

CAD/CAM实用系列丛书
高等职业教育电子信息类贯通制教材



逆向工程项目式实训教程

• 黄诚驹 李鄂琴 禹 诚 著



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

本书配有电子教学参考资料包

<http://www.phei.com.cn>

72-39

2

CAD/CAM 实用系列丛书

高等职业教育电子信息类贯通制教材

逆向工程项目式实训教程

黄诚驹 李鄂琴 禹 诚 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书是以典型零件的逆向工程项目为内容,翔实生动地介绍逆向工程应用的技能培训教材。全书共5章,第1章为概论,全面介绍逆向工程的有关概念;第2章为传统测量项目式实训,介绍常规测量仪器量具及典型零件的常规测量方法、测量步骤;第3章为三坐标与光栅扫描测量项目式实训,介绍三坐标机、光栅扫描仪及 ATOS 系统测量操作、Geomagic 的数据处理;第4章为 Pro/E 数字建模项目式实训,介绍对测量的数据在 Pro/E 野火版的平台上完成几何建模的方法、步骤;第5章为 UG 数字建模项目式实训,介绍对测量的数据在 UG NX2.0 版的平台上完成几何建模的方法、步骤。

本书可作为高等职业学校机电技术专业的教材。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

逆向工程项目式实训教程/黄诚驹等著. —北京:电子工业出版社, 2004.9

高等职业教育电子信息类贯通制教材

CAD/CAM 实用系列丛书

ISBN 7-121-00285-X

I. 逆 II. 黄… III. 工业产品—计算机辅助设计—高等学校:技术学校—教材 IV. TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 087186 号

责任编辑:朱怀永

印 刷:涿州京南印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销:各地新华书店

开 本:787×1092 1/16 印张:19.75 字数:505.6 千字

印 次:2004 年 9 月第 1 次印刷

印 数:5 000 册 定价:24.60 元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系。
联系电话:(010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前言



在以计算机、微电子、光电通信等为主导的信息技术飞速发展的今天,三维的数字测量与数字建模技术已被制造业广泛应用于产品及模具的设计、加工制造及管理等方面。尤其对那些设计原型仅仅只是实物样件的机械设计、制造任务来说,必须采用各种三维测量方法及数字建模方法,将已有产品原型或油泥模型转化为计算机上的三维数字模型,即所谓的逆向工程(Reverse Engineering)。

传统的正向产品造型设计,一般是对市场进行调研并确定了大量需求信息后,由设计人员分析、构思产品模型的概念,草绘出产品零件平面图,进行必要的设计计算与校核,形成产品稍完整的设计方案后,即着手完成三维简约几何造型,再根据需要绘制效果图、三视图或试做简易的实物模型。传统的正向设计流程,存在以下问题:

- (1) 设计人员的工作量大,设计产品的周期长;
- (2) 设计过程中,难以对设计的产品随时修改调整;
- (3) 设计要求不易表达或控制,精度低、效果差、成本高。

逆向工程技术较好体现了现代化工业产品造型方式,有效地解决了上述所存在的问题,故成为工业、科研、国防等领域内,对汽车车身、飞机机身、轮船船体诸产品进行设计制造的主流技术。当今社会需求表明:随着社会物质生活水平的极大提高,人们对产品的质量、外观、色彩等提出更高的要求。针对人们日益增长的多元化、个性化、时尚化的物质消费趋向,产品市场正以多品种、新产品、短周期适应人们新的需求。

为了满足社会消费需求的变化趋势,生产制造企业纷纷采用逆向工程技术,追踪市场时尚产品,不断创新产品的设计制造,使得近年来对该项技术的应用日趋成熟。

面对社会推广逆向工程应用技术的迫切需求,和培训逆向工程专业人才的需要,我们集聚了部分国内高职院校 CAD/CAM 的专业教师的优势,编写了这本《逆向工程项目式实训教程》。

本书除第 1 章概论是作为课外选读材料外,全书其他各章均以项目实训为主线,以架构够用的专业技术知识和必需的专业技能为原则,力求在本教材的“项目训练”中,让学生在模仿、实践相关的专业技能实训后,逐步形成对逆向工程关键应用技术、知识点的掌握。思路是:首先,让学生动手实践,逐步在实践的过程中去体会项目训练的专业目的与要求,并在一路贯穿的实训内容中,完成必须够用的专业技能及知识的学习。

