

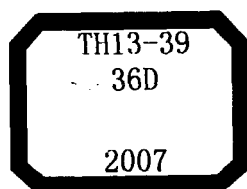
CAD/CAM 工程范例系列教材
国家职业技能培训用书

UG 逆向工程 范例教程

国家级数控培训基地 袁锋 编著
UGS公司授权培训中心

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS





CAD/CAM 工程范例系列教材

国家职业技能培训用书

UG 逆向工程范例教程

常州轻工职业技术学院 袁 锋 编著

(国家级数控培训基地)

(美国 UGS 公司授权培训中心)

常州轻工职业技术学院 王志平 校审

机 械 工 业 出 版 社

本书结合了作者多年从事 UG CAD/CAM/CAE 和逆向反求造型的教学和培训的经验,精选了 5 个典型零件作为逆向反求设计实例,以文字和图形相结合的形式,详细介绍了零件的逆向造型过程和 UG 软件的操作步骤,并配有操作过程的动画演示光盘,帮助读者更加直观地掌握 UG NX4 的软件界面和操作步骤,使读者能达到无师自通、易学易懂的目标。

本教程可作为 CAD/CAM/CAE 专业课程教材,特别适用于 UG 软件的中高级用户,各大中专院校机械、模具、机电及相关专业的师生教学、培训和自学使用,也可作为研究生和各工厂企业从事产品逆向设计、CAD 应用的广大工程技术人员的参考用书。

图书在版编目 (CIP) 数据

UG 逆向工程范例教程/袁锋编著. —北京:机械工业出版社,2006.12
(CAD/CAM 工程范例系列教材)

国家职业技能培训用书

ISBN 978-7-111-20392-6

ISBN 978-7-89492-082-2 (光盘)

I. U... II. 袁... III. 机械元件-计算机辅助设计-应用软件, UG
-教材 IV. TH13-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 139940 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:汪光灿 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣

封面设计:王伟光 责任印制:杨 曦

北京机工印刷厂印刷

2007 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 21.5 印张 · 530 千字

0 001—3 000 册

定价:39.00 元 (含 2CD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

销售服务热线电话:(010) 68326294

购书热线电话:(010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010) 88379182

封面无防伪标均为盗版

前 言

逆向工程技术 (Reverse Engineering, RE), 也称逆向工程、反求工程, 是在没有产品原始图样、文档的情况下, 对产品实物进行测量和工程分析, 经 CAD/CAM/CAE 软件进行数据处理, 重构几何模型, 并生成数控程序, 由数控机床重新加工复制出产品的过程。它有别于传统的由图样制造产品的顺向思维模式。这项新技术一经问世, 立即受到了各国和学术界的高度重视。

在经济全球化的压力下, 国家、企业面临的竞争日趋激烈, 市场竞争机制已渗透到各个领域, 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果从而加以消化吸收与创新, 进而发展为自己的技术, 这已成为当今普遍采取的手段。

事实证明, 技术引进是吸收国外先进技术、促进民族经济高速增长的战略措施。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进行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。有关统计资料表明, 各国 70% 以上的技术都是来自外国, 要掌握这些技术, 除了技术引进外, 另一重要途径就是通过逆向工程。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。

常州轻工职业技术学院为美国 UGS 公司授权培训中心、国家级数控培训基地, 常年从事 UG 软件和数控机床的教学培训, 具有丰富的教学和培训经验。本书的作者为 UGS 正式授权的 UG 教员, 2002 年~2005 年连续四年担任全国数控培训网络 “Unigraphics 师资培训班” 教官。本书结合了编者多年从事 UG CAD/CAM/CAE 和逆向反求造型的教学和培训的经验, 精选了 5 个典型零件作为逆向反求设计实例, 以文字和图形相结合的形式, 详细介绍了零件的逆向造型过程和 UG 软件的操作步骤, 并配有操作过程的动画演示光盘, 帮助读者更加直观地掌握 UG NX4 的软件界面和操作步骤, 使读者能达到无师自通、易学易懂的目标。

本教程可作为 CAD/CAM/CAE 专业课程教材, 特别适用于 UG 软件的中高级用户, 各大专院校机械、模具、机电及相关专业的师生教学、培训和自学使用, 也可作为研究生和各工厂企业从事产品逆向设计、CAD 应用的广大工程技术人员的参考用书。

本书由常州轻工职业技术学院王志平副教授、高级工程师校审。全书的操作过程动画演示光盘由常州勤业塑料有限公司袁钢先生制作。

本书在编写过程中得到了常州轻工职业技术学院、优集系统 (中国) 有限公司与 UGS 各授权培训中心的大力支持, 常州轻工职业技术学院袁飞、汤小东、李涛老师也为本书的编写做了大量工作, 在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限, 谬误欠妥之处, 恳请读者指正并提宝贵意见。

E-Mail: YF2008 @ CZILI. EDU. CN。

袁 锋

2006 年 10 月

目 录

前言

第一章 逆向工程概述	1
一、逆向工程概述	1
二、逆向工程的应用范围	2
三、逆向工程的数据采集技术	3
四、三坐标测量机	7
五、测量数据的处理技术	8
六、产品模型的重构技术	9
七、UG 软件简介	12
八、UG 逆向造型的基本技巧	13
第二章 吸顶灯逆向造型	15
一、打开练习文件	15
二、移动点集中心至坐标原点	16
三、绘制吸顶灯外形	27
四、绘制吸顶灯细节特征	50
五、创建吸顶灯实体	68
第三章 反光银碗逆向造型	81
一、打开练习文件	81
二、绘制反光银碗外形	82
三、绘制反光银碗细节部分	97
四、创建反光银碗实体	107
第四章 车灯罩壳逆向造型	113
一、打开练习文件	113
二、绘制车灯罩壳外形线	114
三、绘制车灯罩壳外形面	126
四、创建车灯罩壳实体	141
五、创建车灯罩壳细节部分	145
第五章 汽车反光镜逆向造型	154
一、打开练习文件	154
二、绘制反光镜四周轮廓曲面	155



