



高等职业教育“十二五”规划教材

高等职业学校提升专业服务产业能力项目成果

产品的逆向制作

主 编 王晓梅
副主编 程晓宇



科学出版社

高等职业教育“十二五”规划教材

高等职业学校提升专业服务产业能力项目成果

产品的逆向制作

王晓梅 主 编

程晓宇 副主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书从逆向工程与快速成形技术实际应用的要求出发,紧密结合逆向工程与快速成形技术应用型人才工程素质培养的要求,以产品逆向制作的工作过程为导向,通过知识准备、任务实施、实施工作页、知识拓展、思考与练习,要求教师在教中做,学生在做中学。全书内容注重理论与实践结合,强化职业技能和综合技能的培养,系统性、实用性强。

全书共分9个项目,包括:逆向工程关键技术与设备、三坐标测量机、非接触扫描测量与设备、逆向建模技术与软件、正逆向混合建模、快速成形技术、FDM快速成形系统、激光快速成形技术和数控雕刻快速成形技术。

本书可作为高等职业院校机械、汽车、模具及工业设计等相关专业的实践教材、培训教程或参考书,对相关领域的专业工程技术人员和研究人员也具有较高的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

产品的逆向制作/王晓梅主编. —北京:科学出版社,2014
(高等职业教育“十二五”规划教材·高等职业学校提升专业服务产业能力项目成果)

ISBN 978-7-03-040856-3

I. ①产… II. ①王… III. ①工业产品-制造-高等职业教育-教材
IV. ①TB4

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第117953号

责任编辑:张雪梅 / 责任校对:刘玉靖

责任印制:吕春珉 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

铭浩彩色印装有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2014年6月第一次印刷 印张:11 3/4

字数:263 000

定价:26.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈骏杰〉)

销售部电话 010-62140850 编辑部电话 010-62135397-2021 (VT03)

版权所有,侵权必究

举报电话:010-64030229; 010-64034315; 13501151303

前 言

作为新产品开发和消化、吸收先进技术的重要手段,逆向工程与快速成形技术的研究正受到各国工业和学术界的高度重视。集成运用 CAD/CAM、快速成形等先进制造技术,对提高产品市场竞争能力具有重要的理论意义和经济价值。

本书的编写以产品的逆向制作的工作过程为导向,通过知识准备、任务实施、实施工作页、知识拓展、思考与练习,要求教师在教中做,学生在做中学。全书内容强化职业技能和综合技能的培养。

全书共分 9 个项目,包括:逆向工程关键技术与设备、三坐标测量机、非接触扫描测量与设备、逆向建模技术与软件、正逆向混合建模、快速成形技术、FDM 快速成形系统、激光快速成形技术、数控雕刻快速成形技术。本书较为详细地介绍了逆向工程的工作流程及产品实物几何外形数字化测量、数据处理、三维 CAD 模型重构,同时也介绍了各种快速成形技术的理论基础和技术状况,对组成逆向工程的系统及专用软件也做了介绍,并结合具体实例讲解相关知识在专用软件中的实现过程和使用技巧。

本书由陕西国防工业职业技术学院王晓梅任主编,程晓宇任副主编。全书编写分工如下:项目 2、项目 4 和项目 5 由王晓梅编写,项目 1、项目 3、项目 6~9 由程晓宇编写。全书由王晓梅统稿,王明哲审阅。本书在收集资料和编写过程中得到了许多单位和个人的大力支持,谨此致谢!

同时,在编写本书的过程中,参考了国内外公开出版的同类书籍和资料,在此向这些书籍与资料的作者表示感谢!

