

普通高等院校机械基础实验规划教材

SHUZHUA SHEJI YU ZHIZAO SHIYAN JIAOCHENG

主编 宋丹路 副主编 黄华川

数字化设计与制造 实验教程



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

普通高等院校机械基础实验规划教材

数字化设计与制造实验教程

主 编 宋丹路

副主编 黄华川

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

图书在版编目 (C I P) 数据

数字化设计与制造实验教程 / 宋丹路主编. —成都:
西南交通大学出版社, 2010.8
普通高等院校机械基础实验规划教材
ISBN 978-7-5643-0830-8

I. ①数… II. ①宋… III. ①数字技术—应用—机械
设计—高等学校—教材②数字技术—应用—机械制造工艺
—高等学校—教材 IV. ①TH122②TH164

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 164687 号

普通高等院校机械基础实验规划教材

数字化设计与制造实验教程

主编 宋丹路

责任编辑	孟苏成
封面设计	本格设计
出版发行	西南交通大学出版社 (成都二环路北一段 111 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 编	610031
网 址	http: //press.swjtu.edu.cn
印 刷	成都蜀通印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	18.25
字 数	453 千字
版 次	2010 年 8 月第 1 版
印 次	2010 年 8 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-0830-8
定 价	31.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

前 言

数字化设计 (Digital Design) 是以实现新产品为目标, 以计算机软硬件技术为基础, 以数字化信息为辅助手段, 支持产品建模、分析、修改、优化以及生成设计文档的相关技术的有机集合。数字化制造 (Digital Manufacturing) 是以产品制造过程的规划、管理、控制为对象, 以计算机作为直接或间接工具, 以控制生产设备, 实现产品制造和生产的技术的有机集合。

数字化设计与制造技术集成了现代设计制造过程中的多项先进技术, 包括三维建模、装配分析、运动学及动力学仿真验证、优化设计、系统集成、产品信息管理、虚拟设计与制造、反求工程与快速制造、多媒体和网络通信等, 是一项多学科的综合技术, 是现代先进制造技术的重要组成部分。

随着现代科学技术的发展, 数字化设计与制造不仅贯穿企业生产的全过程, 而且涉及企业的设备布置、物流物料、生产计划、成本分析等多个方面。数字化设计与制造技术的应用可以大大提高企业的产品开发能力、缩短产品研制周期、降低开发成本、实现最佳设计目标和企业间的协作, 使企业能在最短时间内组织全球范围的设计制造资源开发出新产品, 从而大大提高企业的竞争能力。

为了提高数字化设计与制造技术的应用能力, 本书在内容设计上紧密结合现代制造业的新技术、新工艺、新装备, 一方面进一步强化三维 CAD 建模、CAM 代码生成与仿真、数控机床操作等基础; 另一方面系统地将基于光学扫描的逆向设计技术、FDM 以及 SLA 工艺的快速原型技术、基于 ADAMS 软件的虚拟样机技术等引入实验教学。全书结构严谨, 既可以作为机械设计制造及自动化、工业设计、材料成形与控制工程、过程装备与控制工程、工业工程等专业学生相关课程的实验实习教材, 也可以作为一般工程技术人员的参考书。

全书共 5 部分, 依次是反求工程与快速制造、UG NX CAD、UG NX CAM、虚拟样机技术及 Adams 软件应用、数控机床加工操作。全书由宋丹路任主编、黄华川任副主编。第 1、2 章由张建生编写, 第 3 章由宋丹路编写, 第 4、5 章由黄华川编写, 第 6、7、8 章由李光明编写, 第 9、10、11 章由臧红彬编写, 第 12、13、14 章由任国华编写。

在本书编写过程中, 参阅了一些编著者的著作和文章, 在参考文献中未能一一列出, 在此一并谨向他们表示诚挚的感谢。由于水平和时间所限, 书中难免有疏漏与不妥之处, 敬请批评指正。

编 者

2010 年 7 月

目 录

第1部分 反求工程与快速制造

第1章 反求工程	1
1.1 反求工程出现和发展的时代背景	1
1.2 反求工程的含义	1
1.3 反求工程的研究内容	3
1.4 反求工程的作用及应用领域	6
1.5 反求工程的关键技术	7
1.6 非接触式测量方法操作实例	13
实 验	16
第2章 快速制造	17
2.1 快速原型制造技术产生的背景	17
2.2 快速原型制造技术的基本原理	17
2.3 RP技术的工作流程及工艺特点	18
2.4 快速原型制造技术的类型	20
2.5 RP技术的应用	25
2.6 快速成形技术的发展方向	26
2.7 主流快速成形设备供应商	27
2.8 光固化成形法制作原型件实例	32
实 验	37