三、绘制反光镜顶面	166
四、绘制反光镜拱形面	176
五、裁剪反光镜外形	185
六、创建反光镜轮廓圆角	189
七、创建反光镜细节部分	206
八、创建反光镜实体	220
第六章 轮毂盘逆向造型	222
一、打开练习文件	223
二、绘制轮毂盘外形	223
三、创建轮毂盘上的半月孔	234
四、创建轮毂盘中间小孔	266
五、创建轮毂盘上的标志	322
六、创建轮毂盘实体	335
参考文献	337

第一章 逆向工程概述

一、逆向工程概述

逆向工程技术 (Reverse Engineering, RE), 也称逆向工程, 是在没有产品原始图样、文档的情况下, 对产品实物进行测量和工程分析, 经 CAD/CAM/CAE 软件进行数据处理, 重构几何模型, 并生成数控程序, 由数控机床重新加工复制出产品的过程。它有别于传统的由图样制造产品的顺向思维模式, 这项新技术一经问世, 立即受到了各国和学术界的高度重视。

逆向工程是相对于传统的产品设计流程即所谓的正向工程 (Forward Engineering, FE) 而提出的。正向工程是泛指常规的从概念 (草图) 设计到具体模型设计再到成品的生产制造过程。反向工程常指从现有模型 (产品样件、实物模型等) 经过一定的手段转化为概念模型和工程设计模型, 如利用三坐标测量机的测量数据对产品进行数学模型重构, 或者直接将这些离散数据转化

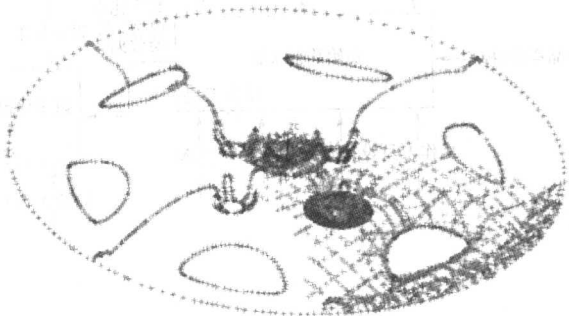


图 1-1

成 NC 程序进行数控加工而获取成品的过程, 是对已有产品的再设计、再创造的过程。图 1-1 为汽车轮毂帽三坐标测量机逆向采集数据, 图 1-2 为汽车轮毂帽 CAD 实物模型重现。

在经济全球化的压力下, 国家、企业面临的竞争日趋激烈, 市场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。



图 1-2

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設計方式。作为获取成品的两种不同途径,正向工程和逆向工程的设计流程对比如图 1-3 所示。

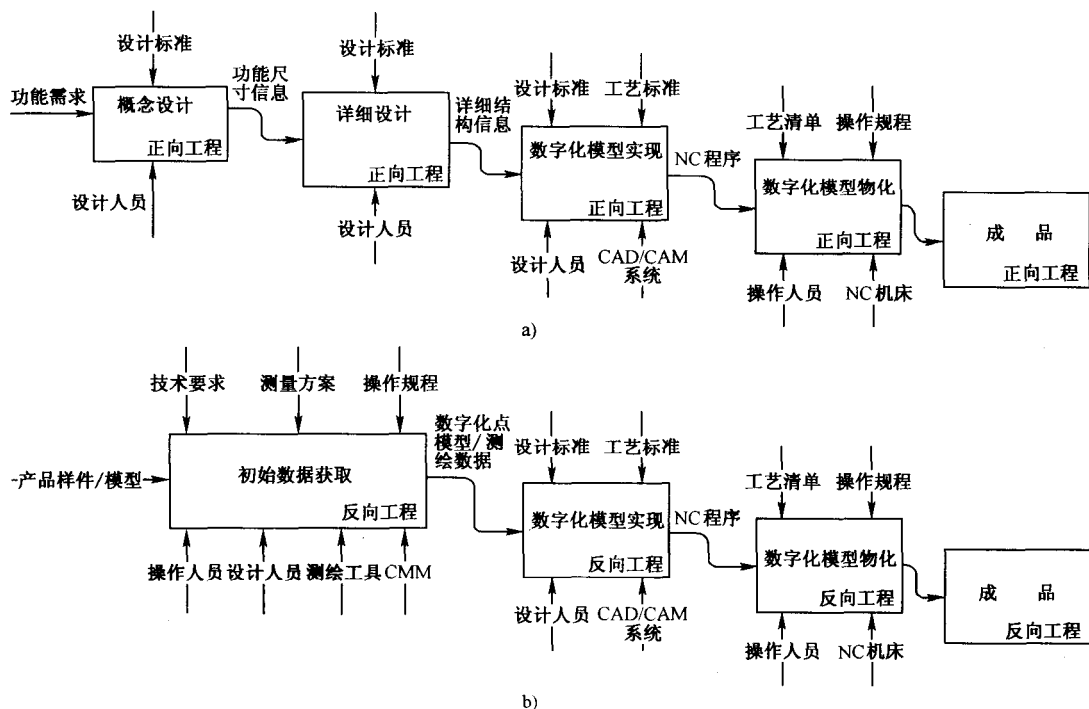


图 1-3

a) 正向工程 b) 反向工程

事实证明,技术引进是吸收国外先进技术,促进民族经济高速增长的战略措施。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对引进的技术进行消化与吸收的基础上,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。据有关统计资料表明,各国 70% 以上的技术都是来自外国,要掌握这些技术,除了技术引进外,另一重要途径就是通过逆向工程。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。