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,恳请广大读者批评指正。

目 录

前言

绪论	1
----------	---

项目 1 逆向工程关键技术与设备	5
------------------------	---

1.1 逆向工程的关键技术	5
1.1.1 数据获取技术	5
1.1.2 数据分析及处理	9
1.1.3 逆向工程中的三维 CAD 模型重构的研究	13
1.1.4 逆向工程 CAD 模型精度评价与误差分析	17
1.1.5 后续处理——快速成形技术	19
1.2 三维扫描与逆向测量设备	21
1.3 测量的关键环节与技术	23
1.4 高效模具质量检测的实现	26

项目 2 三坐标测量机	31
-------------------	----

2.1 三坐标测量机原理	31
2.2 三坐标测量机分类与基本构成	31
2.3 三坐标测量机的测量应用	35
2.4 三坐标测量流程	40
2.5 测量实例	42

项目 3 非接触扫描测量与设备	54
-----------------------	----

3.1 非接触式光学测量与三维扫描仪	54
3.2 光栅投影三维测量技术	58
3.2.1 光栅基本概念	58
3.2.2 光栅投影在三维测量中的实现过程	59
3.2.3 COMET 系统	60
3.3 手持式激光扫描测量技术	63
3.3.1 手持式激光扫描测量系统	63
3.3.2 手持式激光扫描流程、策略与技巧	64
3.4 关节臂测量机	65
3.4.1 关节臂测量机的工作原理与特点	66
3.4.2 关节臂测量机的主要优势	67
3.4.3 关节臂坐标测量系统	67
3.4.4 关节臂测量机关键技术	68



3.4.5 关节臂测量机的操作流程	69
项目4 逆向建模技术与软件	72
4.1 逆向造型基础	72
4.1.1 CAD/CAM 系统中的几何模型	72
4.1.2 工件造型分析	73
4.1.3 逆向过程的曲面表示	74
4.1.4 逆向工程曲面造型方法	75
4.1.5 模型评价	78
4.2 Imageware 操作	79
4.2.1 熟悉工作环境	79
4.2.2 点云显示	80
4.2.3 点处理过程	81
4.2.4 曲线处理过程	83
4.2.5 曲面处理过程	83
4.3 三维 CAD 模型重构案例	85
项目5 正逆向混合建模	93
5.1 基于特征与约束的混合建模方法与框架	93
5.2 混合建模应用领域	95
5.3 混合建模的造型流程	96
5.4 混合建模设计集成	99
5.5 正逆向混合设计案例——模具三维模型重构与设计	100
5.5.1 逆向工程数据采集	100
5.5.2 模具逆向工程数据处理	103
5.5.3 模具三维模型的重构	105
项目6 快速成形技术	114
6.1 零件成形方法分类	114
6.2 快速成形技术概述	114
6.3 快速成形技术过程	115
6.4 快速成形技术应用	115
6.5 快速成形工艺	120
6.6 快速成形技术中的数据处理	122
6.6.1 快速成形的三维数据主要来源	122
6.6.2 快速成形的三维数据处理	122
6.7 快速成形技术中的后处理与精度分析	126
项目7 FDM 快速成形系统	130
7.1 FDM 快速成形技术工艺原理	130

7.2 FDM 工艺的特点	132
7.3 设备的结构	132
7.4 FDM 快速成形操作流程	133
7.5 FDM 快速成形案例	134
项目 8 激光快速成形技术	143
8.1 激光快速成形	143
8.2 光固化立体成形	147
8.2.1 SLA 成形原理	147
8.2.2 SLA 成形系统的组成及各部分的作用	147
8.2.3 SLA 成形的工艺过程	150
8.2.4 SLA 用的材料	151
8.2.5 SLA 快速成形技术的特点	151
8.3 叠层实体成形	152
8.3.1 LOM 基本原理	152
8.3.2 叠层实体制造工艺过程	153
8.3.3 提高叠层实体原型制作质量措施	153
8.4 选择性激光烧结	154
8.4.1 SLS 工艺的基本原理	154
8.4.2 SLS 工艺的特点	155
8.4.3 SLS 工艺的分类	156
8.4.4 SLS 工艺的参数	158
8.4.5 SLS 工艺的应用	159
项目 9 数控雕刻快速成形技术	163
9.1 数控雕刻快速成形系统	163
9.1.1 数控雕刻快速成形技术	163
9.1.2 数控雕刻快速成形系统组成	164
9.1.3 数控雕刻快速成形操作流程	165
9.2 数控雕刻快速成形范例——表壳手版的加工方案	169
主要参考文献	177

绪 论

1. 逆向工程的概念

逆向工程又称反求技术,是指在无图样或三维立体图形的条件下,根据产品实物的原型进行测量和描绘其三维几何模型,并对所得数据进行分析处理,从而重建出实物 CAD 模型的一种技术手段。