本书的第 1 章、第 3 章的 3.4 节、第 4 章由武汉职业技术学院的副教授黄诚驹编写,第 2

章由武汉职业技术学院的高级实验师李鄂琴编写,第3章的3.1,3.2,3.3节由南京工程学院的实验师金茜编写,第5章由武汉第二轻工业学校的讲师禹诚编写,天津宁海中专学校王海东老师参加了部分章节的编写,武汉职业技术学院的副教授黄诚驹负责全书统稿,清华大学精仪系教授王君英担任本书主审。广州合力模具厂工程部主管黄抛记、广东佛山金沙镇科技开发中心工程师蒋经营、武汉职业技术学院模具设计所罗俊岭均为本书的编写提供大量的原始素材,在此谨向他们表示衷心的感谢。

为了方便教师教学,本书还配有教学指南、电子教案(电子版),请有此需要的教师登陆华信教育资源网(<http://www.hxedu.com.cn>)下载,或与电子工业出版社联系,我们将免费提供。E-mail:ve@phei.com.cn

由于项目式实训的教学仍在探索中,加上作者的水平限制,本书难以避免存在这样或那样的错误,在此敬请广大读者原谅,并多多提出宝贵的修改意见,作者将不胜感激。

编 者
2004年5月



目 录



第1章 概论	(1)
1.1 逆向工程的应用	(2)
1.2 逆向工程设计制造的工作流程	(3)
1.3 逆向工程关键技术	(4)
1.3.1 数据采集与处理	(4)
1.3.2 建模技术	(9)
1.4 逆向工程	(12)
1.4.1 逆向工程系统软件	(12)
1.4.2 逆向工程技术与现有 CAD/CAM 系统的关系	(14)
1.5 逆向工程应用实例简介	(15)
第2章 传统测量项目式实训	(18)
2.1 传统测量项目式实训所用计量器具简介	(18)
2.1.1 游标类量具	(18)
2.1.2 螺旋测微量具	(21)
2.1.3 块规(量块)	(24)
2.1.4 半径样板	(27)
2.1.5 角度量具	(27)
2.1.6 平板	(28)
2.1.7 表面粗糙度比较样块	(29)
2.1.8 机械式测微仪	(29)
2.1.9 光学量仪(19JA 万能工具显微镜)	(31)
2.2 典型零件测量项目式实训	(38)
2.2.1 电脑桌穿孔盖的测量	(39)
2.2.2 肥皂盒的测量	(49)
2.2.3 散热片尺寸测量	(53)
2.2.4 双飞燕鼠标外壳尺寸测量	(59)
第3章 三坐标与光栅扫描测量项目式实训	(83)
3.1 三坐标测量机简介	(83)
3.1.1 三坐标测量机在逆向工程中的重要作用	(84)
3.1.2 三坐标测量机的组成和结构	(84)
3.2 机型分类	(86)
3.2.1 桥式	(86)

3.2.2	悬臂式	(88)
3.2.3	水平臂式	(88)
3.2.4	立柱式	(89)
3.2.5	龙门式	(90)
3.2.6	卧镗式	(90)
3.2.7	台式三坐标测量仪	(90)
3.3	小汽车模型三坐标测量	(91)
3.3.1	测量系统组成	(91)
3.3.2	实物分析及测量方案制订	(92)
3.3.3	测量机的操纵盒	(93)
3.3.4	新建测量零件程序	(95)
3.3.5	定义测头文件	(96)
3.3.6	构造测量基准	(100)
3.3.7	分区域扫描	(101)
3.3.8	测量的数字几何模型导出	(108)
3.4	光栅式扫描测量项目实训	(110)
3.4.1	ATOS 光栅扫描仪简介	(110)
3.4.2	ATOS 光栅扫描仪组成	(110)
3.4.3	ATOS 光栅扫描测量实训范例	(111)
第 4 章	Pro/E 数字建模项目式实训	(135)
4.1	单一实训范例	(135)
4.1.1	绘图面及方位确定	(136)
4.1.2	构建三维实体基础特征	(136)
4.1.3	选择集建立	(138)
4.1.4	选择方式	(138)
4.1.5	心形曲面草绘	(140)
4.1.6	曲面合并	(142)
4.2	组合实训范例	(143)
4.2.1	引导练习	(143)
4.2.2	提高练习	(172)
4.3	综合实训范例	(180)
4.3.1	鼠标底座构建	(180)
4.3.2	鼠标上盖	(214)
第 5 章	UG 数字建模项目式实训	(237)
5.1	单一范例实训	(237)
5.1.1	电脑桌电缆穿孔盖的构建	(237)
5.1.2	BB 机外壳的构建	(240)
5.2	组合范例实训	(243)
5.3	综合范例实训	(253)