二、逆向工程的应用范围

随着逆向工程技术的不断发展,逆向工程已经成为联系新产品开发过程中各种先进技术的纽带,被广泛应用于家用电器、汽车、摩托车、飞机、模具等产品的改型与创新设计,成为消化、吸收先进技术,实现新产品快速开发的重要技术手段。具体说有以下几方面的应用:

(1) 新零件的设计 在工业领域中,有些复杂产品或零件很难用一个确定的设计概念来表达,但为了与客户交流,以获得优化的设计,设计者常常通过创建基于功能和分析需要的一个物理模型,来进行复杂或重要零部件的设计,然后用逆向工程方法从物理模型构造出



CAD 模型,在该模型的基础上可以作进一步的修改,实现产品的改型或仿型设计。

(2) 已有零件的复制 在缺乏二维设计图样或者原始设计参数情况下,需要将实物零件转化为数字化模型,从而通过逆向工程方法对零件进行复制,以再现原产品或零件的设计意图,并可利用现有的计算机辅助分析(CAE)、计算机辅助制造(CAM)等先进技术,进行产品创新设计。

(3) 损坏或磨损零件的还原 当零件损坏或磨损时,可以直接采用逆向工程方法重构该零件 CAD 模型,对损坏的零件表面进行还原或修补,从而可以快速生产这些零部件的替代零件,从而提高设备的利用率并延长其使用寿命。

(4) 模型精度的提高 设计者基于功能和美学的需要对产品进行概念化设计,然后使用一些软材料,例如木材、石膏等将设计模型制作成实物模型,在这个过程中,由于对初始模型改动得非常大,没有必要花大量的时间使物理模型的精度非常高,可以采用逆向工程的方法进行模型制作、修改和精练,提高模型的精度,直到满足各种要求。

(5) 数字化模型的检测 对加工后的零件进行扫描测量,再利用逆向工程方法构造出 CAD 模型,通过将该模型与原始设计的 CAD 模型在计算机上进行数据比较,可以检测制造误差,提高检测精度。

(6) 特殊领域产品的复制 如艺术品、考古文物的复制,医学领域中人体骨骼、关节等的复制,具有个人特征的太空服、头盔、假肢的制造时需要首先建立人体的几何模型,这些情况下都必须从实物模型出发得到产品数字化模型。

综上所述,逆向工程技术是一种以先进产品的实物、样件、软件作为研究对象,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,已经得到了广泛应用。它不仅可以消化和吸收实物原型,通过修改和再设计制造新的产品,还可以使得那些以实物为制造基础的产品有可能在设计和制造的过程中充分利用 CAD、CAM、CAE、RPM、PDM 及 CIMS 等先进制造及管理技术。逆向工程技术是一项开拓性、实用性和综合性很强的技术,具有广阔的市场前景。

三、逆向工程的数据采集技术

数据采集就是利用坐标测量得到逆向建模的数据,坐标测量技术和众多学科都有着紧密的联系,如光学、机械、电子、计算机视觉、计算机图形学、图像处理(如滤波、图像分块、轮廓提取、图像恢复)、模式识别等,其应用领域极为广阔,它也是实现逆向工程的基础。

总体上坐标测量设备分为非破坏性测量设备和破坏性测量设备等两大类。非破坏性测量设备可以分为接触式和非接触式两大类,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等,主要有三坐标测量机和机械手臂测量两种。而非接触式测量是基于光学、声学、磁学等原理,主要有结构光测距法、激光三角形法、激光测距法、干涉测量法、图像分析法等。