第2部分 UG NX CAD

第3章 UG NX CAD 基础知识	38
3.1 Unigraphics NX 的界面	38
3.2 基本操作	39
3.3 绝对坐标系、WCS 和工作平面	40
3.4 布尔运算	41
第4章 草 图	43
4.1 草图基础知识	43
4.2 曲线命令	45
4.3 约束命令	54
4.4 操作命令	60

4.5 实 例	62
实 验	64
第 5 章 特征建模	65
5.1 定位方法	65
5.2 体素特征	65
5.3 设计特征	67
5.4 细节特征	69
5.5 实 例	71
实 验	75

第 3 部分 UG NX CAM

第 6 章 NX6.0 加工模块环境设置及界面介绍	78
6.1 CAD/CAM 一体化技术	78
6.2 NX6.0 数控加工概述	78
6.3 NX6.0 的加工过程及加工类型	82
6.4 NX6.0 的加工步骤	85
第 7 章 平面加工	90
7.1 工件分析	90
7.2 工件平面加工	90
7.3 凹模的凹腔粗加工	96
7.4 凹腔侧壁的精加工	103
第 8 章 复合加工	108
8.1 基本的工作流程	108
8.2 工件工艺分析	108
8.3 选择加工环境的设置	108
8.4 定义工件几何体	109
8.5 创建刀具组	112
8.6 创建相应的操作方法及参数	113
8.7 创建冲压件的加工程序	113

第 4 部分 虚拟样机技术及 ADAMS 软件应用

第 9 章 虚拟产品开发与虚拟样机技术	121
9.1 虚拟产品开发与虚拟样机技术	121
9.2 功能虚拟样机及机械系统动力学分析与仿真	124

9.3 机械系统动力学分析与仿真的发展方向及前沿	129
第 10 章 ADAMS 软件介绍	132
10.1 ADAMS 软件概述	132
10.2 MSC.ADAMS 软件基本模块	134
10.3 ADAMS 软件扩展模块	137
10.4 ADAMS 软件接口模块	139
10.5 ADAMS 软件专用领域模块	141
第 11 章 MSC.ADAMS 软件应用实例	144
11.1 弹簧挂锁设计实例	144
11.2 新型多足仿生机器人设计与仿真分析	165
11.3 ADAMS 软件中机构模型的优化综合	169
实 验	172
 第 5 部分 数控机床加工操作	
第 12 章 数控铣床编程与操作	175
12.1 数控铣床概述	175
12.2 数控铣削加工工艺	179
12.3 数控铣床程序编辑	185
12.4 数控铣床的操作	203
实 验	223
第 13 章 数控车床编程与操作	224
13.1 数控车床的编程	224
13.2 FANUC0i—TB 数控车床的操作	228
13.3 数控车床加工实例	230
实 验	234
第 14 章 特种加工	235
14.1 特种加工简介	235
14.2 电火花线切割加工	236
14.3 电火花成形加工	243
14.4 其他特种加工	247
实 验	249
实验报告	251
参考文献	283

第 1 部分 反求工程与快速制造

第 1 章 反求工程

1.1 反求工程出现和发展的时代背景

第二次世界大战中,几十个国家卷入战火,饱受战争的创伤。特别是战败国,在“二战”结束后,急于恢复和振兴经济。日本在 20 世纪 60 年代初提出了科技立国方针:“一代引进,二代国产化,三代改进出口,四代占领国际市场”,并在汽车、电子、光学设备和家电等行业上最为突出。为了进行国产化改进,迫切需要对国外产品进行消化、吸收,改进和挖掘产品潜力,这就是反求设计 (Inverse Design) 或是反求工程 (Inverse Engineering),两者是同一内涵,仅是不同国家的不同提法而已。

实际上,任何产品的问世,包括创新、改进和仿制的产品,都蕴涵着对已有科学技术的继承和应用借鉴。因而反求思维在工程中的应用已源远流长。而提出反求工程这一术语并作为一门学问去研究则起源于 20 世纪 60 年代,但是对它从工程的广泛性去研究,从反求的科学性进行深化还是从 20 世纪 90 年代初开始。发展到现在,反求工程已成为世界各国在发展经济中不可缺少的手段和重要对策。反求工程的大量采用为日本的经济振兴、进而创造和开发各种新产品奠定了良好基础。

市场经济竞争机制已渗透到各个领域,如何发展科技和经济,世界各国都在研究对策。从共性特征可概括为 4 个方面的对策:

- (1) 大力提倡创造性。包括新的思维方法、新原理、新理论、新方案、新结构、新技术、新材料、新工艺、新仪器等。对于发展一个国家的国民经济来说,创造性是永恒的主题。
- (2) 研究和应用新的设计理论、方法去改造和完善传统的方法,以便既快又好地设计出新型产品。
- (3) 把计算机应用广泛地引入产品设计、开发的全过程(预测、决策、管理、设计制造、试验、销售服务等)中,以期达到这些过程的一体化、智能化和自动化。
- (4) 研究和应用反求工程,以便在高起点去创造新产品。

1.2 反求工程的含义

反求工程是综合性很强的术语,它以设计方法学为指导,以现代设计理论、方法、技术

为基础,充分运用各种专业人员的工程设计经验、知识和创新思维,对已有新产品进行解剖、深化和再创造,是对已有设计的设计,这就是反求工程的含义,特别强调再创造是反求的灵魂。

反求工程类似于反向推理,属于逆向思维体系,在工程设计领域具有独特的内涵。

反求工程技术是测量技术、数据处理技术、图形处理技术和加工技术相结合的一门综合性技术。随着计算机技术的飞速发展和上述单元技术的逐渐成熟,近年来,在新产品设计开发中越来越多地得到应用,因为在新产品开发过程中需要以实物(样件)作为设计依据参考模型或作为最终验证依据时尤其需要应用该项技术,所以在汽车、摩托车的外形覆盖件和内装饰件的设计,家电产品外形设计,艺术品复制中对反求工程技术的应用需求尤为迫切。

1.2.1 正向设计与反向设计

人们通常所说的设计,一般均指正向设计。它是对一个事物真相事先并不知道,通过设计师的创造性劳动,变为人类需要的喜爱的产品。为此,首先要根据市场需求,提出目标和技术要求,进行功能设计,创造新方案,经过一系列的设计活动,变为产品。概括地说,正向设计是由未知到已知、由想象到现实的过程,其示意图如图 1.1 所示。

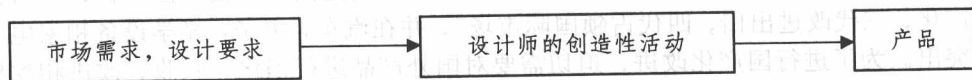


图 1.1 正向设计过程示意图

反向设计是从已知事物的相关信息(包括硬件、软件、照片、广告、情报等)去寻求这些信息的科学性、技术性、先进性、经济性、合理性、国产化的可能性等,要回溯这些信息的科学依据,即充分消化和吸收,而更重要的是在此基础上进行改进、挖潜,进行再创造。反求的目标如仅限于仿制,则是最原始、低级的模仿,其质量和生命周期不会具有竞争力,更严重的则是侵权行为,要受到法律的制裁。图 1.2 为反向设计过程示意图。

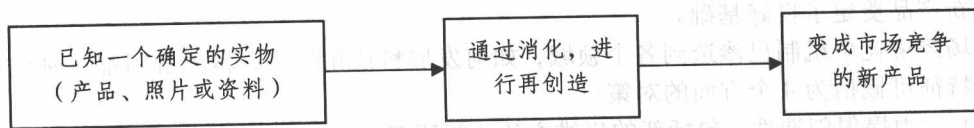


图 1.2 反向设计过程示意图

正向设计解答了“怎么做”的问题,即设计任务提出后,怎样实现和达到预定目标。而反向设计则解答了“为什么要这样做”的问题,即已知目标后,要探索和掌握这种目标的设计者是如何一步一步实现的,反求别人脑袋里是怎样想和怎样做的,要摸清设计意图、所用技术、关键和设计理论与方法。从这个意义上说,正向设计是主动的创造,而反向设计则是先被动后主动的创造,颇有一番难度。故反求并非正向设计的简单逆过程,因为一个先进成熟的产品,凝聚着设计者的智慧和技术,要去吃透、消化,包含着很多复杂内容。往往吃透别人的技术比自己创造还难,这是因为:

- (1) 先进产品中总有“绝招”、“诀窍”和关键技术,反求设计者并不掌握。
- (2) 别人的思维不会告诉你,要想“钻进别人脑袋里去挖出来”,要付出艰苦的劳动。

多年来我国测绘仿制的产品,大多数达不到原产品的水平,涉及的原因、内容和技术是多方面的,也正好说明发展反求工程的研究和应用是非常重要的。

正向设计和反向设计既有区别又相辅相成,具有丰富正向设计经验和水平的人员,可以显著提高反求水平;反向设计的成功经验同样也可以促进正向设计的水平提高。但缺乏正向设计经验者,反向设计也不能充分消化吸收。站在国家角度来说,吃透别人的技术仅仅是第一步,在此基础上结合国情进行再创造,变成有自主权和竞争力的新产品,才是反求工程的完整意义和目的。