5.3.1	构建鼠标主体	(253)
5.3.2	构建鼠标底座与鼠标上盖间的分型线	(256)
5.3.3	构建鼠标底座基体	(259)
5.3.4	构建鼠标底座内部结构特征	(264)
5.3.5	鼠标装配体的构建	(281)
5.3.6	鼠标上盖主体的构建	(282)
5.3.7	鼠标上盖内部特征的构建	(295)

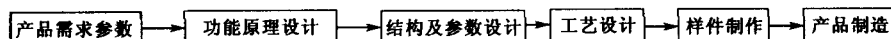
第1章 绪论

现代工业产品造型设计将现代数字建模手段、现代设计理论与美学艺术相互渗透、交叉和结合,形成了一门崭新的学科。该学科以现代化批量生产的工业产品造型设计为研究对象,以产品市场灵活多变的需求为导向,紧密依托制造领域中最流行的信息化高新技术手段,充分发挥以人为主导的创造活动能力,实现对传统工业设计方式的全面创新。

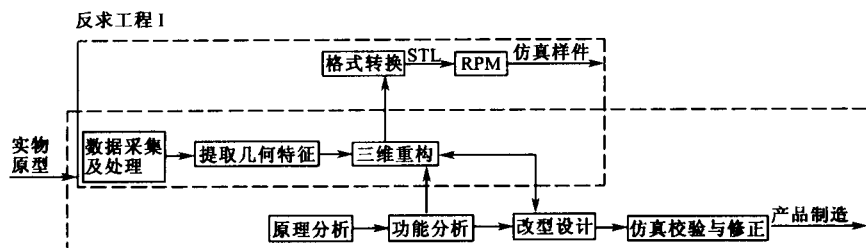
现代工业产品造型设计,更好地实现了“人—机—环境”的和谐统一,充分考虑人们对产品的功能、材料、结构、工艺、形态及色彩等方面上的人性需求,从社会、经济、心理、生理、技术和艺术等层面进行系统的综合处理,设计出实用、经济、具有良好人机性能的创新产品,满足人们日益增长的物质和精神的需求。

逆向工程(Remove Engineering)又称反求工程或反求设计,是在现代产品造型理念的指导下,以现代设计理论、方法、技术为基础,运用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,是对已有设计的重新设计。根据反求对象的不同,反求工程可分为实物反求、软件反求和影像反求三类。所谓实物反求就是指依据已经存在的零件或实物原型来构造产品模型的过程。

逆向工程是相对于传统正向工程(Convention Engineering)而言的。图 1.1 所示为正向传统工程与反求工程流程的区别。传统设计是通过工程师创造性的劳动,将一个未知的设计理念变成人类需求的产品的过程。工程师首先根据市场需求,提出技术目标和技术要求,进行功能设计,确定原理方案,进而确定产品结构,再经过一系列的设计活动之后,得到新产品。



(a) 正向传统工程流程



(b) 反求工程流程

图 1.1 正向传统工程与反求工程流程对照



由此可见,传统设计是一个“功能—原理—结构”的工作过程。而反求设计是对已知事物的有关信息充分消化和吸收,在此基础上加以创新改型,通过数字化及数据处理后重构实物的三维原型。反求设计是“实物原型→原理、功能→三维重构”的工作过程。

1.1 逆向工程的应用

逆向工程技术实现了设计制造技术的数字化,为现代制造企业充分利用已有的设计制造成果带来便利,从而降低新产品开发成本、提高制造精度、缩短设计生产周期。

据统计,在产品开发中采用逆向工程技术作为重要手段,可使产品研制周期缩短 40% 以上。

逆向工程的应用领域主要是飞机、汽车、玩具及家电等模具相关行业。近年来随着生物、材料技术的发展,逆向工程技术也开始应用于人工生物骨骼等医学领域。但是其最主要的应用领域还是在模具行业。由于模具制造过程中经常需要反复试冲后,修改模具型面。对已达到要求的模具经测量并反求出其数字化模型,在后期重复制造或修改模具时,就可方便地运用备用数字模型生成加工程序,快捷完成重复模具的制造。从而大大提高复制模具的生产效率,降低模具制造成本。逆向工程技术在我国,特别对以生产各种汽车、玩具配套件的地区、企业有着十分广阔的应用前景。这些地区、企业经常需要根据客户提供的样件制造出模具或直接加工出产品。在这些企业,测量设备和 CAD/CAM 系统是必不可少的,但是由于逆向工程技术应用不够完善,严重影响了产品的精度以及生产周期。因此,逆向工程技术与 CAD/CAM 系统的结合对这些企业的应用有着重要意义。一方面各个模具企业非常需要逆向工程技术,但另一方面又苦于缺乏必要的推广指导和合适的软件产品。这种情况严重制约了逆向工程技术在模具行业的推广。与 CAD/CAM 系统在我国几十年的应用时间相比,逆向工程技术为工程技术人员所了解只有十几年甚至几年的时间。时间虽短,但逆向工程技术广泛的应用前景已经为大多数工程技术人员所关注,这对提高我国模具制造行业的整体技术含量,进而提高产品的市场竞争力具有重要的推动作用。