在国外,逆向工程已经作为一种先进的设计方法被引入到新产品的设计开发工作中。我国也有许多企业应用逆向工程技术对竞争对手的产品进行改进,以避免艰苦的原型设计阶段,这是一种产品的再设计过程。

所谓产品再设计,就是通过观察和测试某一种产品,对其进行初始化,然后拆开产品,逐一分析单个零件的组成、功能、装配公差和制造过程。这些工作的目的就是要充分理解产品的制造过程,并以此为基础,在子系统和零件层面上优化设计出一种更好的产品。

美国的许多工程学院开设了逆向工程课程,教授学生用再设计代替原型设计,作为解决设计问题的一种方法。近年来,在汽车、电子产品等领域,人们越来越多地采用逆向工程技术来部分替代使用多年的原型设计方法。

仿制、仿造已经成为了我国一部分企业的固定生产方式,针对市场热门产品的仿造品屡见不鲜,逆向工程的广泛应用在其中起到了不可忽视的作用。于是,经常有人将逆向工程和非法仿制联系在一起,甚至提出了知识产权保护等法律层面的问题。实际上,逆向工程代表了一种非常高效的产品设计思路和方法。

在工程技术人员的一般概念中,一般工业产品开发是从确定预期功能与规格目标开始的,然后构思产品结构,再进行每个零部件的设计、制造及检验,最后经过装配、性能测试等程序完成整个开发过程,每个零部件都有设计图样,按确定的工艺文件加工。这种开发模式称为预定模式(Prescriptive Model),此类开发工作称为正向工程(Forward Engineering)或正向设计。产品正向开发的流程如图 0-1 所示。



图 0-1 正向开发的流程

逆向工程则是一个“从有到无”的过程。简单地讲,逆向工程就是根据已经存在的产品模型,反向推出产品的设计数据(包括设计图样或数字模型)的过程。

随着计算机技术在制造领域的广泛应用,特别是数字化测量技术的迅猛发展,基于测量数据的产品造型技术成为逆向工程技术关注的主要对象。逆向开发即通过数字化测量设备(如坐标测量机、激光测量设备等)获取物体表面的空间数据,在逆向软件中构建曲面模型,再输入 CAD/CAM 系统进一步编辑、修改,由 CAM 生成刀具数控(NC)代