1.2.2 反求工程与知识产权

任何一项新技术、新产品,应该受到有关法律如专利法、知识产权法、商标法等保护,这是国际性的共同行为规范,这样才能引导正常的市场竞争和贸易。反求工程绝不等于偷技术,它是在科技道德和法律制约下,从学术、工程、技术方面来促进科技的发展。这是因为:

(1) 任何产品的设计、开发,总要借鉴、继承已有的知识和技术,市场上的产品总要被别人借鉴,关键要划清产权的界限。

(2) “青出于蓝而胜于蓝”是发展规律,通过反求来发展新产品,具有起点高,周期短和成效快的特点,绝非照抄照搬。

(3) 科学的反求,有助于促进技术革新,扩大眼界,有助于尽快培养新人。

但是应该强调,作为一个国家、民族,为发展科技和振兴经济,不能全靠反求来生存,鼓励独立的创造性永远是主旋律或主题。

1.3 反求工程的研究内容

反求工程研究对象多种多样,所包含的内容也比较多,从工程技术角度上讲,反求对象可概括为实物反求、软件反求和影像反求3类。

1.3.1 实物反求

顾名思义,它是在已有实物条件下,通过试验、测绘和详细分析,提出再创造的关键。其中包括功能反求、性能反求以及方案、结构、材质、精度、使用规范等众多方面的反求。实物反求对象可以是整机、部件组件和零件。

1. 试验方案和试验方法

实物反求,首先要在未解体前进行功能、性能等全面试验考核,测试其各项功能和性能指标。为此,应解决以下几项内容:

(1) 根据样本、使用说明书,摸清实物有哪些功能指标。

(2) 制订试验条件和试验规范。

(3) 选择和完善试验台及相应测试仪表和精度。

(4) 对试验结果的科学处理,其中有静态数据和动态数据。

(5) 记录试验中出现的故障现象,为进一步分析提供依据。

总之,通过试验,要客观捕捉和反映原机的真实面貌,总结其优点和不足。对有些样机,不仅要上台架试验,必要时还要做野外行走试验。

2. 测绘中的几项关键

(1) 尺寸、精度问题。一般样机都要经出厂磨合试验和性能试验,这样,其尺寸、形状、表面等精度会有变化,要反求其公差和表面精度。

(2) 曲线和曲面拟合问题。有些零件或组件,尽管可测出其特征点,但难以勾画出其形状(如三维曲面),这就要用三坐标测量和 CAD 中曲面造型等技术去解决。

(3) 无损检测问题。对样机的零件测绘不允许有损伤,要能恢复原状。例如,有些零件表面有耐磨、耐蚀或美观性等很薄涂层;材质成分和硬度;内表面难以测量的尺寸和形状等,就必须用无损检测,一般可用激光技术、材料转移的光谱技术、三维全息照相显示技术等。

(4) 测绘后对关键问题的分析和反向设计问题。测绘完后要完整变成图纸,需各种标注和根据对零件工作特性提出技术要求;特殊的形状曲线如高次方凸轮轮廓、各种过渡曲线等应通过优化设计反求其科学依据;箱体等结构复杂件应采用有限元法去反求其强度和刚度等。

测绘后的反求是试验反求后的进一步深化,能否消化、摸底,提出改进挖潜和再创造的途径,是这阶段的关键,有众多内容要做,而且不同对象上有其特殊个性,这里仅列出机械产品中的一些问题。

1.3.2 软件反求

产品样本、技术文件、设计书、使用说明书、图纸、有关规范和标准、管理规范和质量保证手册等均称为技术软件。软件反求中有 3 类情况:

(1) 既有实物,又有全套技术软件。

(2) 有实物而无技术软件。

(3) 无实物,仅有全套或部分技术软件。

每类反求各有特点和难点,这里仅就如何利用 CAD 技术对复杂曲面的反求进行介绍。

1.3.3 利用 CAD 技术对复杂曲面的反求

有很多复杂曲线、曲面,可以测出其特点,但很难靠人工绘图方法,去拟合和拼接出原来的曲面,例如,液力变矩器、涡轮增压器的三维曲面,汽车车身外形曲面等。随着现代科技的发展,则有条件去精确测量和反求。

1. 利用三坐标测量仪与 CAD 软件进行反求

三坐标测量仪在设定基准下可以测出所需要的全部三维点坐标,是表面数字化过程,如何利用这些数值信息构成曲面,需利用 CAD 软件中曲面重构处理。目前商品化的 CAD 软件中,已有为反求工程而研制的应用模块,例如,Pro/Engineering、Unigraph、Cimatron 等,将测量数据按其格式输入后,即可生成各种曲面,但三维曲面的光顺问题还未妥善解决,一般按人为方法去处理,但是还有一定误差,其运行示意过程如图 1.3 所示。