破坏性测量主要是自动断层扫描技术。该技术采用逐层铣削样件实物、去除材料,并逐层扫描断面的方法,获取零件原形不同位置截面的内外轮廓数据,并将其组合起来获得零件



的三维数据。它的特点是：可以测量任意形状、任意结构样件的数据，测量精度较高，片层最小可达 0.01mm。图 1-4 为逆向工程数据采集方法分类。

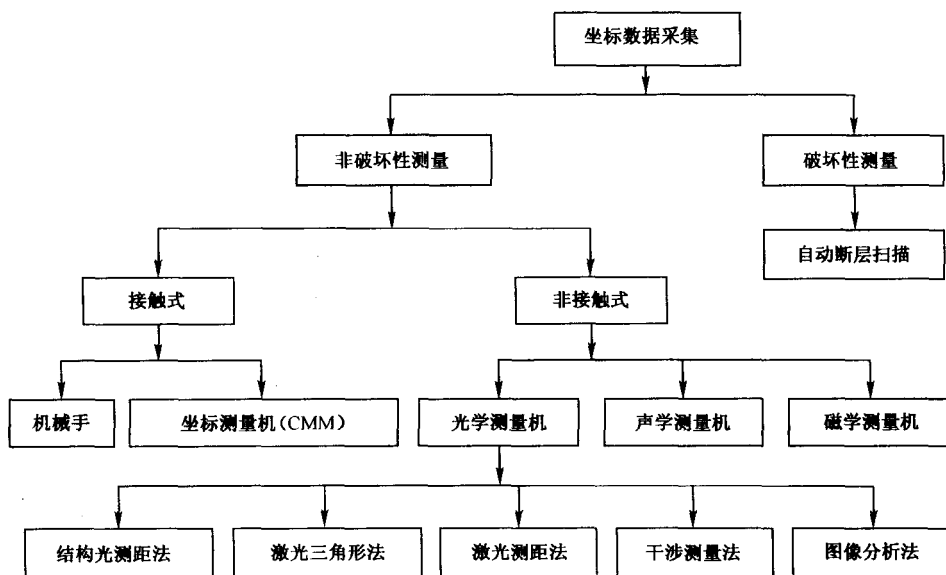


图 1-4

1. 接触式数据采集方法

接触式数据采集方法主要有基于力触发原理的触发式数据采集和连续扫描数据采集两大类方法。

(1) 触发式数据采集方法 触发式数据采集采用触发探头，当测头的探针接触到样件的表面时，由于探针尖受力变形触发采样中的开关，其大小和方向由传感器测出，通过模数转换，将测出的信号反馈给计算机，通过计算机运算，显示出所测量的三维点的坐标。逐点移动，就能采集到样件表面轮廓的坐标数据。在触发式数据采集过程中，由于探针必须偏移一个固定数值才会触发开关，而且一旦接触到样件的表面后，探针需要法向退出以免受力过大而折断，因此数据采集速度较低。对凹表面的测量不十分有效，内腔难以测量。

(2) 连续式数据采集方法 连续式数据采集采用模拟量开关采样头，由于数据采集过程是连续进行的，速度比点接触触发式采样头快许多倍，采样精度也较高。此外，由于接触力较小，允许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。由于采样速度快，连续式数据采集可以用来采集大规模的数据。

接触式测量技术已较成熟，国内外都有成熟的产品。国内主要的三坐标测量机生产厂家有中国航空精密机械研究所、西安爱德华测量设备有限公司、上海机床厂、上海光学仪器厂、北京机床研究所、新天精密光学仪器公司、昆明机床厂等 10 余家；国外著名厂商有美国 Sheffield 公司、美国 OGP 光学测量公司，德国 Zeiss 公司、意大利 Coor D3 公司。

英国雷尼绍公司的 CYCLON2 高速扫描仪，可实现激光测头和接触式扫描头的互换，激光测头的扫描精度达 0.05mm，接触式扫描测头精度可达 0.02mm，可对易碎、易变形的形体及精细花纹进行扫描。德国 GOM 公司的 ATOS 扫描仪在测量时，可随意绕被测物体进行移动，利用光带经数据影像处理器得到实物表面数据，扫描范围可达 8m × 8m。ATOS 扫描



不仅适于复杂轮廓的扫描，而且可用于汽车、摩托车内外饰件的造型工作。英国泰勒·霍普森公司的 TALYSCAN 150 多传感扫描仪等，集中体现了检测设备的高速化、廉价化和功能复合化等特点。

英国 Renishaw 公司的 Retroscan 系统可配装在现有的加工中心或数控铣床上，使之成为一台数控仿形铣床。它从数控系统的位置反馈环节直接读取机床的坐标值，因此其数据采集率更高，扫描速度更快。这些系统的扫描和切削功能彼此独立，因而可获得最快的扫描速度和最高的切削效率；机床规格满足被仿形模型或待加工毛坯的要求即可；可广泛适用于各种配装通用数控系统的普通数控铣床或加工中心。由于编程扫描，所以探针式测头每秒可采集几十个数据。把采集的数据存入计算机中，根据零件（或模具）制造的需要，既可以对扫描模型进行阴阳模转换、比例缩放、镜像、旋转、平移，根据用户设定自动生成型面等处理，也可以生成各种不同格式的 CAD 数据，送到其他 CAD/CAM 系统（如 RP 系统）中进一步处理或加工。