码(加工路径), 送至数控机床(CNC)制作所需模具, 或者由快速成形机将样品模型制作出来, 其流程如图 0-2 所示。

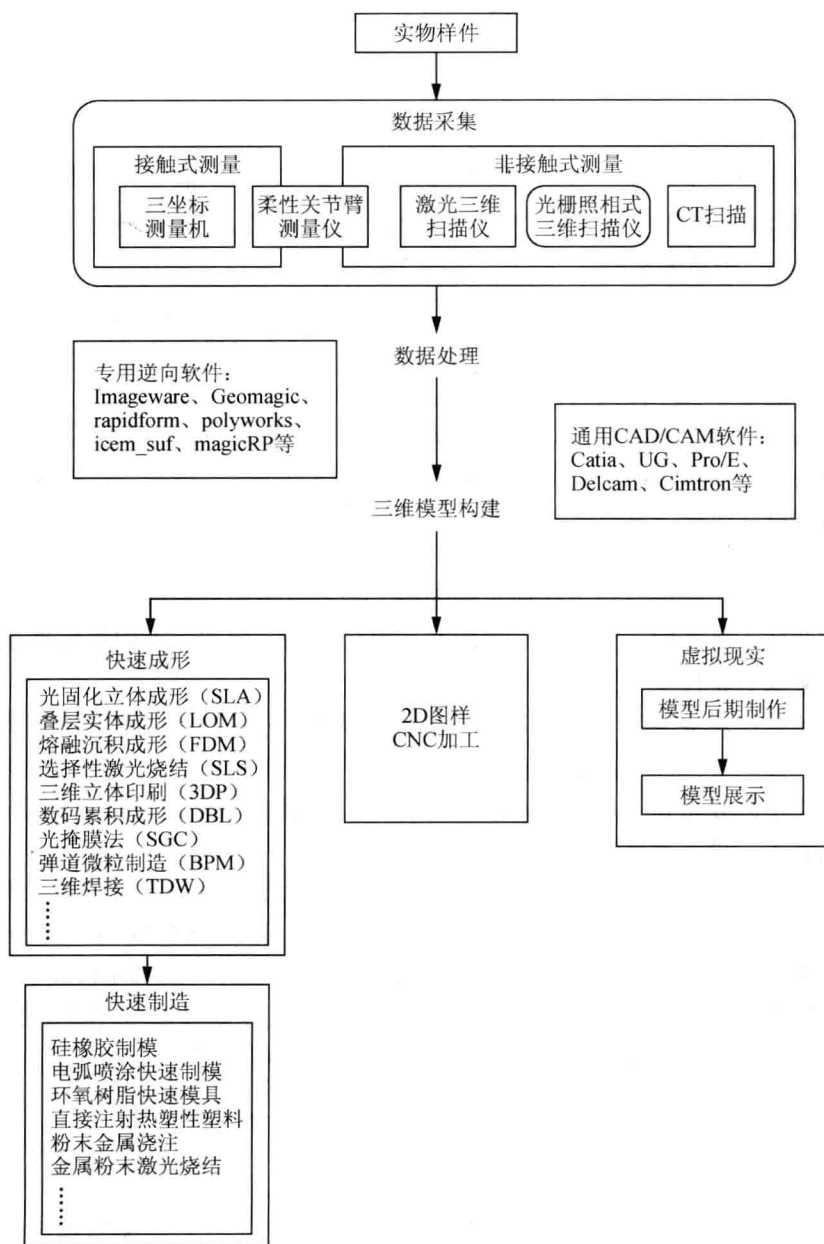


图 0-2 逆向开发的流程

逆向工程的实施过程是多领域、多学科的协同过程。从图 0-2 中我们可以看出, 逆向工程的整个实施过程包括了测量数据的采集/处理、CAD/CAM 系统处理和融入产品数据管理系统的过程。因此, 逆向工程是一个多领域、多学科的系统工程, 其实施需

要人员和技术的高度协同、融合。

2. 逆向工程技术的优点

因为逆向工程是在已有实物的基础上进行再设计的,相对于传统的正向设计,具有以下一些优点:

1) 产品设计周期更短。正向设计是一个“从无到有”的过程,需要预先构思好产品的功能结构,这往往需要灵感和缜密思考的时间。而逆向设计是以已有实物为参照物,比较直观,在此基础上进行复制和改进设计,可以节省很多的产品构思时间。

2) 产品设计更成熟可靠。正向设计具有一定的局限性和不可预见性,即使是经验丰富的设计师,也不可能考虑得面面俱到。而逆向设计是在已有成熟产品上进行改进设计,风险会小很多,设计出来的产品也会更成熟、可靠。

3) 产品设计成本更低。正向设计出来的产品一般都需要经过很多的实验来测试其可靠性,无论是功能、装配、耐久性等都需要经过检验,不仅时间周期长,而且成本也比较高。逆向设计的产品是在原有产品上进行改进的,产品相对比较成熟,在试验的时间和频率上可适当减少,从而降低成本。

4) 产品的传承性更好。参照已有的产品进行逆向设计,可以更好地继承原有产品的优点,改正其缺点,使设计的产品不断获得改进与提高。

3. 逆向工程应用的范围

- 1) 工业产品及零部件的质量检测与测量。
- 2) 汽车、航空及家电工业中的逆向设计与质量控制。
- 3) 模具设计、质量过程控制及相关研究。
- 4) 工业品的解析与仿制。
- 5) 虚拟现实及三维造型。
- 6) 三维动画原型获取。
- 7) 3D 游戏模型获取。
- 8) 考古。
- 9) (彩色)三维数字化及数字博物馆。
- 10) 鉴定与复制。
- 11) 医学修复。
- 12) 仿生研究。
- 13) 医学测量与模拟、正畸评价。
- 14) 整形美容。
- 15) 人体数字化。
- 16) 人体测量、人体建模与数字雕塑。
- 17) 三维人脸数据获取。
- 18) 非接触三维脚形测量。



