍	洪歧	刘春景	李元杰	李建清	李良霄	吴智勇
吴剑锋	熊勇权	何志昂	包耀东	梁锐	杨荣军	朱纪红	陈晓川
喻建晖	陈瑞霞	朱飞	王喜荣	徐霞	马海祥	叶大萌	石敦岗
尹渔清	张雪佳	郑连弟	董慧	叶凡	张翠华	游春华	芦书荣
林金兰	李素云	曾晓文	杨子武	谭筱南	禹青	李莉	朱增峰
韩俊强	杨保香	张文洲	将平	刘仁芬	李奇志	陈晓川	廖秀珍
徐仁旭	郝兴武	徐磊	黄方正	毛光峰	齐佳敏	马世新	冯方友
周箭	郑小平	孔德元	郑艳	胡智斌	刘德华	赵越	高启明
林幼斌	陈兴平	马小红	李东	李富	韦家明	张萍	李秀菊
刘助忠	杨迪	钱钶	王莹	周庆	白洁宇	封岚	王玉勤
罗勇	张建新	杨志学	王希晶	李立辉	夏同胜	刘小军	张秀芳
谭目发	黄宏彬	刘劲志	王荣	陈田国	周南	韩在霞	邱惠芳
刘明	李锐	刘舟	张家荣	刘炳康	刘可夫	徐顺志	杨安宁
章志杰	刘静萍	黄芸	胡久江	王少英	张文华	张崇友	张莉
吴志军	马骏	戴小波	韩芳	陈晓霞	何方	李炳	王永照
李文胜	刘羽	欧雅	肖莉贞	王焕毅	张琛	柳志刚	徐莉
王彦	李东文	米双红	容莉	张薇	黄健	杨勇军	付宏华
银峰	卢瑜	王志强	范玲俐	杨俊峰	张俊峰	吴青松	朱志辉
韩芳	毛用春	何辛	朱琴	吴德永	王涛	童广印	赵华玮
刘宏	刘飞	张元越	罗晓军	李传健	向佐春	岳文忠	于森
蒋粤闽	陈飞飞	龙游	李凯	谭波	喻靖文	刘丽霞	陶晓峰
邱春高	罗利华	王艳芹	罗志明	徐明川	宋长昆	杨艳	苏华
阳玉秀	文英兰	卢竹	任春茹	张永红	刘晖	蔡传柏	李虹
李永华	陈金洪	候学刚	邱漠河	唐荣林	高彩霞	周冲	邓嘉燕
张福霞	孙建超	沈恒昞	朱玉萍	袁战军	董建利	王绍光	岳士凯
蒋国宏	桑莉琳	范飞飞	夏清明	谢晓杰	张红丽	梁燕燕	王德礼
李芙蓉	马晓明	张艳平	熊义成	程元清	任郁楠	张小亚	黄永强
郭美斌	钟祥荣	覃晓康	张琳茜				

前 言

随着科学技术的不断发展，传统的正向工程（Forward Engineering, FE）已不再是产品设计的唯一方法。面对工业领域中复杂外形的设计，目前的 CAD 软件还不能完全满足设计的要求。要将采用黏土、石膏、木头制成的手工模型转化为 CAD 模型，实现几何模型的重建技术，必须改变传统的设计模型。这种新的模式就是逆向工程。逆向工程（Reverse Engineering, RE）也叫反求工程，采用从实物出发，根据设计意图，将实物模型利用相关的设备采集表面数据，进行 CAD 三维重构，实现对象数字化，建立产品的数字化模型以及实现产品的快速制造。

逆向工程很好地适应了市场的发展所需，已经成为目前 CAD/CAM/CAE 技术领域中新热点和重点研究方向。逆向技术一方面提高了传统正向设计的工作效率，提供了新的产品加工质量分析；另一方面结合正向工程技术，可以很好地对原有产品进行创新性的设计和进行改进设计。随着该技术的不断发展和完善，相关的软硬件配套都已经相对成熟，逆向工程已经发展成为一个与正向工程相辅相成的，而又相对独立的技术领域。

当前，逆向工程广泛应用于电子电器、汽车行业和模具等产品的造型与创新设计。作为一项新兴且热门的技术，许多学校已将逆向工程技术列入机械类专业必修课进行讲授。但目前市面上关于逆向造型与数控加工制造一体化的教材并不多见，很多教材只是针对逆向工程的概念与理论作一些介绍，缺少实际的逆向工程案例。本书以 UGNX8.5 为设计和数控编程一体化软件，以项目案例教学法详细介绍了鼠标、企鹅、电子秤、兵人躯干 4 个案例的逆向造型过程和数控编程加工操作步骤，确认本书是否有此配套内容，可以帮助学生更加直观、快速地掌握利用 UGNX 软件进行造型和编程，在边看边做的过程中掌握逆向造型和模型数控编程加工的技术要点和实际操作的技能。