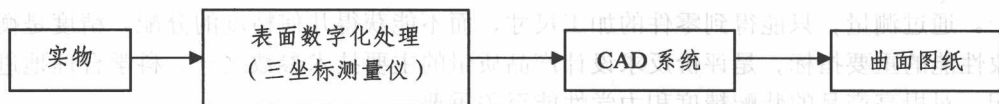


图 1.3 三坐标测量仪与CAD结合示意图

进一步发展,是将CAD所得信息与CAM连接,直接利用计算机辅助制造加工出产品。

2. 利用特殊材料对反求样品进行复制

利用环氧树脂类材料熔化后涂在样件表面,冷却后即变成样件制造的阴模,直接生成样件,不经过表面数字化过程。但这仅仅是复制,未进行技术性的反求。

1.3.4 影像反求

既无实物,又无技术软件,仅有产品相片、图片、广告介绍、参观印象和影视画面等,要从中去构思、想象来反求,称为影像反求,这是反求对象中难度最大的。影像反求本身是创新过程。目前还未形成成熟的技术,一般要利用透视变换和透视投影,形成不同透视图,从外形、尺寸、比例和专业知识,去琢磨其功能和性能,进而分析其内部可能的结构。

反求工程包含对产品的研究与进展,生产制造过程,管理和市场组成的完成系统的分析和研究,主要包括以下几个方面:

1. 探索原产品设计的指导思想

掌握原产品设计的指导思想是分析了解整个产品设计的前提,如微型汽车的消费群体是普通百姓,其设计的指导思想是在满足一般功能的前提下,尽可能降低成本,所以结构上通常是较简化的。

2. 探索原产品原理方案的设计

各种产品都是按预定的使用要求设计的,而满足同样要求的产品,可能有多种不同的形式,所以产品的功能目标是产品设计的核心问题。产品的功能概括而论是能量,物料信号的转换。例如,一般动力机构的功能通常是能量转换,工作机通常是物料转换,仪器仪表通常是信号转换。不同的功能目标,可引出不同的原理方案。设计一个夹紧装置时,把功能目标定在机械手段上,则可能设计出斜楔夹紧、螺旋夹紧、偏心夹紧、定心夹紧、联动夹紧等原理方案;如把功能目标确定扩大,则可设计出液动、气动、电磁夹紧等原理方案。探索原产品原理方案的设计,可以了解功能目标的确定原则,这对产品的改进设计有极大帮助。

3. 研究产品的结构设计

产品中零部件的具体结构是实现产品功能目标的保证,对产品的性能、工作能力、经济性、寿命和可靠性有着密切关系。

(1) 确定产品的零部件形体尺寸。分解产品实物,由外至内,由部件至零件,通过测绘与计算确定零部件形体尺寸,并用图样及技术文件方式表达出来。它是反求设计中工作量很大的一部分工作。为更好地进行形体尺寸的分析与测绘,应总结箱体类、轴类、盘套类、齿轮、弹簧、曲线曲面及其他特殊形体的测量方法,并合理标注尺寸。

(2) 确定产品中零件的精度。确定产品中零件的精度(即公差设计),是反求设计中的难

点之一。通过测量,只能得到零件的加工尺寸,而不能获得几何精度的分配。精度是衡量反求对象性能的重要指标,是评价反求设计产品质量的主要技术参数之一。科学合理地进行精度分配,对提高产品的装配精度和力学性能至关重要。

(3) 确定产品中零件的材料。通过零件的外观比较、重量测量、力学性能测定、化学分析、光谱分析、金相分析等试验方法,对材料的物理性能、化学成分、热处理等情况进行全面鉴定,在此基础上,遵循立足国内方针,考虑资源及成本,选择合适的国产材料,或参照同类产品的材料牌号,选择满足力学性能及化学性能的国有材料代用。

(4) 确定产品的工作性能。针对产品的工作特点和机器主要性能进行试验测定,反计算和深入地分析,了解产品的设计准则和设计规范,并提出改进措施。

(5) 确定产品的造型。对产品的外形构型、色彩设计等进行分析,从美学原则、顾客需求心理、商品价值等角度进行构型设计和色彩设计。

(6) 确定产品的维护与管理。分析产品的维护和管理方式,了解重要零部件及易损零部件,有助于维护及设计的改进和创新。

1.4 反求工程的作用及应用领域

反求工程是近年来发展起来的消化、吸收和提高先进技术的一系列分析方法和应用技术的组合,其主要目的是为了改善技术水平,提高生产率,增强经济竞争力。世界各国在经济技术发展中,应用反求工程消化吸收先进技术经验,给人们有益的启示。据统计,各国 70% 以上的技术源于国外,反求工程作为掌握技术的一种手段,可使产品研制周期缩短 40% 以上,极大提高了生产率。因此研究反求工程技术,对我国国民经济的发展和科学技术水平的提高,具有重大的意义。