- 19) 在外观变形分析中取代力传感器和加速度传感器。
- 20) 实现三维脚印、工具痕迹、弹痕等的采集及数字化。
- 21) 其他多种应用领域。

4. 课程任务与学习目标

通过本课程的学习和实训,学生应具备逆向工程技术专业知识,具备中等偏复杂产品逆向设计的能力;掌握逆向工程中常规测量与数字化测量技术及逆向工程工作流程中的关键技术等;具备三维模型重构及产品逆向质量分析与评价的能力。

(1) 知识目标

1) 了解逆向工程技术的概念、特点、分类和适用范围,掌握不同行业逆向工程技术使用的范围。

2) 了解常见的逆向工程设备的数据采集原理及造型软件。

3) 了解快速成形原理及分类。

(2) 能力目标

1) 具备一定的三维扫描仪操作和数据采集能力。

2) 具备一定的点云数据处理和造型还原能力。

3) 具备一定的快速成形设备使用能力。

(3) 素质目标

1) 具备一定的独立思考和解决问题的综合能力。

2) 具备提出问题、分析问题、解决问题的能力,在此基础上具备创新的能力及与人合作的能力。

3) 具备勤于思考、刻苦钻研、虚心请教、踏实求真的精神。

项目 1 逆向工程关键技术与设备



知识准备

逆向工程关键技术在于数据模型的获取与分析，其中关键设备是三维扫描与逆向测量设备。

1.1 逆向工程的关键技术

逆向工程可分为数据获取、数据预处理、数据分块与曲面重构、CAD 模型构造及快速成形(Rapid Prototyping, RP)5 大关键技术。

逆向工程支撑技术体系如图 1-1 所示。

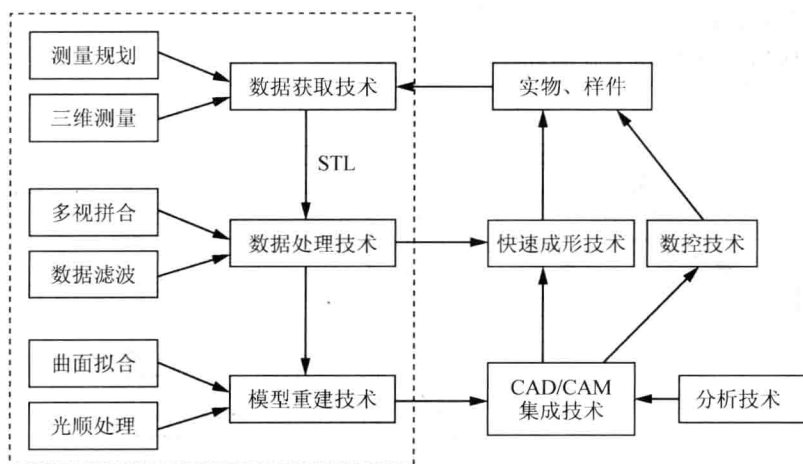


图 1-1 逆向工程支撑技术体系

1.1.1 数据获取技术

在产品开发中，开发企业往往不掌握原始图样，常常要研究国外产品或别家企业样件，这包括外观上曲面的造型与结构上各种机构的位置。因此，逆向工程的第一任务就是获取工程人员所需的点数据，用于后续的模式建构。

数据获取是指通过特定的测量方法和设备，将物体表面形状转换成几何空间坐标点，从而得到逆向建模及尺寸评价所需数据的过程。

数据获取的方式有以下三种：

- 1) 简单工具的手工测量。一般只针对极其简单的物体。



2) 机械三坐标测量机测量。三坐标测量机作为测量检测设备,是逆向工程最早进行数据采集的专业设备,优点是精度高、可达到微米级,显著缺点是效率太差、操作复杂、设备笨重、行程有限、测量时间很长。目前,机械三坐标测量机基本以质量检测为主。

3) 激光、结构光测量的三坐标测量。这些种设备也叫三维扫描仪,是目前市场上常用的专业级设备。

目前市面上常见的数据获取系统有多种形式,如三坐标测量机、便携式关节臂测量机、激光测量系统、结构光测量系统等。其测量原理不同,所能达到的精度、数据获取的效率及所需投入的成本也各不相同,需根据所设计产品的类型做出相应的选择。