本书由刘长灵、陈艳芳担任主编，梁丰、黄翊之、梁国栋担任副主编，孙丰、张锦洪、庄沛彦、陈焕学、谢锋参与编写收集大量的相关资料，各章节编写情况：刘长灵编

写第 1 至第 3 章，陈艳芳编写第 4 至第 5 章，梁丰、黄珺之、梁国栋编写第 6 至第 9 章。本书得到了西北工业大学出版社、北京志远思博文化有限公司的大力支持，在此表示衷心的感谢和敬意。

由于笔者水平有限；编写本书曾参阅了相关文献资料，在此谨向其作者深表谢意。资料在此书中错误欠妥之处在所难免，恳请读者指正。

编 者

2016 年 6 月

目 录

第 1 章 逆向工程概述	1
1.1 逆向工程简介	1
1.2 逆向工程的应用范围	2
1.3 逆向设计的主要技术及逆向设计实施的条件	3
1.4 UG NX 软件简介	5
1.5 UG NX 逆向造型的基本操作和技巧	6
1.6 UG NX 数控编程的基本操作和技巧	8
第 2 章 鼠标的逆向造型	10
2.1 打开软件, 导入 STL 文件	10
2.2 截取建模点云数据	12
2.3 鼠标大面的构建	18
2.4 鼠标细节部分构建	35
2.5 鼠标实体创建	48
第 3 章 鼠标的数控编程加工	54
3.1 鼠标的加工工艺分析	54
3.2 公共项目设置	56
3.3 鼠标右壳配合面和装夹位的粗加工	60
3.4 鼠标右壳配合面和装夹位的精加工	62
3.5 鼠标右壳外形的粗加工	68
3.6 鼠标右壳外形的精加工	70
3.7 刀轨的虚拟切削仿真	74
3.8 刀轨的后处理	75
3.9 鼠标左壳的编程加工说明	76
第 4 章 企鹅的逆向造型	78
4.1 打开软件, 导入 STL 文件	78
4.2 截取企鹅点云数据	79
4.3 企鹅身体的构建	82

4.4	企鹅嘴巴的构建	87
4.5	企鹅翅膀的构建	92
4.6	企鹅脚部构建	113
4.7	企鹅眼睛构建并完成实体	138
第5章	企鹅的数控编程加工	147
5.1	企鹅的加工工艺分析	147
5.2	公共项目设置	149
5.3	企鹅前胸配合面和装夹位的加工	154
5.4	企鹅前胸脚部精加工	165
5.5	企鹅前胸外表面粗加工和半精加工	168
5.6	企鹅脚部直身面精加工	171
5.7	企鹅前胸外形精加工	172
5.8	刀轨的虚拟切削仿真和后处理	182
5.9	企鹅后背编程加工说明	184
第6章	电子秤的逆向造型	186
6.1	打开软件, 导入 STL 文件	186
6.2	截取电子秤点云数据	187
6.3	电子秤外形曲面的构建	191
6.4	电子秤其他结构特征构建并完成实体	210
第7章	电子秤的数控编程加工	218
7.1	电子秤的加工工艺分析	218
7.2	公共项目设置	220
7.3	电子秤右壳配合面和装夹位的粗加工	225
7.4	电子秤右壳配合面和装夹位的精加工	229
7.5	电子秤右壳内槽粗加工	231
7.6	电子秤右壳内槽的半精加工	233
7.7	电子秤右壳内槽的精加工	235
7.8	电子秤右壳外形的粗加工	239
7.9	电子秤右壳外形的半精加工和精加工	246
7.10	电子秤右壳孔加工	248
7.11	铣断装夹台	252
7.12	刀轨的虚拟切削仿真	256
7.13	刀轨的后处理	256
7.14	电子秤左壳的编程加工说明	257
第8章	兵人躯干的逆向造型	259
8.1	打开软件, 导入 STL 文件	259

8.2	截取兵人躯干点云数据	260
8.3	兵人躯干大曲面的构建	264
8.4	兵人躯干其他细节特征构建并完成实体	289
第9章	兵人躯干的数控编程加工	305
9.1	兵人躯干的加工工艺分析	305
9.2	公共项目设置	308
9.3	兵人躯干前胸配合面和装夹位的粗加工	312
9.4	兵人躯干前胸配合面的精加工	316
9.5	兵人躯干前胸内槽的粗加工	317
9.6	兵人躯干前胸内槽的精加工	319
9.7	兵人躯干前胸外形的粗加工	328
9.8	兵人躯干前胸外形的半精加工与精加工	330
9.9	刀轨的虚拟切削仿真	334
9.10	刀轨的后处理	334
9.11	兵人躯干后背的编程加工说明	335
	参考文献	337