目前,逆向工程技术的应用主要方面有:

1. 无设计图纸

在无设计图纸或者设计图纸不完整的情况下,通过对零件原型进行测量,生成零件的设计图纸或 CAD 模型,并以此为依据产生数控加工的 NC 代码,加工复制出零件原形。无零件设计图纸逆向生成样件的原理框图如图 1.2 所示。

2. 以实验模型作为设计零件及反求其模具的依据

对通过实验测试才能定型的工件模型,也通常采用逆向工程的方法来制造模具。比如航天航空领域,为了满足产品对空气动力学等条件要求,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. 美学设计领域

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。此外,



如电脑仿型、礼品创意开发等都需要用逆向工程的设计方法。

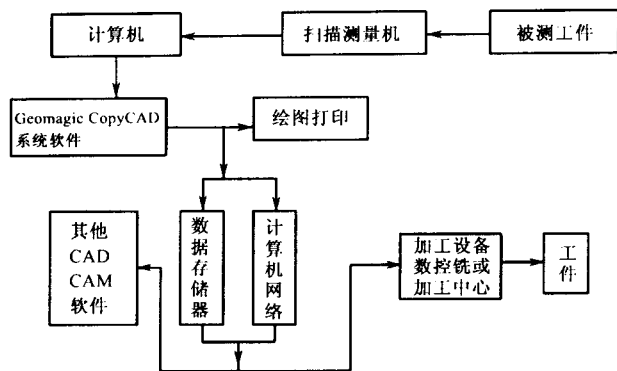


图 1.2 无零件设计图纸逆向生成样件原理框图

1.2 逆向工程设计制造的工作流程

逆向工程与传统设计制造流程中的各功能模块，在序列上被相互换位倒置。在逆向工程中，按照现有的零件原形进行设计生产，零件所具有几何特征与技术要求都包含在原形中；在传统的设计制造中，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形成 CAD 模型的逆向工程是一个推理、逼近的过程。逆向工程一般可分为 5 个阶段。

1. 零件原形的三维数字化测量

采用三坐标测量机（CMM）或激光扫描等测量装置，通过测量采集零件原形表面点的三维坐标值；使用逆向工程专业软件接收处理离散的“点云”数据。

2. 提取零件原形的几何特征

按测量数据的几何属性对零件进行分割，采用几何特征匹配与识别的方法来获取零件原形所具有的设计与加工特征。

3. 零件原形三维重构

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

4. CAD 模型的分析及改进

对虚拟重构出的 CAD 模型，从产品的用途及零件在产品中的地位、功用进行原理和功能分析，确保产品良好的人机性能，并实施有效的改进创新。

5. CAD 模型的校验与修正

根据获得的 CAD 模型，采用重新测量和加工出样品的方法，来校验重建的 CAD 模型是



否满足精度或其他试验性能指标的要求。对不满足要求者重复以上过程,直至达到零件的功能、用途等设计指标的要求。

1.3 逆向工程关键技术

逆向工程的关键技术为:数据采集与处理,即数字化技术;曲面构造,即建模技术;辅
以其他技术手段构成逆向工程技术体系。逆向工程的支撑技术体系的原理框图如图 1.3 所示。

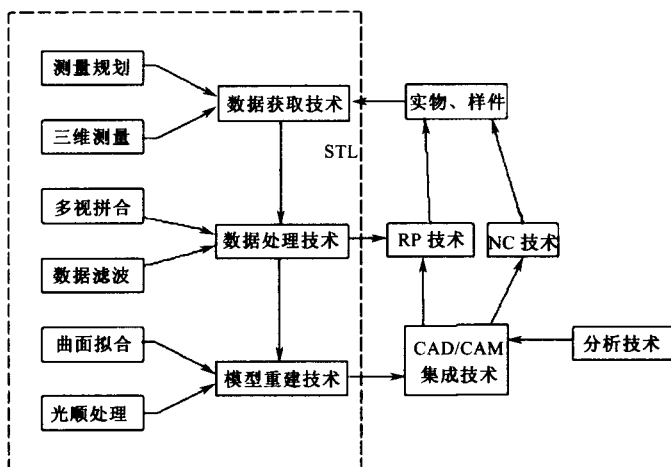


图 1.3 逆向工程支撑技术体系的原理框图

1.3.1 数据采集与处理

在 RE (Reverse Engineering) 技术中,获得重构 CAD 模型的离散数据,即数字化技术是关键的第一步。只有获取正确的测量数据,才能进行误差分析和曲面比较,实现 CAD 曲面建模。