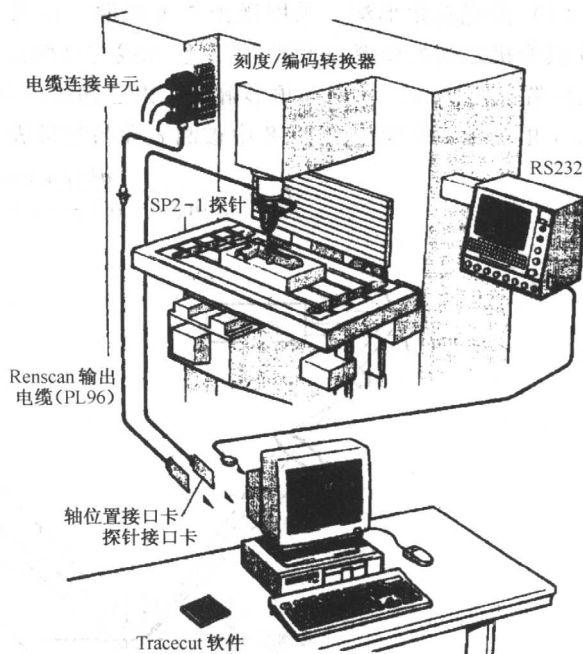


图 1-5

图 1-5 为 Renscan 200 系统的示意图，图 1-6 为二维数据采集示意图，图 1-7 为三维数据采集示意图。

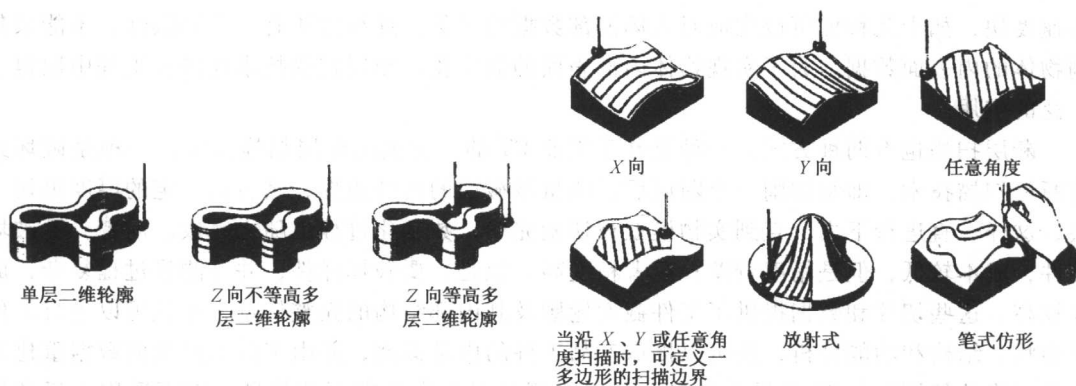


图 1-6

图 1-7

2. 非接触式测量方法

非接触式测量主要是基于光学、声学、磁学等原理，将一定的物理模拟量通过适当的算



法转化为样件表面的坐标点。非接触式方式采集实物模型的表面数据时,测头不与实物表面接触,主要运用光学原理进行三维数据采集。其方法主要有结构光测距法、激光三角形法、激光测距法、干涉测量法、图像分析法等。

(1) 激光三角形法 采用激光作为光源,以预定角度照射到被测物体上,利用光源和 CCD 摄像机之间的位置以及投射/反射光线与这两点连线所形成的指向之间的夹角来测算目标点位置三维坐标。利用三角形解法,由已知角度和距离就可计算得到被测表面任意一点的坐标(相对参考表面)。图 1-8 中被测表面与参考表面上两点在探测成像的位移 h 为

$$h = \frac{d \sin \varphi \cos \alpha}{a \sin(\theta + \alpha) + d \sin(\theta + \alpha + \varphi)}$$

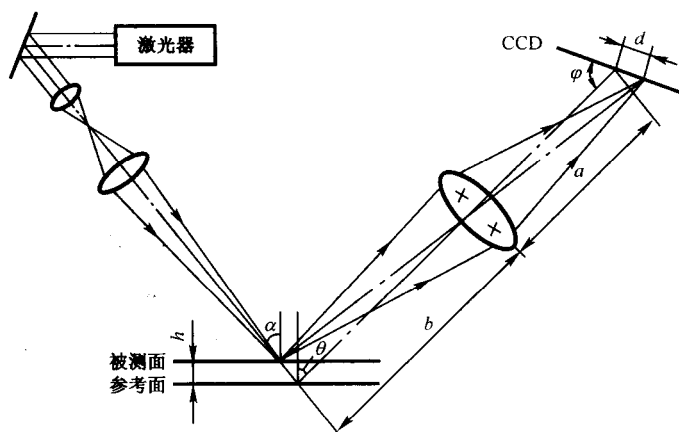


图 1-8

此方法已经成熟,光源和图像探测器安装在可移动平台上进行多轴扫描,解决了坐标定位问题,通常采用多测点布置,能快速完整地读取物体的表面点数据信息。其特点是数据采集速度快,如十几秒即可以完成对人体面部数据的采集。这种方法有一个局限性,不能采集到物体的内表面数据。为了实现物体内部表面的数字化,断层扫描技术在逆向工程中取得了广泛的应用。

断层扫描也有两种方式:一种是基于工业 CT 的、无损的断层扫描技术;一种是破坏式的断层扫描技术,即每切削一个断层后,测量该截面的内外边界,然后以一定的厚度再切一层,这样一直进行下去,直到实物模型被切割完毕,数字化过程也随之完成。前者,不破坏零件,成本较低,但是精度较差;后者精度高,但是,要破坏样件,并且测量过程复杂,成本较高。这些切片和数据提供了工件截面轮廓及其内部结构的完整信息,不仅可以进行工件的形状、结构和功能分析,还可以提取产品工件的内部截面,并由工件系列截面数据重建工件的三维几何模型。CT 的最大优点在于它能测量工件内部断面的信息,因而适用于任意的形状结构,但测量精度低。

结构光测距法被认为是目前三维形状测量中最好的方法,它的原理是将具有一定模式的光源,如栅状光条投射到物体表面,然后用两个镜头获取不同角度的图像,通过图像处理的方法得到整幅图像上像素的三维坐标。这种方法具有速度快、无需运动平台的优点。



四、三坐标测量机

三坐标测量机是 20 世纪 60 年代发展起来的一种高效率的新型精密测量仪器。它广泛应用于制造、电子、汽车和航空航天等工业中。起初是作为一种检测仪器，对零件和部件的尺寸、形状及相互位置进行检测。此外，还可用于划线、定中心孔、光刻集成线路等。由于三坐标测量机具有对连续曲面进行扫描来制备数控加工程序的功能，因此，一开始就被选为逆向工程的主要的数字化设备，并一直使用至今。