第 1 章 逆向工程概述

1.1 逆向工程简介

传统的工业产品设计已经形成了一条固有的开发流程。从定义产品的功能概念开始逐步从上往下设计，而产品的功能定义又取决于市场的需求。根据市场对产品的要求，从产品功能开始设计产品的概念，先进行产品的总装设计，进而分解到产品的零部件，再到后续的产品制作工艺，制作所需的工夹具，产品的装配及性能测试等，这种方式称为正向工程 (Forward Engineering, FE)。正向工程属于一种全新产品的研发过程，因为其工作过程是一种从无到有的创造过程，从抽象的产品概念变成现实具体的产品。早期没有出现计算机，人们表现产品的模型基本上都是用手工制图的形式；后来随着计算机的应用，各种图文表现的软件也随之出现，人们可以借助 CAD 技术来表现产品的数字化模型。

图 1-1 所示为正向工程工作流程示意图。

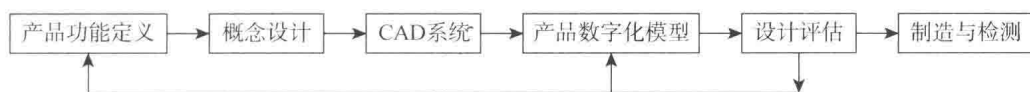


图 1-1 正向工程工作流程示意图

随着科技的发展和市场的需求不断扩大，传统的正向工程技术已经不能完全解决产品开发中的所有问题，为此，人们提出了产品的另一种工程模型——逆向工程。

逆向工程 (Reverse Engineering, RE) 也叫反求工程。逆向工程是一个系统工程，包含产品的数字化技术，产品的 CAD 几何重构技术和产品的生产制造技术。与传统正向设计的流程或者说思路不同，逆向工程首先面对的是已经存在的产品或是模型。它的工作过程简单地说就是按照实物开始进行设计意图的定义，进而将实物通过产品数字化测量采集技术，转化为 CAD 模型，从而进行再设计的过程。逆向工程的工作流程如图 1-2 所示。

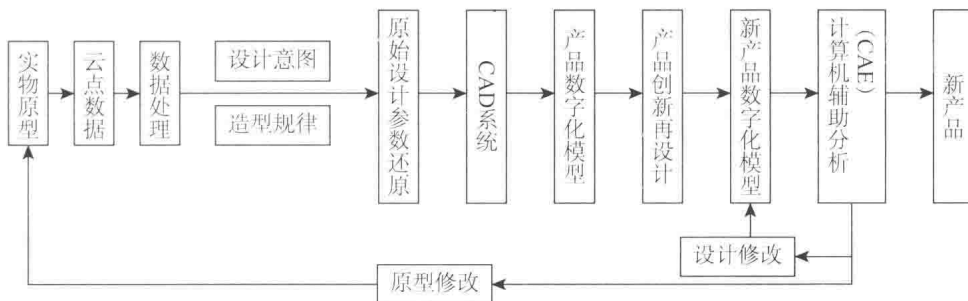


图 1-2 逆向工程工作流程示意图

逆向工程很好地适应了市场的发展所需，已经成为目前 CAD/CAM/CAE 技术领域中的热点和重点研究方向。逆向技术一方面提高了传统正向设计的工作效率，提供了新的产品加工质量分析，另一方面结合正向工程技术，可以很好地对原有产品进行创新性的设计和改进

设计。随着该技术的不断发展和完善，相关的软硬件配套都已经相对成熟，逆向工程已经发展成为一个与正向工程相辅相成的，而又相对独立的技术领域。从某种意义上说，逆向工程与正向工程恰恰相反，它是一个“从有到无”的过程。图 1-3 所示为逆向工程的主要技术。