1. 数据采集方法

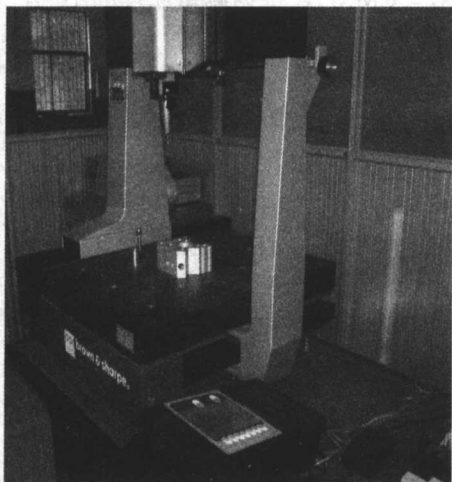
目前,数据采集方法主要分为接触式测量和非接触式测量两类。接触式测量是通过传感测量设备与样件的接触来记录样件表面的坐标位置,接触式测量的精度一般较高,可以在测量时根据需要进行规划,从而做到有的放矢,避免采集大量冗余数据,但测量效率很低。非接触式测量方法主要是基于光学、声学、磁学等领域中的基本原理,将测得的物理模拟量通过适当的算法转化为表示样件表面的坐标点信息的数字量。非接触式测量技术具有测量效率高的特点,所测数据能包含被测物体足够细节信息。由于非接触式测量技术本身的限制,在测量时会出现一些不可测区域(如型腔、小的凹形区域等),可能会造成测量数据不完整。同时,此种测量方式所产生的数据过于庞大,会增大数据处理和曲面重建的负担。

近年来,国内也开展了基于其他数字化方法的逆向工程的研究,如清华大学激光快速成型中心进行的照片反求、CT 反求技术研究;西安交通大学进行的激光扫描法、层析法研究等。其中三维激光扫描技术,采用空间对应法测量原理,用激光束对物体表面进行扫描,由

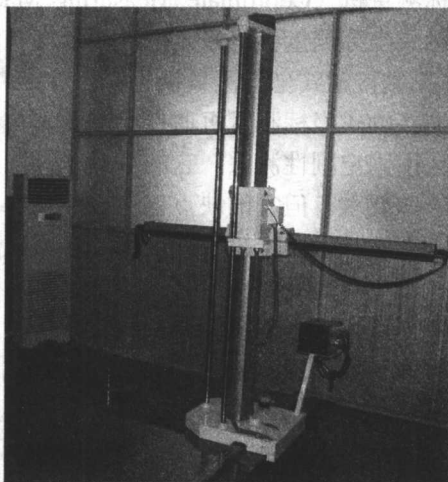


CCD (光电耦合) 摄像机采集被测表面的光轨迹曲线, 然后通过计算机处理, 最终得到物体表面的三维几何数据, 根据这些数据可以进行快速成型和 NC 加工。

测量常用的数字化设备有: 三维坐标测量机、激光测量仪、工业 CT 和逐层切削照相测量装置、数控机床 (NC) 加工测量装置、专用数字化仪器等。逆向工程在实际应用中, 对三维表面的测量仍以坐标测量机为主, 部分测量设备如图 1.4 所示。



(a) 小型三坐标测量仪



(b) 大型手动三坐标测量机

图 1.4 机械接触式三坐标测量机

2. 数据组织结构

测量的数据可分为散乱数据和有序数据。散乱数据是指除坐标位置数据以外, 表示测量点的数据集中不隐含任何的数据组织形式, 测点数据之间没有给定任何关系。有序数据是指表示测量点的数据集中不但包含了点的坐标数据位置, 而且还包含了测点数据的组织形式, 如测点数据是按拓扑矩形点阵进行排列的数据, 还是分层组织的轮廓数据, 还是特征线数据等等。

3. 数据测量规划

合理的测量规划是顺利进行模型重建的基础和保证。

为了获得点云数据并使实物表面数字化, 测量时要选取合理的测点和方位。而在对稀疏数据的测量时, 必须对被测物体进行测量布点规划。规划时要考虑以下两个问题:

(1) 测量数据必要性和充分性

测量数据的必要性: 是指不测量这些点数据, 就不足以完整精确地描述物体的几何形状。

测量数据的充分性: 是指测量得到的点数据已能够提供足够的信息, 用以建立满足精度的逆向工程模型。

测量规划要考虑的一个重要问题就是要使测量数据既满足必要性又满足充分性, 从而用最少的点数据重建出满足精度要求的 CAD 模型。实践中往往很难做到使测量数据严格满足必要性和充分性, 但可以通过适当的规划, 尽可能地减少测量工作。

(2) 分区测量的边界确定

分区测量的边界划分取决于物体自身的几何形态, 也取决于造型软件所提供的造型功能。



分区过大,会造成无法精确表示曲面的各个部位;分区过细,会造成更多的拼接问题,影响重建模型的整体效果。

4. 常用测量法简介

(1) 三维坐标测量法

坐标测量机 (Coordinate Measuring Machines, CMM), 根据测量原理的不同, 可分为机械接触式坐标测量机、激光坐标测量机、光学坐标测量机。

1) 机械接触式坐标测量机

机械接触式坐标测量机通过监测测头与实物的接触情况获取坐标数据。坐标测量机最早大多是采用固定刚性测头, 它的优点是: 测量原理及过程简单、方便, 对被测物体的材质和颜色无特殊要求。但它的缺点也不少, 主要为: 测头与工件之间的接触程度主要靠测量人员的手感来把握, 由此带来的系统误差较难克服; 测量速度慢, 测量数据密度低; 必须对测量结果进行测头损伤及测头半径三维补偿, 才能得到真实的实物表面数据, 并且不能对软质材料或超薄形物体进行测量。

机械接触式坐标测量机的最大优点是成本低, 所以目前应用较为广泛。

2) 激光坐标测量机

激光坐标测量机由激光扫描实物, 同时由摄像机录下光束与实物接触部位。激光扫描测量是非接触式测量。从测量学观点看, 由于非接触式测量头在测量时不接触待测物体的表面, 它可以从根本上解决接触式测量所产生的各种缺陷, 非接触式测量可真正实现“零接触力测量”, 这样有效避免了在高精度测量中测量力带来的系统误差和随机误差, 且可方便实现对软质和超薄形物体表面形状的测量。另外, 还具有测量速度快、效率高等优点。缺点是: 在测量中, 会受到被测物体的材质和颜色的影响。当光束投射到物体表面上时, 由于被测表面散射光含有正、反射成分, 且被测表面倾斜引起接收光功率的质心偏移, 测量精度随入射角 (光束与被测点法线的夹角) 度的增加而降低, 有时甚至使测量失效, 造成一定的测量误差。

3) 光学坐标测量机

随着计算机技术和光电技术的发展, 基于光学原理、以计算机图像处理为主要手段的三维复杂曲面非接触式快速测量技术得到飞速发展。光学坐标测量机由光源照射实物, 利用干涉条纹技术计算实物坐标数据。测量的具体方法主要有如下几种:

① 投影光栅法。采用普通白光将正弦光栅或矩形光栅投影到被测物体表面, 根据 CCD 摄取变形光栅图像。投影光栅法的优点是: 测量范围大, 可对整幅图像的数据进行处理; 由于不需要逐点扫描, 因而测量速度快, 成本低, 易于实现。这种方法测量的不足之处在于: 对表面变化剧烈的物体进行测量时, 在陡峭处往往会发生相位突变, 从而使测量准确度大大降低。

② 立体视觉法。利用立体视觉原理测量物体, 从两个或两个以上的视点观察同一物体, 把二维图像的分析推广到三维景物。这种方法的优点是: 测量原理清晰; 设备简单, 操作灵活; 对应用场合要求较宽松, 硬件成本低; 测量时不受物体表面反射特性的影响。但这种方法中, 关于摄像机的定位、对应点的立体匹配和图像拼接较难解决。目前, 立体匹配已成为立体视觉研究的焦点问题。

③ 由灰度恢复形状法。该方法具有测量过程不受光源限制、现场操作简便、测量范围广



等优点,因而受到人们的关注。但该方法的测量精度难保证,目前尚在研究探讨阶段。

当被测物体有内轮廓曲面,尤其是内轮廓曲面内有肋板、凸块、凹块时,以上的测量方法就显得无能为力。为了能精确地测得物体内表面的数据,可采用计算机断层扫描——工业CT法和层析法——逐层扫描法。