作为一种测量仪器，三坐标测量机主要是比较被测量与标准量，并将比较结果用数值表示出来。三坐标测量机需要三个方向的标准器（标尺），利用导轨实现沿相应方向的运动，还需要三维测头对被测量进行探测和瞄准。此外，测量机还具有数据自动处理和自动检测等功能，需要由相应的电气控制系统与计算机软硬件实现。

三坐标测量机由主机、CNC 装置、测头、伺服系统和电气系统等部分组成，其工作原理如图 1-9 所示。

被测样件定位在工作台上，当测杆球头接触到被测工件时，测头内部产生一触发信号，它通过发信臂内的电磁耦合器将此信号传给受信模块，再进入控制器。信号进入控制器，经整形由相应的接口传到数控系统的指令端，向机床发出终止移动指令，从而使测杆球头接触工件瞬间的坐标位置被触发信号“封锁”，并进行运算

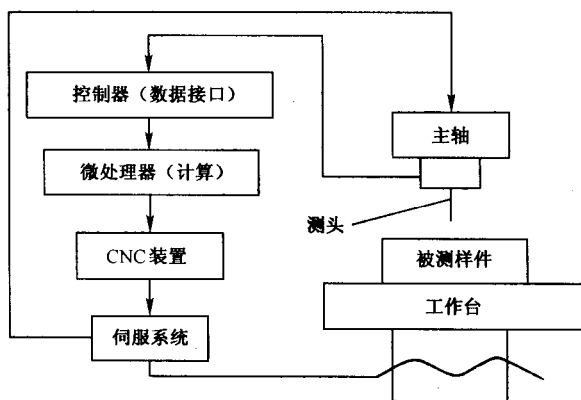


图 1-9

处理，同时测量机进入下一个程序段。重复上述测量过程，自动完成所需坐标数据的测量。

1. 主机

三坐标测量机的主机结构如图 1-10 所示。

(1) 框架结构 指测量机的主体机械结构架子，它由工作台、立柱、桥框、壳体等机械结构组成。

(2) 标尺系统 它是三坐标测量机的重要组成部分，包括线纹尺、精密丝杠、感应同步器、光栅尺、磁尺及数显电气装置等。

(3) 导轨 实现三维运动，多采用滑动导轨、滚动导轨和气浮导轨，以气浮导轨为主要形式。气浮导轨由导轨体和气垫组成，包括气源、稳压器、过滤器、气管、分流器等气动装置。

(4) 平衡部件 主要用于 Z 轴框架，以平衡 Z 轴的重量，使 Z 轴上下运动时无偏重干扰，Z 向测力稳定。

(5) 转台与附件 使测量机增加一个回转运动的自由度，包括分度台、单轴回转台、万能转台和数控转台等。

2. CNC 装置



CNC 装置包括印制电路板、显示器、接口、输入设备等软硬件系统，是测量机的核心。

3. 三维测头

三维测头即三维测量传感器，它可在三个方向上感受瞄准信号和微小位移，以实现瞄准和测微两项功能，主要有硬测头、电气测头、光学测头等。测头有接触和非接触式之分。按输出信号分，有用于发信号的触发式测头和用于扫描的瞄准式测头、测微式测头等。

4. 伺服系统

伺服系统包括驱动单元和伺服电动机，是用来驱动测量机的执行机构，实现机动和程序控制

伺服运动功能，由丝杠螺母、滚动轮、钢丝、齿形带、齿轮齿条、光轴滚动轮、伺服电动机等组成。

5. 电气系统

(1) 电气控制系统 它是测量机的电气控制部分，包括外围设备控制、通信控制和保护与逻辑控制等，实现具有单轴与多轴联动。

(2) 计算机硬件部分 包括各式 PC 机和工作站。

(3) 测量机软件 包括控制软件与数据处理软件，可进行坐标变换与测头校正，生成探测模式与测量路径，还用于基本几何元素及其相互关系的测量，形状与位置误差测量，齿轮、螺纹与凸轮的测量，曲线与曲面的测量等，具有统计分析、误差补偿和网络通信等功能。

(4) 打印与绘图装置 其功能是根据测量要求打印输出数据、表格、绘制图形等。

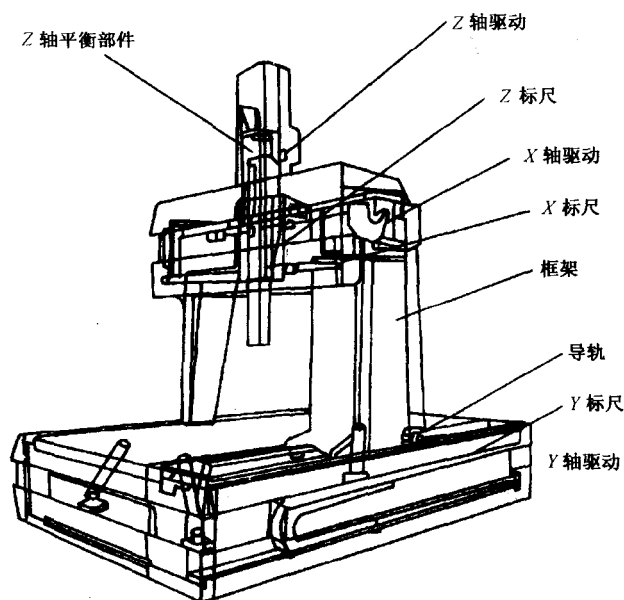


图 1-10

五、测量数据的处理技术

数据处理是逆向工程的一项重要的技术环节，它决定着后续的模型重建过程能否方便、准确地进行。在和测量设备的数据传输中，IGES 格式仍然是首选的数据转换格式标准，几乎所有的 CAD 系统都支持这一标准格式。