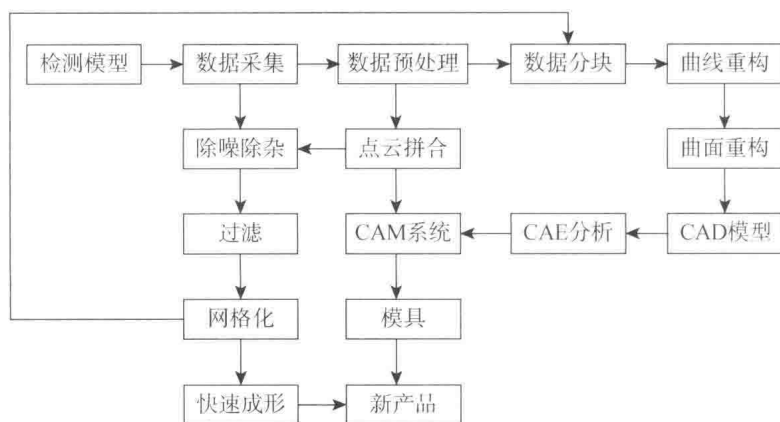


图 1-3 逆向工程的主要技术

逆向工程技术最早是由美国 3M 公司、美国 UVP 公司和日本名古屋工业研究所在 20 世纪 80 年代初提出研究，并在他们的努力下研制开发成功。因为逆向技术首先面对的是产品实物或者手工模型实物，所以首先要考虑的就是如何通过一定的技术将这些实物样件转化为适合计算机识别和使用的图文 CAD 模型，并在此基础上进行产品质量分析检查或者产品的后续成型加工制造。随着人们对逆向工程技术在曲线曲面上的重构方法上的研究，其成果也不断出现在各种逆向软件上。逆向软件主要有两种类型，一种是以模块的形式出现在主流的专业 CAD/CAM 集成系统上，如 UG NX 软件上的 PointCloud 模块；Pro/E 中的 Pro/SCAN 模块等；另一类则是专门的专业逆向商用 CAD 软件，如 Geomagic 公司的 Geomagic Studio 软件、Imageware 公司的 Surfacer 软件等。随着逆向技术的不断发展，逆向技术在人体生物学方面也得到了发展，如可以利用 MRI 和 CT 技术进行三维实体重构技术软件，可以将 CT 变成可视化并且生成 IGES 文件的软件等等。

在我国，逆向工程技术是在 20 世纪 90 年代中后期才开始得以迅速发展和推广的。目前，针对逆向工程技术中的数据测量和 CAD 系统部分，已经有很多企业和高校进行研究。如浙江大学研究出来的 RE-Soft、西安交通大学研发的 XJTUOM 型三维光学点云测量系统等。这些高校极大推进了逆向技术的发展。作为逆向技术开展的前端技术——产品数字化测量采集技术——而言，已经出现了接触式和非接触式测量系统。

1.2 逆向工程的应用范围

随着逆向工程技术的不断发展，使得逆向工程技术已经广泛应用于家用电器、汽车、飞机、模具等产品的造型和创新设计中，成为实现新产品快速开发的重要手段。具体来说，逆向工程有以下几方面的应用。

(1) 开发新产品

产品的美观化、艺术化已经成为现代工业产品的方向发展，在产品创新设计中，人们都在追求产品的美观。在新产品的开发设计中，利用逆向技术和工业设计技术结合起来，一起开发新产品。其流程通常是先将产品按照一定的比例用泡沫塑料、油泥或者木头做成产品，根据产品进行外形评价后进行修改，确定外形后利用逆向工程技术生成适合 CAD 系统的曲面

造型。该方式极大地提高了产品设计周期，给现代企业带来了很好的效率。在塑料模具行业、汽车行业以及家电行业内得到了广泛的推广和应用。

(2) 仿制和改造产品

如果在缺乏产品的图纸或者 CAD 模型的情况下，要生产制造该产品，就必须利用逆向技术。通过对产品的模型进行数据测量，优化数据，利用逆向软件构建出 CAD 模型。再通过修改模型、分析模型与原产品的误差、快速成型及数控加工达到产品的仿制。该方法还可以修复产品外形，在改造后达到创新设计，极大提高了企业在市场中的竞争力。

(3) 模具快速制造

模具已经成为现代工业的航母，各种先进的技术都纷纷运用到了模具制造业中。逆向技术作为前沿科技，自然也不例外地运用到了这里。其应用主要在下面两个方面：一方面是重建样本模具 CAD 模型，另一方面是重建模具产品零件的 CAD 模型。

(4) 快速原型制造

为了加开新产品的开发周期，通过 CAD 模型现实快速原型制造（Rapid Prototyping Manufacturing, RPM）。RPM 作为一种全新的产品设计开发手段，综合利用了 CAD 技术、材料加工技术等领域的技术。逆向技术为 RPM 提供 CAD 模型，而 RPM 可以对逆向技术的 CAD 模型进行产品信息反馈，两者结合现实了设计优化。

(5) 数字化检测产品

现代的材料成型技术多种多样，但成型后的零部件的质量还需通过公差检测分析。而逆向技术给这个检测技术提供了一种新方法，即通过对成型后的零部件进行扫描测量，从而得到其数字化模型，再利用计算机对数字化模型与原几何模型进行数据比对，可以方便测量出成型误差，从而给制造提供改正参考。另外，通过 CT 扫描技术，可以实现产品的无损检测、量化分析和内部结构诊断等等。