(2) 工业CT法

工业CT法(Industrial Computer Tomography, 简称ICT),是目前测量三维内轮廓曲面的最先进方法之一,属于非接触测量。它利用一定波长、强度的射线从不同方向照射被测物体,根据光/电转换器件所采集射线的强弱,用图像处理技术,测得被测物体表面的形状。

该方法的优点:可对被测物体内部的结构和形状进行无损测量,对内部结构有透视能力。缺点:空间分辨率较低,物体外缘有时模糊不清,数据获取所需时间较长,重建图像的工作量很大,目前现场应用还很少。

(3) 层析法——CGI法

层析法(Capture Geometry Inside, 简称CGI)也称逐层切削扫描法。将被测量的物体在工作台上装夹好,通过数控系统控制铣刀的进给速度,一层层地切削出被测物体的截面,再用CCD摄像获得每一个截面的轮廓图像,通过一系列的图像处理技术,得到每一层的数据。这种测量方法,可以精确获得被测物体的内、外曲面的轮廓数据。

层析法比工业CT法的测量精度更高,成本更低,测量更方便。但这种测量方法是一种破坏性的测量,并且一般用于对于钢性物体的测量,这些都限制了该方法的应用。

综上所述,非接触测量可以从根本上解决接触式测量所产生的种种缺陷,测量速度快,已成为自由曲面测量的一个发展方向。但非接触式测量的测量准确度受被测表面反射特性的影响很大,国内外对非接触式测量的研究大都集中在非接触式测量方法和激光位移传感器的研制与革新上,以期进一步提高和扩大测量准确度、可靠性和测量范围。

(4) CNC坐标测量机

目前用于工业测量的典型数字化设备因使用成本过高,在实际使用当中受到限制。而CNC和三坐标测量机使用同样的坐标系统,在信息转换方向上正好互逆,而在动作执行上是相似的,可以借助加工中心高精度的行走机构,通过使用机床测头并编制相应的测量软件,实现零件的在机测量,使得加工中心在某种程度上又兼备了测量中心的功能。另外,机床测头具有价格低、可靠性高、自身精度高等特点,非常适合国内企业的要求。

(5) 测量应用的发展趋势

目前空间测量技术的研发,主要集中在如何高速、安全、精确地获取三维几何体内、外轮廓曲面的数据。而这些又与计算机技术、图像传感器CCD技术、位置传感器等技术的发展息息相关。总之,测量技术的发展趋势主要体现于以下几点:

- ① 利用计算机的数据处理能力来存储、分析、处理测量数据;
- ② 提高各种传感器工作可靠性,提高非接触测量中的测量精度;
- ③ 测量原理简单,操作方便,可同时获得三维几何体内、外曲面轮廓的数据。

5. 数据的处理

为使测量数据具备合理性,需对测量数据进行噪声点去除、测头半径补偿、数据分块等处理;为使测量数据具备完整性,需对测量数据进行数据多视拼合、补测数据的融入等处理。



对物体表面测量数据的处理方法一般可以分为两种,一种是基于边界分割法;一种是基于区域分割法。其中基于边界分割法对数据进行处理,首先估计出测量点的法向矢量或曲率,然后根据法向矢量或曲率的突变处判定为边界的位置,并经边界跟踪等处理形成封闭的边界,将各边界所围区域作为最终的结果。由于在分割过程中只用到边界局部数据,以及存在微分运算,因此这种方法易受到测量噪声的影响。特别是对于缓变型面的曲面该方法并不适用。根据分割过程不同区域分割法又可分为从下至上、从上至下两种。

(1) 从下至上的区域分割法

这种分割方法以若干个简单表面片作为种子区域,根据表面片的微分几何性质来判断其周围的数据点是否属该表面片,并与之有相似几何性质的点划入该种子区域,并更新与种子区域对应的表面片的类型,当在该表面片周围没有几何性质一致的点的时候,种子区域停止生长。这种分割的方法的优点在于分割结果的可靠性高,分割结束后各个区域之间的关系也随之确定。应用该方法时应注意的问题:

① 种子区域的选择与分布,这将影响到分割计算的效果与效率;

② 在区域生长过程中,区域的类型可能发生变化,因此能判断出与当前区域对应的表面类型;

③ 采用何种依据来判断测量点是否属于一个区域将产生不同的分割结果。

(2) 从上至下的区域分割法

这种分割方法首先假设所有的数据点属于同一个表面区域,然后根据要求实现的性能指标作统计分析,进行假设检验,若假设成立,则分割结束;否则,将数据点集进行划分,并对各个子集重新作假设检验,如此划分直至各个区域满足性能指标要求。应用该方法应注意的问题:

① 子区域划分方法的选择,如采用四叉树等分割方式,有时会产生分割数太大的结果,此时需作一反向的融合过程,生成区域分割数最小且满足性能要求的分割结果;

② 如果将区域表面拟合的精度作为依据,则在每次分割后,测量数据点需重新参数化,使整个过程计算量很大。

(3) 曲线曲面的光顺处理

逆向工程软件所生成曲面的质量,取决于模型上被扫描部位的质量和数字化数据的质量。在逆向工程的曲面建模中,实物表面数字化过程中得到的是大量的离散数据,缺乏必要的特征信息,使后期处理往往存在数字化误差,需要对曲面和曲线进行光顺处理。对于空间曲线和曲面,光滑是指空间曲线和曲面的一阶导数连续,而顺眼是人的主观感觉评价,曲面光顺是指使曲面具有光滑、顺眼的性质。曲面渲染后无明显的区域边界痕迹,对于平面曲线,光顺需要满足以下几点:

① 曲线连续;

② 无多余拐点;

③ 曲率变化均匀。

在逆向工程设计中,曲线的光顺性调节非常重要。扫描或拟合得到的曲线一般很难保证其光顺,为了构造出一条光顺的插值曲线,需要修正原型值点序列,利用软件的相关功能模块进行调节。曲面光顺的方法很多,有最小二乘法、能量法、回弹法、基样条法、圆率法、磨光法等,目前采用的曲线光顺方法主要是能量法和圆率法。设计的准则是曲线上曲率极值



点尽可能少些;相邻两个极值点之间的曲率尽可能接近线性变化。曲面的光顺往往归结为网格的光顺。其含义是指网格的每一条曲线都是光顺的,而光顺的曲面,应该是没凸区和凹区的。在数学上,判断曲面是否满足上述条件的依据是高斯曲率。在一般 CAD 软件中,可以在分析模块中使用高斯曲率法对曲面进行分析。当曲面曲率变化比较均匀时,即可谓达到设计要求了。若曲面质量很差,需要对构成边界的曲线进行曲率、相切性的调整,直至曲面质量符合设计标准。

曲面拟合可采用插值和逼近两种方式,使用插值方法拟合曲面(通过所有数据点),适合于测量设备精度高,数据点坐标比较精确的场合;使用逼近的方法所拟合的曲面不一定通过所有的数据点,适用于测量数据较多,测量数据含噪声较高的情况。

逆向工程是一项开拓性、实用性和综合性很强的技术,目前应用中的逆向工程软件系统集成化程度比较低,人工干预的比重大。将来有望形成集成化逆向工程系统,以软件智能化来代替人工干预的不足。

1.3.2 建模技术

广义的反求工程包括形状(几何)反求、工艺反求和材料反求等多个方面,是一个复杂的系统工程。反求工程相关的研究大多都集中在几何形状方面,即产品实物的 CAD 模型方面。重构实物的三维 CAD 模型是反求工程中的关键技术,它通过插值或拟合一系列离散点,利用原型的几何拓扑信息,构造一个近似模型来逼近原型。根据反求工程的发展和应用,可将反求工程分为反求工程 I, II 两个目标。反求工程 I 主要包括“三维重构”、“反求制造”两个阶段,应用于快速原形制造技术中。反求工程 II 包含“三维重构”、“基于原型再设计”和“反求制造”三个阶段,增加了创新功能的含义。针对反求工程引用目标的不同,采用不同的几何建模技术。

1. 曲面重构技术

模型重建是逆向工程中最关键的部分。按工程应用目标来分,模型重建的目的有三种:物体三维模型显示;产品快速原型制造;产品的物性分析、局部创新再设计。

模型重建的方法与测量数据结构、应用目标的要求以及已有的 CAD/CAM 接口有关。测量数据的模型重建研究,按重建后曲面的表示形式大体可分为三大类:一是建立分片连续的样条曲面模型;二是建立由众多小三角片构成的多面体模型;三是建立细分曲面模型。

(1) 曲面重构的特点

在逆向工程中,曲面重构有如下特点:

- ① 曲面型面的数据离散,曲面的边界和形状一般很复杂;
- ② 需处理的对象往往是由多张曲面经过延伸、过渡、裁剪等混合而成,因此重构中需要分块构造;
- ③ 由于数字化技术的限制,存在一个“多视数据”的问题。

(2) 曲面构造方案

在逆向工程中应用的曲面构造方案是:以 B-Spline 或 NURBS 曲面为基础构造曲面;以三角 Bezier 曲面为基础构造曲面;以多面体方式来描述曲面物体,或构建细分曲面模型。其中前两种方案最为常用。