根据测量时测头是否与被测量零件接触,目前的测量方法通常分为接触式和非接触式两大类。其中,接触式测量设备根据所配测头的类型不同又可以分为力触发式及连续扫描式等类型,常见的产品有三坐标测量机、关节臂测量机。而非接触式测量设备则与光学、声学、磁学等多个领域有关,根据其工作原理不同可分为光学式和非光学式两种,前者的工作原理多根据结构光测距法、激光三角形法、激光干涉测量法而来,后者则包括 CT 测量法、超声波测量法等类型。

逆向工程数据获取方法分类如图 1-2 所示。

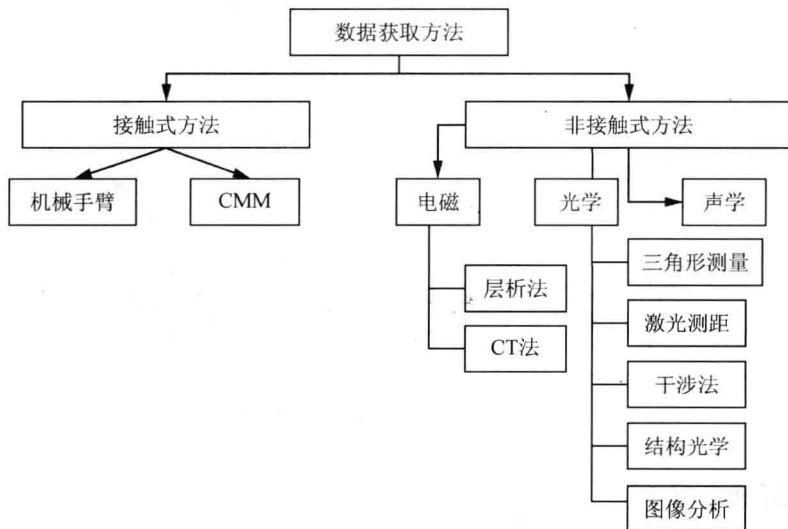


图 1-2 逆向工程数据获取方法分类

另外,在逆向工程的数据采集处理过程中,数据测量占据了极为重要的位置,它们决定了硬件设备采集数据在计算输出时的准确性和便捷性。目前行业内较为重要的测量软件主要有 PC-DMIS 等。

数据测量并最终获取的流程如图 1-3 所示。

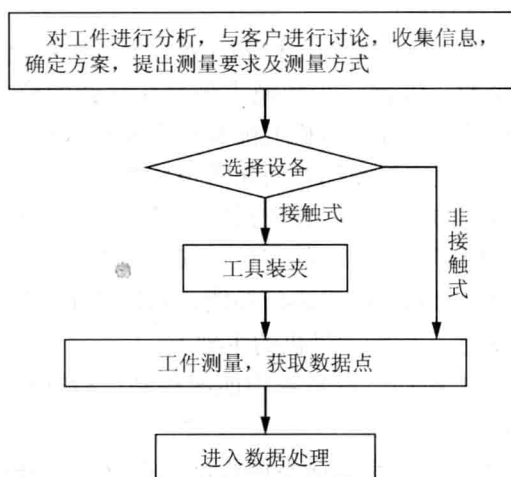


图 1-3 逆向工程数据测量并最终获取流程

1. 数据测量要求

- 1) 应根据工程的实际需要采集数据。
- 2) 数据采集过程中不能破坏被测量实体的原型。
- 3) 数据采集要有良好的完整性。
- 4) 尽量减少测量在整个逆向工程中所占的时间。
- 5) 尽可能降低测量成本。

2. 三维测量主要方法的特点

三维测量主要方法的特点见表 1-1。

表 1-1 三维测量主要方法

测量方法	精度	速度	可否测内轮廓	形状限制	材料限制	成本
三坐标测量机	高	慢	否	无	无	高
投影光栅法	高	快	否	表面变化不能过陡	无	低
激光三角形法	较高	快	否	表面不能过于光滑	无	较高
立体视觉法	低	快	否	无	无	较高
工业 CT 扫描法	低, 大于 mm 级	较慢	是	无	有	很高
逐层切削照相测量	高	慢	是	无	无	较高