(6) 医学领域断层扫描

在医学领域中，逆向技术的运用也越来越多，如通过 CT 扫描仪进行断层扫描，可以提供进行人体 CAD 建模的信息。而且，通过 RP 快速成型技术还可以在 CAD 建模的基础上，进行人体器官或者模型的制造。逆向技术也是对疾病医治非常有效的辅助手段之一。

(7) 人体仿真的设计制造

人类的个体是有差异的，与人体密切接触的鞋子、头盔等产品，也不能是千篇一律的。而如果要做到舒适性，就必须根据人体的差异进行仿真设计。逆向技术可以通过先进的扫描设备获取人体数据，并利用曲面重构软件进行人体的仿真设计。在获取人体外形的数据后，如果进行参数化特征提取，就可以实现最新的产品生产。

1.3 逆向设计的主要技术及逆向设计实施的条件

逆向设计技术的流程为：利用先进的数据测量系统，对模型进行“点云”数据采集，利用专业逆向软件，对得到的表面几何数据进行数据去噪、规整、采样和三角形化等预处理；因为目前大多数的 CAD 软件识别的是 NURBS 曲面，所以还需将模型数据进行曲面拟合处理，生成 NURBS 曲面，最终转化为通用的 CAD 模型。

1. 逆向设计的主要技术

(1) 数据采集技术

数据采集是进行逆向设计的基础。随着科技的不断发展，数据采集的方法也呈现多样化，

如以接触式为代表的三坐标测量仪，以非接触式为代表的三维光学点云测量系统，以及其他 CT 断层扫描仪等。

(2) 数据处理技术

逆向设计数据的处理技术是指对采集的数据进行噪声消除、多点云注册、数据简化、数据补全和网格化处理等技术。

1) 多点云注册。对于比较复杂的模型，一次测量并不能完成所有表面的数据采集，因而需要进行多次测量。在处理测量数据时就需要进行多点云注册拼合处理，即利用参考点或者特征点进行数据点的拼接整合，得到一个完整的数据模型。

2) 噪声消除。噪声的产生是因为在测量时，周边环境、设备特点或者人为的因素导致采集的数据产生偏差。针对这些数据，可以通过数据滤波进行噪声消除操作。

3) 数据简化。在使用光学测量系统采集数据时，其数据量通常会比较大，少则几万，多至上千万不等。庞大的数据在计算处理中会影响后续工作效率，而适当减少数据量并不会造成模型数据缺失。

4) 数据补全。在数据采集过程中，有时会因为模型本身结构的原因或者模型表面本身的不完整性导致采集的数据并不完整。针对数据缺失的部分，需要对数据进行补全处理。

(3) 模型重构技术

模型重构主要是获得对应产品 CAD 模型的过程。模型重构需要将数据点进行网格化处理，划分曲面后进行曲面片的生成处理，内容涉及几何计算、计算机图文处理等技术领域，是逆向设计中的热点和难点问题。

2. 逆向设计实施的条件

(1) 逆向设计实施的硬件条件

逆向设计实施的硬件主要是指逆向设计中的数据测量系统和支持测量系统运行的计算机。随着科学技术的不断发展，目前高配置、运行速度快的计算机已经不再是问题。所以逆向设计最关键的硬件也就是指数据测量系统。

模型的数字化扫描测量是指借助一些设备，采集被测模型的点云数据，根据设备的不同和测量方法的不同，将被测模型或样件表面形状转换成空间坐标数值，通过这种方式得到快速逆向造型以及模型偏差分析所需数据的过程。逆向的数据测量最初源自产品的检测设备，如三坐标测量仪，开始是用于高精度的零件尺寸、形位公差的检测。后来随着逆向相关技术的发展，特别是逆向 CAD 建模系统的发展，三坐标测量仪可以将其检测到的数据用于逆向曲面构建。为了更好地针对不同的模型进行数据采集，同时考虑到采集数据的精度和效率，数据采集系统主要往两个方向发展：一个是基于力-变形原理的接触式扫描系统，另一个是基于光学原理的非接触式扫描系统。因为不同的测量模型和测量效果，决定了测量方法的不同，所以在实际操作时，常常根据测量模型的特点和后期工作的要求，而采用特定的测量设备以及使用恰当的方式进行。

随着逆向工程技术的不断发展，目前市场上的逆向工程数据采集系统可以分为接触式和非接触式两大类型。接触式与非接触式的区别在于，测量时测量设备是否与被测模型或样件接触。根据测量头的类型，接触式测量设备又分为连续扫描式和力触发式测量设备，典型的设备有固定式三坐标测量仪和便携式关节臂式测量仪。非接触式测量设备根据工作原理的不同分为光学式和非光学式两种。光学式有结构光测距法、激光三角形法、激光干涉测量法等，而非光学式有 CT 测量法、超声波测量法等。图 1-4 所示为逆向工程数据测量方法分类图。