测量数据的处理目的首先是除去模型中冗余的数据点，最好只留下恰恰够得上重构出 CAD 模型的数据量。但是这个尺度是很难把握的，一般来说，预处理后的点云模型仍然存在较多的数据冗余，不过已经可以大大减轻 CAD 系统的负担，因为许多 CAD 系统对点云模型的处理能力是非常有限的。例如对数以万计点云的显示问题，大多数 CAD 系统都要占用大量的内存，因此刷新速度很慢，导致工作无法开展。其次是对噪声点进行过滤。具体内容



有以下几方面:

- 1) 补偿点产生。
- 2) 噪声点删除。
- 3) 数据点精化。
- 4) 数据点加密。
- 5) 坐标变换。
- 6) 数据的格式转换和数据输出。

1. 噪声点的处理

无论是接触法还是非接触法获取的数据,都不可避免地在真实数据点中混有不合理的噪声点,过滤掉噪声点是逆向工程中数据处理的基础。最简单的噪声除去方法是人机交互,在数据序列中将这些点删除。对大范围“数据云”的噪声过滤常用程序判断滤波、N点平均滤波以及预测误差递推识别等方法。上述的每种方法都面临着既要消减噪声点又要保持真实点不受损过多的矛盾。

2. 测量数据分块

在实物逆向中,由于样件结构或测量设备的限制,在数据测量之前要预先对零件进行分块,这样测量得到的数据就是分块数据。另外,出于数据处理需要,也可以在数据测量完成之后,通过产品的功能、结构分析以及数据的曲率分布,定义曲面边界,提取边界线,对测量数据进行分块。

对测量数据进行分块,可将复杂的数据处理问题简化,使后期的曲面局部修正变得方便灵活,有利于提高精度。分块数据曲面重构的选择性较好,很多参数曲面在曲率大范围扰动时的拟合状况并不理想。采用曲率法来检测数据分块区的边界线,对散乱点数据分块主要分为基于边和基于面两种方法。

1) 基于边的方法首先是从数据点集中,根据组成曲面片的边界轮廓特征、两个曲面片之间的相交、过渡特征,以及形状表面曲面片之间存在的棱线或脊线特征,确定出相同类型曲面片的边界点,连接边界点形成边界环,判断点集是处于环内还是环外,实现数据分块。

2) 基于面的技术是确定哪些点属于某个曲面,这种方法和曲面的拟合结合在一起,在处理过程中,这种方法同时完成了曲面的拟合。

在实际的产品中,只由一张曲面构成的情况不多,产品形面往往由多张曲面混合而成。由于组成曲面类型不同,所以CAD模型重建分解为:先分别拟合单个曲面片,再通过曲面的过渡、相交、裁剪、倒圆等手段,将多个曲面“缝合”成一个整体,重建模型。

事实上,数据分块和曲面拟合是一对矛盾的统一体,如果知道将要拟合的是那一种曲面,我们立即能划分属于它的数据点;反之,如果确切地知道属于一种曲面类型数据点集,根据点集,我们能拟合出最优的曲面。但是,多数场合,我们既不知道曲面类型,也不能划分数据点集,只能在两个过程的并行中,反复计算,反复估值,反复迭代,寻求最佳的结果。

六、产品模型的重构技术

实物的三维CAD模型重建是整个逆向工程过程最关键、最复杂的一环,因为后续的模式



具设计、数控加工、快速原型制造、虚拟制造仿真、CAE 分析和产品的再设计等应用都需要 CAD 数学模型的支持, 这些应用都不同程度地要求重建的 CAD 模型能准确地还原实物样件。产品模型重构的精度受两个因素的影响, 一是设备硬件, 包括数字化设备和造型软件; 二是操作者 (包括测量和造型人员) 的经验。整个环节具有工作量大、技术性强的特点。目前, 成熟的模型重建方法可根据数据类型、数据来源、造型方式分类

- 1) 按数据类型, 可分为有序点和散乱点的重建。
- 2) 按测量机的类型, 分为基于 CMM、激光点云、CT 数据和光学测量数据的重建。
- 3) 按造型方式, 分为基于曲线的模型重建和基于曲面的直接拟合。

1. 曲线拟合

曲线是构建曲面的基础, 在逆向工程中, 对于给定的组型值点, 如果构造出的曲线偏离原始型值点, 则称之为逼近或拟合。样条曲线是一条通过一系列型值点的曲线, 但有时让样条通过每一型值点时, 样条会产生波动。所以, 在生成样条时不必强制样条通过每一型值点, 而是设定一允许误差值, 根据允差在每一型值点周围划出一区域, 只要样条经过每一个区域, 就是合乎要求的样条曲线。允差值设得越小, 生成的样条曲线就越容易产生波动; 允差值设得越大, 样条曲线会越光滑。但光滑与偏离原始型值点的关系是矛盾的, 一方面光滑就是要修改原始型值点, 而另一方面又希望型值点尽量少修改。对这个问题的处理, 要根据具体情况而定。

(1) 逼近法拟合曲线 首先指定一个允许误差值, 并设定曲线控制顶点的数目, 用最小二乘法求出一条曲线后, 计算测量点到曲线的距离作为点到曲线的误差值。若最大的距离值大于逼近误差值时, 则需增加控制顶点的数目, 重新拟合曲线, 直到测量点的误差小于逼近误差。