反求工程已成为联系新产品开发过程中各种先进技术的纽带,并成为消化、吸收先进技术,实现新产品快速开发的重要技术手段。其主要应用领域大致可分为以下几种情况:

(1) 在没有设计图纸或者设计图纸不完整以及没有 CAD 模型的情况下,在对零件原型进行测量的基础上形成零件的设计图纸或 CAD 模型,并以此为依据利用快速成型技术复制出一个相同的零件原型。

(2) 当要设计需要通过实验测试才能定型的工件模型时,通常采用反求工程的方法。比如航天航空领域,为了满足产品对空气动力学等要求,首先要求在初始设计模型的基础上经过各种性能测试(如风洞实验等)建立符合要求的产品模型,这类零件一般具有复杂的自由曲面外形,最终的实验模型将成为设计这类零件及反求其模具的依据。

(3) 在美学设计特别重要的领域,由于设计师习惯于依赖 3D 实物模型对产品设计进行评估,因此产品几何外形通常不是应用 CAD 软件直接设计的,而是首先制作全尺寸的木质或黏土模型或比例模型,然后利用反求工程技术重建产品数字化模型。例如,汽车外形设计广泛采用真实比例的木制或泥塑模型来评估设计的美学效果,而不采用在计算机屏幕上缩小比例的物体透视图的方法,此时需用反求工程的设计方法。

(4) 修复破损的艺术品或缺乏供应的损坏零件等,此时不需要对整个零件原型进行复制,而是借助反求工程技术抽取零件原型的设计思想,指导新的设计。这是由实物逆向推理出设

计思想的一种渐近过程。

(5) 在模具行业, 常需反复修改原始设计的模具型面。将实物通过数据测量与处理产生与实际相符的产品数字化模型, 对模型修改后再进行加工, 将显著提高生产效率。因此, 反求工程在改型设计方面可发挥正向设计不可替代的作用。

(6) 借助于工业 CT 技术, 反向工程不仅可以产生物体的外部形状, 而且可以快速发现、定位物体的内部缺陷。

1.5 反求工程的关键技术

反求工程具有与传统设计制造过程截然不同的设计流程。在反求工程中, 按照现有的零件原型进行设计生产, 零件所具有几何特征与技术要求都包含在原型中; 在传统的设计制造中, 则是按照零件最终所要承担的功能以及各方面的影响因素, 进行从无到有的设计。此外, 从概念设计出发到最终形成 CAD 模型的传统设计是一个确定的明晰过程, 而通过对现有零件原型数字化后再形成 CAD 模型的反求工程是一个推理、逼近的过程。

1.5.1 反求工程技术流程

1. 零件原型的数字化

反求工程通常以一个物理零件或模型作为开始, 常采用三坐标测量机 (CMM) 或激光扫描仪等测量装置来获取零件原型表面点的三维坐标值。

2. 从测量数据中提取零件原型的几何特征

主要是对点的处理过程, 包括多视点云的拼合、点云过滤、数据精简和点云分块等, 按测量数据的几何属性对其进行分割, 采用几何特征匹配与识别的方法来获取零件原型所具有的设计与加工特征。

3. 零件原型 CAD 模型的重建

将分割后的三维数据在 CAD 系统中分别做表面模型的拟合, 并通过各表面片的求交与拼接获取零件原型表面的 CAD 模型。

这个过程主要有曲线处理和曲面处理。

(1) 曲线处理决定所要创建的曲线类型。曲线可以设计得与点的片段相同, 或让曲线更光滑些; 曲线处理包括由已存在的点创建出曲线; 检查曲线与点或其他曲线的精确度、平滑度与连续的相关性, 并作相应修改。

(2) 决定所要创建的曲面类型, 可以选择创建的曲面以精确为主或以光滑为主, 或两者居中。曲面处理包括由已存在的点云或曲线创建曲面; 检查曲面与点或其他曲面、特征的精确度、平滑度与连续的相关性。

4. 重建 CAD 模型的检验与修正

采用根据获得的 CAD 模型重新测量和加工出样品的方法来检验重建的 CAD 模型是否满足精度或其他试验性能指标的要求, 应该考虑被测物对机构引起的综合轨迹误差、逆向工程