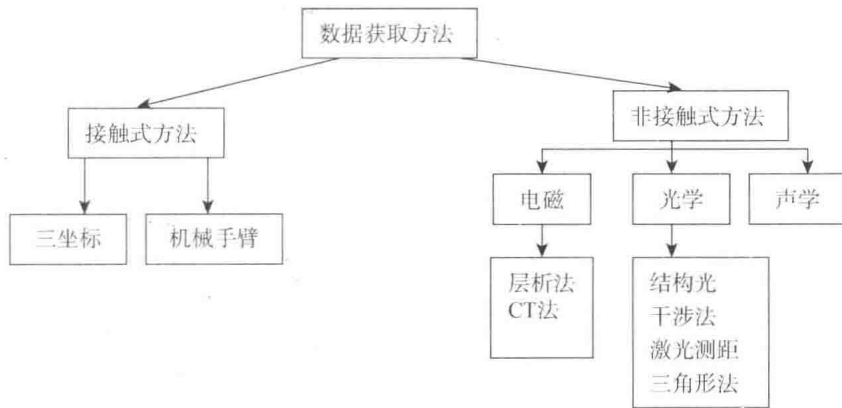


图 1-4 逆向工程数据测量方法分类图

1) 接触式测量特点。接触式数据测量设备是利用测量探针与被测对象接触时触发记录信号，并通过相应的设备记录校准传感器得到的数值，从而获得三维数据信息。接触式测量的优点：数据测量精度高、测量稳定性较好，测量数据准确；被测模型表面的颜色和外形对测量影响小；结合其他专业的检查软件，可直接对被测模型上的一些尺寸、角度及形位公差进行测算。接触式测量的缺点：要通过接触模型表面得出数据，其测量速度慢；同时因为受力挤压，需要定期校准测头；对形状特殊的零件需要设计专门夹具来固定；对泥油等软性材质模型等产品会产生一定变形或者损伤。

2) 非接触式测量特点。非接触式测量因为其与被测模型或物件并没有发生接触，而是利用光、电磁、声音等物理作用获取表面几何坐标信息，所以两者没有产生受力作用，不会对软性材质模型产品带来损伤。非接触式测量在逆向工程领域应用得到了广泛应用。非接触式测量的优点：非接触式测量速度相对接触式测量要快很多，并且测量数据相对比较完整；测量数据不需要因为接触式那样需要作球头补偿；可测量泥油类物体而不会造成损伤。缺点是：对零件的表面反光程度、颜色要求较高；相对于接触式测量，其数据测量精度比较低；细节位置数据容易缺失；测量受环境的影响因素比较大。

(2) 逆向设计实施的软件条件

逆向设计实施的软件条件主要指逆向建模 CAD 软件。逆向 CAD 建模可以使用正向设计 CAD 软件，如 UG NX，Pro/E 等，通过在正向软件中集成逆向模块功能来完成设计；也可以使用专门的逆向软件，比如现在主流的 Surfer，Imageware，Geomagic Studio，Paraform 等国外专业软件和国内的 RE-Soft 软件等。这些专业软件给逆向工程设计人员提供了极大的方便，大大提高了设计的效率和设计模型曲面质量。

1.4 UG NX 软件简介

UG NX (Unigraphics 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。UG NX 针对用户的虚拟产品设计和工艺设计的需求，提供了经过实践验证的解决方案。

UG NX 的开发始于 1990 年 7 月，它是基于 C 语言开发实现的。UG NX 是一个在二维和三维空间无结构网格上使用自适应多重网格方法开发的一个灵活的数值求解偏微分方程的软件工具，其设计思想足够灵活地支持多种离散方案。因此，软件可对许多不同的应用再利用。目前，UG NX 是当今世界应用最为广泛的计算机辅助设计、分析和制造软件之一，广泛应用

于航空、航天、汽车和家用电器等制造领域。其主要有下述功能特点。

1. 工业设计

UG NX 为那些培养创造性和产品技术革新的工业设计和风格提供了强有力的解决方案。利用 UG NX 建模，工业设计师能够迅速地建立和改进复杂的产品形状，并且使用先进的渲染和可视化工具来最大限度地满足设计概念的审美要求。

2. 产品设计

UG NX 包括了世界上最强大、最广泛的产品设计应用模块。UG NX 具有高性能的机械设计和制图功能，使制造设计具备了高性能和灵活性，以满足客户设计任何复杂产品的需要。UG NX 优于通用的设计工具，具有专业的管路和线路设计系统、钣金模块、专用塑料件设计模块和其他行业设计所需的专业应用程序。