(2) 插值法拟合曲线 插值法拟合曲线就是要求构造一条曲线通过所有测量点。这种方式的优点是曲线与点数据的误差为零。缺点是当点数据量过大时, 则曲线控制点也相对增多, 同时不能除去由于测量带来的坏点 (噪声点)。因此, 使用插值法拟合曲线时, 应先进行数据平滑处理以去除掉测量坏点。

2. 曲面重构

按曲面构造分, 主要有两种方法: 第一种是以三角 Bezier 曲面为基础的曲面构造方法, 具有构造灵活、边界适应性好的特点。其不足之处在于所构造的曲面模型不符合产品描述标准, 并与通用的系统通信困难。此外, 有关三角 Bezier 曲面的一些计算方法的研究还不太成熟。第二种是以 B 样条或 NURBS 曲面为基础的曲面构造方法, 能够在一个系统中严格地以统一数学模型定义产品几何形状, 使得系统精简, 并可采用统一的数据库, 易于数据管理。

B 样条及 NURBS 曲面表示是目前成熟的商品化 CAD/CAM 系统中广泛采用的曲面表示方法, 这类曲面可以应用四边参数曲面片插值、拉伸、旋转、放样 (Lofting) 或蒙皮 (Skinning)、扫掠 (Sweeping)、混合 (Blend) 和四边界方法 (Boundaries) 构造, 也称矩形域的参数曲面或四边曲面, 以此为基础, 已形成一套完整的曲面延伸、求交、裁减、变换、光滑拼接及曲面光滑等算法。

按造型方式, 分为基于曲线的曲面重建方法和基于测量点直接拟合的曲面造型方法。

1) 基于曲线的曲面重建方法的原理是在数据分块的基础上, 首先由测量点插值或拟合出组成曲面的网格样条曲线, 再利用系统提供的放样、混合、扫掠和四边曲面等曲面造型功



能进行曲面模型重建,最后通过延伸、求交、过渡、裁减等操作,将各曲面片光滑拼接或缝合合成整体的复合曲面模型。

基于曲线的曲面重建方法实际上是通过组成曲面的网格曲线来构造曲面,是原设计的模拟,在预知曲面特征信息,如原曲面类型、构建方式等时,能准确地重建原模型的几何拓扑特征,对规则形状物体是一种有效的模型重建方法。如果模型是由自由曲面组成的复合曲面,其几何拓扑信息难以从实物及数据模型中估计,采用基于曲线的曲面重建方法需反复交互选取曲面造型方式,使构建的曲面片满足光滑和精度的要求。

基于曲线的曲面重建方法要求截面扫描测量,截面尽量和曲面的母线或曲面扫描轨迹线垂直,测量数据点分布均匀,最好是 U、V 两个方向都进行截面扫描,但在曲面数学模型未知的情况下较难做到。

2) 基于测量点直接拟合的曲面造型方法。基于测量点的曲面重建方法的原理是直接建立满足对数据点的插值或拟合曲面,既能处理规则点也能直接拟合散乱点。它有如下的优点:在大量的数据点上工作,支持面对点的最佳拟合。曲面一般选取 B 样条表示,在曲面重建中,能够构造出作为标准的 B 样条曲面,并且,其最终的曲面表达式也较为简洁。

一个有经验的造型人员,在模型重建之前,应详细了解模型的前期信息和后续应用要求。前期信息包括实物样件的几何特征、数据特点(类型、完整性)等;后续应用包括结构分析、加工、制作模具、快速原型等,以选择正确有效的造型方法、支撑软件、模型精度和模型质量。

在实践中,进行模型重建时选择哪种造型方法取决于测量数据的类型和模型的几何特征以及曲面的复杂性。基于曲线的造型方法较适合于有序的测量数据,并且外形是以某种确定的造型方式生成的曲面模型。这种方法的不足之处在于,如果曲线分布较密,曲面造型通过所有的曲线,不能保证曲面的光滑性;反过来,选定曲线的数量较少时,又难以保证曲面的精度。对曲面片的直接拟合造型来说,数据分块的准确又显得十分重要,因为,如果用一张曲面片去拟合由两个及两个以上的曲面类型组成的曲面,最终拟合曲面一般都是不光滑的。另外,需指出的是,这两种方法并不是独立的,实际造型时,对同一个实物模型也许两种造型方式(针对不同的曲面片)都会选择。

3. 基于特征的模型恢复技术

在产品设计过程中,一般以零件的力学性能、流体动力学性能或美观性要求作为设计的评价指标,产品几何形状、造型方法及设计参数的确定必须满足这些设计要求。要使逆向工程产品仍能满足这些要求,就需要在逆向工程 CAD 建模过程中尽量还原产品原始设计参数。

原始设计参数还原是逆向工程的基础,如何从测量数据点中确定原设计参数是一个特征识别问题。参考特征造型的特征定义方法,原设计参数可定义为几何特征参数、形状特征参数、精度特征参数、性能特征参数、制造特征参数等。

要按照原始设计方案进行逆向工程 CAD 建模,就需要基于测量数据提取产品特征设计参数,并进行特征重构和特征运算,进而完成产品数字化模型重建。与正向设计中的曲面造型方法相对应,在三维模型重建中,实物的几何特征和形状特征识别是建模的关键,它能为设计者提供准确的几何信息,可以对测量数据直接进行修正以消除误差,单纯依据测量数据,有时会得到错误的模型,如直线的拟合和圆孔直径的确定。对于由直线、圆弧等构成的实物棱线及轮廓特征、等半径的倒圆特征、对称特征、圆孔特征以及由平面、柱、锥、球、