设计所依据的数据值存在的测量误差、设计中的被测物存在的加工误差、设计中的曲线拟合存在的拟合误差等方面,对不满足要求者重复以上过程,直到达到零件的反向工程设计要求。

1.5.2 反求工程中常用的测量方法

根据测量探头是否和零件表面接触,反求工程中的测量方法可以分为两类:接触式和非接触式。

1.5.2.1 接触式测量方法

1. 坐标测量机

坐标测量机是一种大型精密的三坐标测量仪器(见图1.4),可以对具有复杂形状的工件的空间尺寸进行逆向工程测量。坐标测量机一般采用触发式接触测量头,一次采样只能获取一个点的三维坐标值。20世纪90年代初,英国Renishaw公司研制出一种三维力-位移传感的扫描测量头。该测头可以在工件上滑动测量,连续获取表面的坐标信息,扫描速度可达8 m/s,数字化速度最高可达500点/s,精度约为0.03 mm。这种测头价格昂贵,目前尚未在坐标测量机上广泛采用。

坐标测量机的主要优点是测量精度高,适应性强,但一般接触式测头测量效率低,而且对一些软质表面无法进行反向工程测量。

2. 层析法

层析法是近年来发展的一种反求工程逆向工程技术,该法是将研究的零件原型填充后,采用逐层铣削和逐层光扫描相结合的方法获取零件原型不同位置界面的内外轮廓数据,并将其组合起来获得零件的三维数据。层析法的优点在于可以对任意形状、任意结构零件的内外轮廓进行测量,但测量方式是破坏性的。

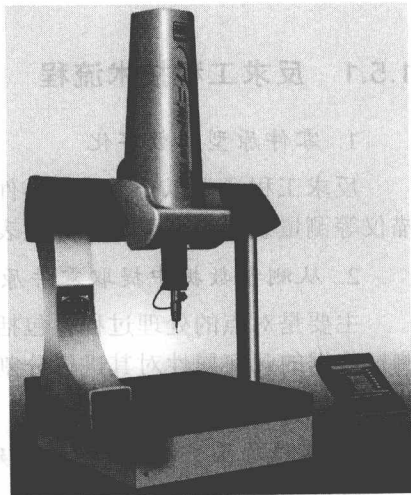


图 1.4 一种三坐标测量机

1.5.2.2 非接触式测量方法

非接触式测量根据测量原理的不同,有光学测量、超声波测量、电磁测量等方式。以下仅将在反求工程中最常用与较为成熟的光学测量方法(含数字图像处理方法)作一简要说明。

1. 基于光学三角形原理的反求工程扫描法

这种测量方法根据光学三角形测量原理,以光作为光源,其结构模式可以分为光点、单线条、多光条等,将其投射到被测物体表面,并采用光点敏感元件在另一位置接收激光的反射能量,根据光点或光条在物体上成像的偏移,通过被测物体基平面、像点、像距等之间的关系计算物体的深度信息。

2. 基于相位偏移测量原理的莫尔条纹法

这种测量方法将光栅条纹投射到被测物体表面,光栅条纹受物体表面形状的调制,其条

纹间的相位关系会发生变化,通过数字图像处理的方法解析出光栅条纹图像的相位变化量来获取被测物体表面的三维信息。

3. 基于工业 CT 断层扫描图像反求工程法

这种测量方法对被测物体进行断层截面扫描,以 X 射线的衰减系数为依据,经处理重建断层截面图像,根据不同位置的断层图像可建立物体的三维信息。该方法可以对被测物体内部的结构和形状进行无损测量。该方法造价高,测量系统的空间分辨率低,获取数据时间长,设备体积大。美国 LLNL 实验室研制的高分辨率 ICT 系统测量精度为 0.01 mm。

4. 立体视觉测量方法

立体视觉测量是根据同一个三维空间点在不同空间位置的两个(多个)摄像机拍摄的图像中的视差,以及摄像机之间位置的空间几何关系来获取该点的三维坐标值。立体视觉测量方法可以对处于两个(多个)摄像机共同视野内的目标特征点进行测量,而无须伺服机构等扫描装置。立体视觉测量面临的最大困难是空间特征点在多幅数字图像中提取与匹配的精度和准确性等问题。近来出现了以将具有空间编码的特征的结构光投射到被测物体表面制造测量特征的方法,有效解决了测量特征提取和匹配的问题,但在测量精度与测量点的数量上仍需改进。图 1.5 所示为某型号三维激光扫描仪。