3. 测量过程

(1) 校准

测量样件, 需要沿不同方向测量多个尺寸。系统记录的是探针中心的坐标, 而不是接触点的坐标, 所以对工件进行实际检测之前, 先要对测量过程中用到的探针进行校



准。一般使用校准球来校准探针。

测量过程所有要用到的探针都要进行校准,而且一旦探针改变位置,或者取下后再次使用时,要重新进行校准。因此,非接触式测量在探针的校准方面要用去大量的时间。为解决这一问题,有的三坐标测量机上配有测头库和测头自动交换装置,测头库中的测头经过一次校准后可重复交换使用,而无需重新校准。

校准球是一个已知直径的标准球,校准探针的过程实际上就是测量这个已知标准球直径的过程。该球的测量值等于校准球的直径加探针的直径,这样就可以确定探针的半径了,系统用这个值就可以对测量结果进行补偿,具体操作步骤如下:

1) 将探针正确地安装在三坐标测量机的主轴上。

2) 将探针在工件表面上移动,看是否均能测得到;检查探针是否清洁。一旦探针的位置发生改变,就必须重新校准。

3) 将校准球装在工作台上,要确保不用移动校准球,并在球上打点,测量点个数最少为5个。

4) 测完给定的点数后,就可以由测量得到校准球的位置、直径、形状偏差,由此就可以得到探针的半径值。

(2) 工件的找正

工件在工作台上的搁置方式一般有两种:一种是通过专用夹具或自动装卸装置将工件放在工作台上的某一固定位置,这样通过一次工件找正,在以后测量同批工件时由于工件位置基本上是确定的,无需再对工件进行找正,可以直接进行测量;另一种是通过肉眼的观察直接将工件放在工作台的某一合适位置,这种情况下每测一个工件都必须首先在工作台上对其进行找正。

三坐标测量机有其本身的机器坐标系。在进行检测规划时,检测点数量及其分布的确定以及检测路径的生成等都是在CAD中工件坐标系下进行的,因此在进行实际检测之前,首先要确定工件坐标系在三坐标测量机机器坐标系中的位置关系,即要在三坐标测量机机器坐标系中对工件进行找正,通常采用6点找正法,即“3—2—1”方法对工件进行找正。首先,通过在指定平面上测量3点(1, 2, 3)或3点以上的点校准基准面;其次,通过测量两点(4, 5)或两点以上的点来校准基准轴;最后,再测一点(6)来计算原点。在以上三步操作中,检测点位置的确定都是依据工件坐标系来选择的。

(3) 测量规划

测量规划的目的是精确而又高效地采集数据。精确是指所采集的数据足够反映样件的特征,而不会产生误解;高效是指在能够正确表示产品特性的情况下,所采集的数据尽量少、所走过的路径尽量短、所花费的时间尽量少。采集产品数据有一条基本的原则:沿着特征方向走,顺着法向方向采。

1) 规则形状的数据采集规划。对于规则形状,诸如点、直线、圆弧、平面、圆柱、球等,也包括扩展的规则形状,如双曲线、螺旋线、齿轮、凸轮等,数据采集多用精度高的接触式探头,依据数学上定义这些元素所需的点信息进行测量规划。虽然一些产品的形状可归结为某种特征,但现实产品不可能是理论形状,加工、使用、环境的不同也



影响产品的形状。作为逆向工程的测量规划,就不能仅停留在“特征”的抽取上,更应考虑产品的变化趋势,即分析几何公差。

2) 自由曲面的数据采集规划。对于自由曲面,多采用非接触式探头或接触与非接触相结合的方法来测量。原则上,要描述自由形状的产品,只要记录足够的数据点信息即可,但很难评判数据点是否足够。在实际数据采集规划中,多依据工件的整体和流向,顺着特征走。法向特征的数据采集规划,对局部变化较大的地方,仍采用这一原则进行分块补充。

(4) 实物分解

受三坐标测量机测量行程及被测量对象结构特征的限制,在被测量对象装配完整的情况下,无法完成全部数据的测量,因此为使三坐标测量机能够在自身条件允许的情况下采集到被测对象的全部数据,必须对一些装配完整的测量对象进行分解。为了保证测量的精度,进行实物分解时应注意以下的一些原则:

1) 充分考虑被测对象各个零件之间的相互位置关系(也称为坐标位置关系)。首先应确定被测对象的坐标系(称为母坐标系),然后确定各个零件的子坐标系,再确定子坐标系与母坐标系之间的数学关系。如果不能把这些内部关系确定好,则曲面重构时无法确定这些零件与整体的关系,也就很难完成虚拟装配,甚至无法完成该工程。

2) 在进行实物分解时,应该仔细研究它的装配工艺,再按照其装配工艺的逆方向进行分解。分解过程中不允许破坏性分解和野蛮分解,以避免被测对象在外力的作用下结构与尺寸发生变化,影响最后的精度。

3) 在有条件的情况下,将分解后的零件摆放在夹具或检具上,特别是一些塑料件和一些易变形的零件,防止其因摆放位置的不正确,在自身重力的影响下造成变形。

4) 对一些质地柔软的零件,比如汽车地毯,虽然将其分解了下来,但为了保证其测量形状能够与其相配合的部位保持吻合,在测量时还需将其返回到原位再进行测量。

(5) 测量数据的软件操作

测量设备都带有自己的测量数据处理软件或集成其他逆向工程软件,如 PC-DMIS。测量后的数据要进行简单的预处理,如数据的删减、对齐,点云的修补,误差点的识别和去除等,然后将处理好的数据以某种格式输出,为后面实物的三维 CAD 模型、产品或模具制造做准备。

1.1.2 数据分析及处理

数据分析与处理是逆向工程的一项重要的技术环节,它决定着后续的模式重建过程能否方便、准确地进行。

1. 对采集的测量数据的要求

(1) 完整性

1) 测量数据应包括内外表面、结构、分型线(包括抽芯滑块线)、轮廓线、基准、重定位特征及其他要求的部分。



2) 对于非对称产品, 测量点应覆盖产品全部区域。

3) 对称产品的测量原则上应确保其中一半区域的完备性, 另一半区域应测量足够的边界数据, 以满足寻找对称面的需要。

4) 回转类产品应测量两部分信息: 一是用于建立中心轴的测量数据, 如垂直于回转轴的圆周面; 二是回转母线。

(2) 精度要求

1) 基准、定位特征、边界特征、分型线: 一般要求小于 0.05mm。点距要求较密集, 选择接触式测头。

2) 曲面类特征: 一般要求 0.1mm。要求信息最大, 点密集, 选择激光测头。

(3) 测量数据管理

测量数据按测量特征分文件保存, 文件名按一定规则进行保存, 简单容易记忆。

(4) 数据重定位处理

1) 工件位置未移动: 每次测头转动, 需对测头进行校准, 保证测量数据在同一坐标系下。

2) 工件位置移动: 对不同区域进行测量时, 分别测量产品上的同一特征(同一条边界线或轮廓线, 或其他明显特征)。

2. 测量设备的选择

根据产品特点合理选择设备:

1) 精度要求高的结构件、配合件选择接触式测量。

2) 非规则曲面、柔软物体选择非接触式测量。

3) 机构较多的选择关节臂。

4) 大曲面可以考虑选择跟踪式设备。

3. 点云数据的处理

扫描得到的产品外形数据不可避免地引入数据误差, 尤其是尖锐边和边界附近的测量数据, 以及测量数据中的坏点, 可能使该点及其周围的曲面片偏离原曲面, 所以对原始点云数据应进行预处理, 通常要经过以下步骤:

1) 去噪声点。常用的检查方法是将点云显示在图形终端上, 或者生成曲线曲面, 采用半交互半自动的光顺方法对点云数据进行检查调整。

2) 数据插补。对于一些扫描不到的区域, 其数据只能通过数据插补的方法来补齐。这里要考虑两种曲面造型技术, 即基于点、样条的曲面反求造型和基于点的曲面拟合技术。

3) 数据平滑。数据平滑的目的是消除噪声点, 得到精确的模型和良好的特征提取效果。采用平滑法处理, 应力求保持待求参数所能提供的信息不变。

4) 数据光顺。光顺泛指光滑、顺眼。但由于精度的要求, 不允许对测量的数据点施加过大的修改量来满足光顺的要求; 另一方面, 由于实物边界曲面的多样性, 边界上