3. 仿真确认优化

UG NX 加工基础模块提供连接 UG NX 所有加工模块的基础框架，它为 UG NX 所有加工模块提供一个相同的、界面友好的图形化窗口环境，用户可以在图形方式下观测刀具沿轨迹运动的情况并可对其进行图形化修改，如对刀具轨迹进行延伸、缩短或修改等。该模块同时提供通用的点位加工编程功能，可用于钻孔、攻丝和镗孔等加工编程。该模块交互界面可按用户需求进行灵活的用户化修改和剪裁，并可定义标准化刀具库、加工工艺参数样板库，使初加工、半精加工、精加工等操作常用参数标准化，以减少使用培训时间并优化加工工艺。UG NX 软件所有模块都可在实体模型上直接生成加工程序，并保持与实体模型全相关。

UG NX 的加工后置处理模块使用户可方便地建立自己的加工后置处理程序，该模块适用于目前世界上几乎所有主流 NC 机床和加工中心。在多年的应用实践中，该模块已被证明适用于 2~5 轴或更多轴的铣削加工、2~4 轴的车削加工和电火花线切割。

4. 模具设计

UG NX 是当今较为流行的一种模具设计软件，主要是因为其功能强大。

模具设计的流程很多，其中分模就是其中关键的一步。分模有两种：一种是自动的，另一种是手动的，当然也不是纯粹的手动，也要用到自动分模工具条的命令，即模具导向。

5. 开发解决方案

UG NX 产品开发解决方案完全支持制造商所需的各种工具，可用于管理过程并与扩展的企业共享产品信息；UG NX 与 UGS PLM 的其他解决方案的完整套件无缝结合。这些对于 CAD、CAM 和 CAE 在可控环境下的协同、产品数据管理、数据转换、数字化实体模型和可视化都是一个补充。

1.5 UG NX 逆向造型的基本操作和技巧

UG NX 的逆向造型遵循：点→线→面→体的一般原则。

在逆向设计过程中，并不是所有的点都要选取。因此在确定基本曲面的控制线时，需要找出哪些点或线是可用的，哪些点或线是细化特征，哪些需要在以后的设计中用到，而不是在总体设计中就体现出来。尽量选择一些质量比较好的点或者线进行模型构建。

1. 测点

测点之前规划好该怎么测点，通常由设计人员提出曲面测点的要求。测点的一般原则是在曲率变化比较大的地方打点密一些，平滑的地方则可以稀一些。由于一般的三坐标测量机取点的效率大大低于激光扫描仪，所以在零件测点时要做到有的放矢。值得注意的是除了扫

描剖面、测分型线外，测轮廓线等特征线也是必要的，这会在构面的时候带来方便。

2. 连线

(1) 点整理

连线之前先整理好点，包括去误点、明显缺陷点。同方向的剖面点放在同一层里，分型线点、孔位点单独放一层，轮廓线点也单独放一层，便于管理。通常这个工作在测点阶段完成，也可以在 UG NX 软件中完成。一般测量软件可以预先设定点的安放层，一边测点，一边整理。

(2) 点连线

连分型线点尽量做到误差最小并且光顺。因为在许多情况下分型线是产品的装配结合线。对汽车、摩托车中一般的零件来说，连线的误差一般控制在 0.5mm 以下。连线要做到有的放矢，根据样品的形状、特征，大致确定构面方法，从而确定需要连哪些线条，不必连哪些线条。连线可用直线、圆弧、样条线 (Spline)。最常用的是样条线，选用“Through Point”方式。选点间隔尽量均匀，有圆角的地方先忽略，做成尖角，做完曲面后再倒圆角。

(3) 曲线调整

因测量有误差及样件表面不光滑等原因，连成 Spline 的曲率半径变化往往存在突变，对以后的构面的光顺性有影响。因此曲线必须经过调整，使其光顺。调整中最常用的一种方法是 edit spline，选 edit pole 选项，利用鼠标拖动控制点。这里有许多选项，如限制控制点在某个平面内移动、往某个方向移动、粗调、细调以及打开显示 spline 的“曲率梳”开关等。另外，调整 spline 经常还要移动 spline 的一个端点到另一个点，使构建曲面的曲线有交点。但必须注意的是，无论用什么命令调整曲线都会产生偏差，调整次数越多，累积误差越大。误差允许值视样件的具体要求决定。