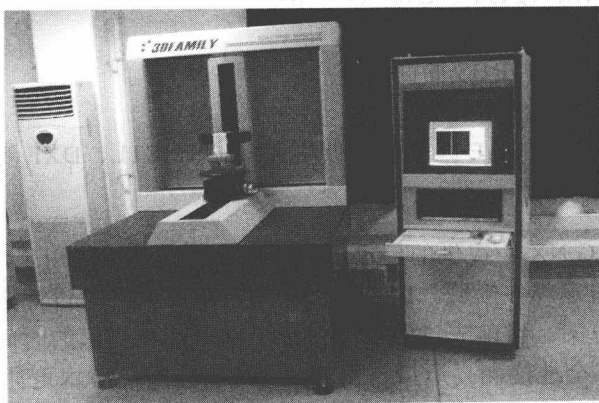


图 1.5 某型号三维激光扫描仪

1.5.3 反求工程技术的常用软件

目前常用的反求工程软件介绍如下。

1.5.3.1 Geomagic Studio

Geomagic Studio (见图 1.6) 是美国 RainDrop 公司出品的反求工程和三维检测软件,具有丰富的数据处理手段,可轻易地从扫描所得的点云数据创建出完美的多边形模型和网格,并可自动转换为 NURBS 曲面。Geomagic Studio 可根据任何实物零部件自动生成准确的数字模型,还为新兴应用提供了理想的选择,如定制设备大量生产、即定即造的生产模式以及原始零部件的自动重造。

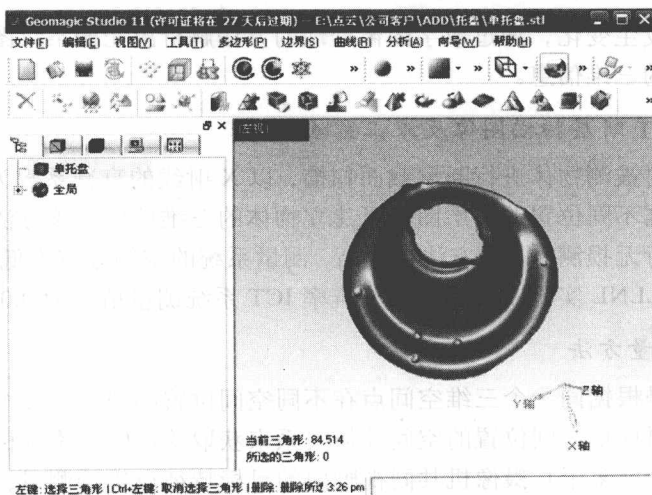


图 1.6 Geomagic Studio

Geomagic Studio 主要包括 Qualify、Shape、Wrap、Decimate 和 Capture 5 个模块，主要功能包括：

- (1) 自动将点云数据转换为多边形 (Polygons)。
- (2) 快速减少多边形数目 (Decimate)。
- (3) 把多边形转换为 NURBS 曲面。
- (4) 曲面分析 (公差分析等)。
- (5) 输出与 CAD/CAM/CAE 匹配的文件格式 (IGS、STL、DXF 等)。

1.5.3.2 Imageware

Imageware 作为 UG NX 中提供的反求工程造型软件，广泛应用于汽车、航空、航天、消费家电、模具、计算机零部件领域。Imageware 为自由曲面产品设计方面的所有关键领域提供了应用驱动的解决方案。空前先进的技术保证了用户能在更短的时间内进行设计、反求工程，并精确地构建和完全地检测高质量自由曲面。最新的产品版本更侧重于高级曲面、3D 检测、逆向工程和多边形造型，为产品的设计、工程和制造营造了一个直观的柔性设计环境。

Imageware (见图 1.7) 提供了模块化的产品来满足用户的不同需求，这样的设计完全围绕产品从概念设计、工模具设计和检测、样机，以至生产加工这一产品全生命周期，目的在于提高产品质量，缩短上市时间。用户在第一次使用时就可以配置最适合其流程的产品，使用这些工具是保证产品开发周期顺利进行的关键。

1.5.3.3 CopyCAD

CopyCAD (见图 1.8) 是英国 DELCAM 公司出品的功能强大的反求工程软件，主要处理测量数据的曲面造型，并能允许从已存在的零件或实体模型中产生三维 CAD 模型。该软件为来自数字化数据的 CAD 曲面的产生提供了复杂的工具。CopyCAD 能够接受来自坐标测量机床的数据，同时跟踪机床和激光扫描仪。DELCAM 的产品涵盖了从设计到制造、检测的全过程，包括 PowerSHARE、Power-MILL、PowerINSPECT、ArtCAM、CopyCAD、PS-TEAM 等诸多软件产品。CopyCAD 系列中的其他软件可以很好地集成。