3. 重构曲面

运用各种构面方法建立曲面，包括 though curve mesh, though curves, rule, swept 和 from point cloud 等。构面方法的选择要根据样件的具体特征情况而定。最常用的是 though curve mesh，将调整好的曲线用此命令编织成曲面。though curve mesh 构面的优点是可以保证曲面边界曲率的连续性，因为 though curve mesh 可以控制四周边界曲率（相切），因而构面的质量更高。而 though curve 只能保证两边曲率，在构面时误差也大。假如两曲面交线要倒圆角，因 though curve mesh 的边界就是两曲面的交线，显然这条线要比两个 though curves 曲面的交线光顺，这样 blend 出来的圆角质量是不一样的。初学逆向造型的时候，两个面之间往往有“折痕”，这主要是由这两个面不相切所致。解决这个问题可以通过调整参与构面 (though curve mesh) 曲线的端点与另一个面中的对应曲线相切，再加上 though curve mesh 边界相切选项即可解决，只有曲线相切才能保证曲面相切。另外，有时候做一个单张且比较平坦的曲面时，直接用点云构面 (from point cloud) 更方便。但是对那些曲率半径变化大的曲面则不适用，构造面时误差较大。有时面与面之间的空隙要桥接 (bridge)，以保证曲面光滑过渡。

在构建曲面的过程中，有时还要再加连一些线条，用于构面。连线和构面经常要交替进行。曲面建成后，要检查曲面的误差，一般测量点到面的误差，对外观要求较高的曲面还要检查表面的光顺度。当一张曲面不光顺时，可求此曲面的一些 section，调整这些 section 使其光顺，再利用这些 section 重新构面，效果会好些，这是一种常用的方法。

构面还要注意简洁。面要尽量做得大，张数少，不要太碎，这样有利于后面增加一些圆角、斜度、增厚等特征，而且也有利于下一步编程加工，刀路的计算量会减少，NC 文件比较小。

4. 重构实体

当外表面完成后, 下一步就要构建实体模型。当模型比较简单且所做的外表面质量比较好时, 用缝合增厚指令就可建立实体。但大多数情况却不能增厚, 所以只能采用偏置 (offset) 外表面。用 offset 指令可同时选多个面或用窗口全选, 这样会提高效率。对于那些无法偏置的曲面, 要学会分析原因。一种可能是由于曲面本身曲率太大, 偏置后会自相交, 导致 offset 失败 (有些软件的算法与此算法不同, 如犀牛就可 offset 那些会产生自相交的曲面), 如小圆角; 另一种可能是被偏置曲面的品质不好, 局部有波纹, 这种情况只能修改好曲面后再 offset; 还有一些曲面看起来光顺性很好, 但就是不能 offset, 遇到这种情况可用 extract geometry 成 b 曲面后, 再 offset, 基本会成功。偏置后的曲面有的需要裁剪, 有的需要补面, 用各种曲面编辑手段完成内表面的构建, 然后缝合内、外表面成一实体 (solid), 最后再进行产品设计。

1.6 UG NX 数控编程的基本操作和技巧

在 UG NX 的编程过程中, 需要进行以下的操作步骤。

1. 获得 CAD 数据模型

数控编程的 CAD 数据模型, 可以是 UG NX 直接造型得到的实体模型, 也可以是数据转换的 CAD 模型。如果是非 UG NX 数据模型, 必须通过数据转换, 以满足 UG NX 编程的数据模型要求。

2. 加工环境初始化

启动 UG NX 软件, 在主菜单中选择【开始】|【加工】命令, 进行 CAM 设置, 实现加工环境初始化。

3. 建立 CAM 数据模型

由于设计人员在建立 CAD 数据模型时更多考虑零件设计的方便性和完整性, 没有完全考虑模型的加工需求, 所以要根据加工对象建立 CAM 模型。

1) 加工坐标系 MCS 的确定。坐标系是加工的基准, 将加工坐标系定位于数控机床操作人员容易对刀的位置, 同时保持坐标的统一。

2) CAD 数据模型的处理。分析 CAD 数据模型, 把不适合用铣削加工的特征进行技术处理。可以把特征采用另外的加工方式, 比如线切割电火花加工。隐藏对加工不产生影响的曲面。可以用类选择器将对加工不产生影响的曲面分类, 通过层选项将分类的曲面移动到不同层, 设置为不可见; 修补部分曲面, 用缝合等命令构造的零件几何体应考虑曲面片间可能出现的重叠和缝隙, 而导致导轨的过切削、啃刀等现象, 应修整或缝合这些不光顺的区域, 这样获得的刀具路径规范且安全; 对轮廓曲线进行修整。CAD 数据中若存在位置数据不连续, 一阶导数或者二阶导数不连续, 多余 (辅助) 几何等缺陷, 可通过修整或者创建轮廓线构造出最佳的轮廓曲线。

3) 构造 CAM 辅助加工几何。针对不同驱动几何需要, 构造辅助曲线或者辅助面; 构建边界曲线限制加工范围。

4. 创建/修改组

在创建/修改的组中存储加工信息, 如刀具数据、几何体、方法、程序等在组中指定的信息都可以被操作继承。位置组设定不是 CAM 编程所必需的工作, 可以直接在建立操作时在操作对话框中的选项中进行设置。对于需要建立多个程序来完成加工的工件, 使用位置选项可