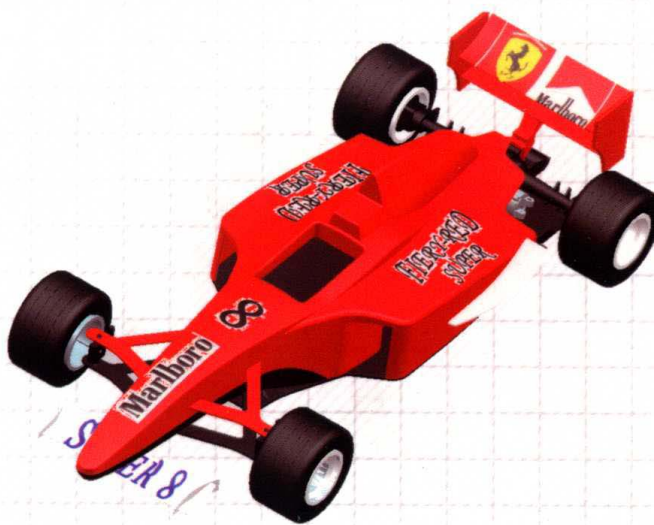
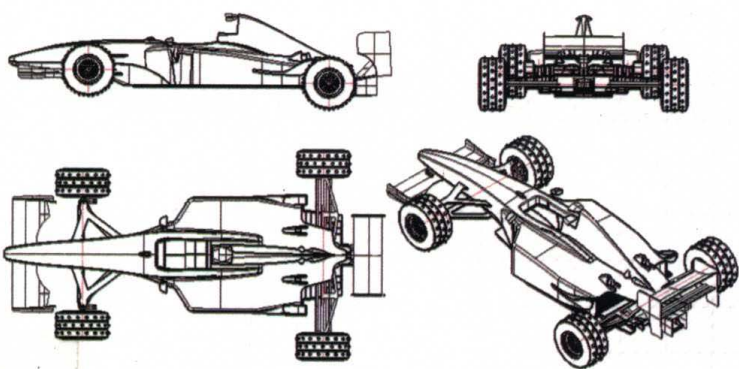


国家精品资源共享课配套教材

CAD/CAM 工程范例系列教材
国家职业技能培训教材

UG 机械工程 范例教程

(逆向工程篇)



国家级数控培训基地
UGS公司授权培训中心

袁 锋 编著

附赠1CD



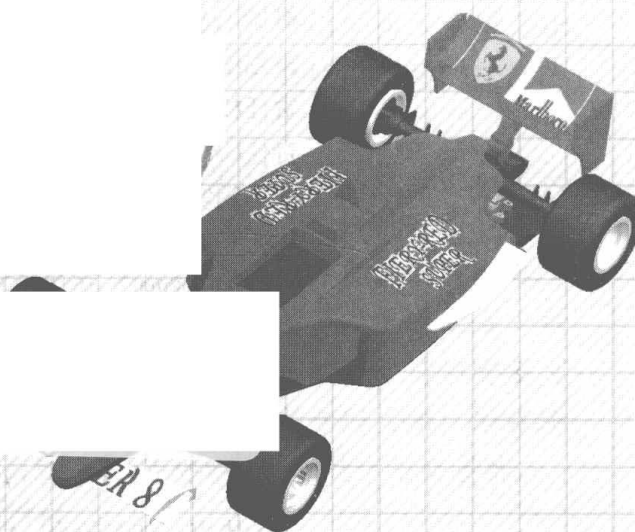
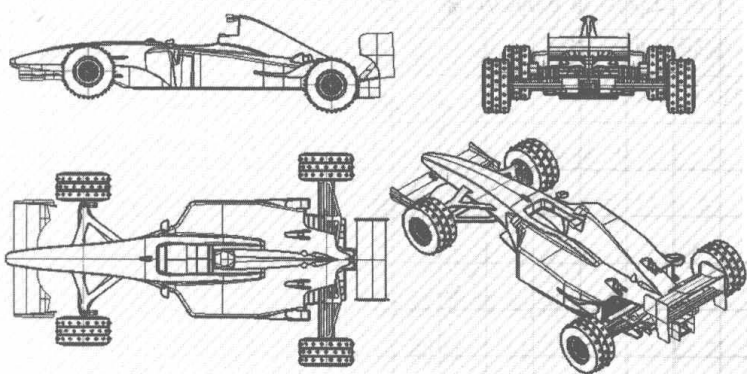
机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

资源共享课配套教材

CAD/CAM 工程范例系列教材
国家职业技能培训教材

UG 机械工程 范例教程

(逆向工程篇)



国家级数控培训基地
UGS公司授权培训中心

袁锋 编著

附赠1CD

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

内附光盘1张

本书以 UG NX 10.0 作为设计软件, 通过项目案例教学法详细介绍了汽车指示灯罩、公交车乘客拉手、转向灯内外壳、农用车灯、汽车后视镜和摩托车反光镜 6 个工程案例的逆向反求建模工程, 以文字和图形相结合的形式, 详细介绍了 6 个工程案例的逆向反求造型过程和 UG 软件的操作步骤, 并配有操作过程的视频演示光盘, 帮助学生更加直观地掌握 UG 软件界面和操作步骤, 使学生掌握逆向反求工程技术的精髓与实际操作技能。

本书可作为 CAD/CAM/CAE 专业教材, 特别适合 UG 软件的中高级用户以及各大中专院校机械、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 机械工程范例教程. 逆向工程篇 / 袁锋编著. —北京: 机械工业出版社, 2018.11

CAD/CAM 工程范例系列教材 国家职业技能培训教材
国家精品资源共享课配套教材

ISBN 978-7-111-61311-4

I. ①U… II. ①袁… III. ①机械设计—计算机辅助设计—应用软件—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 249921 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 薛礼 责任编辑: 薛礼

责任校对: 刘岚 佟瑞鑫 封面设计: 路恩中

责任印制: 孙炜

北京玥实印刷有限公司印刷

2018 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 16 印张 · 403 千字

0 001—1 900 册

标准书号: ISBN 978-7-111-61311-4

ISBN 978-7-88709-982-2 (光盘)

定价: 38.80 元 (含 1CD)

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833 机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-88379649 机工官博: weibo.com/cmp1952

教育服务网: www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网: www.golden-book.com

一、数字化设计与制造技术

1. 数字化设计与制造技术已经成为提高制造业核心竞争力的重要手段

随着技术的进步和市场竞争的日益激烈，产品的技术含量和复杂程度在不断增加，而产品的生命周期日益缩短。因此，缩短新产品的开发和上市周期就成为企业形成竞争优势的重要因素。在这种形势下，在计算机上完成产品的开发，通过对产品模型的分析，改进产品设计方案，在数字状态下进行产品的虚拟设计、试验和制造，然后再对设计进行改进或完善的数字化产品开发技术变得越来越重要。因此，数字化设计与制造技术已经成为提高制造业核心竞争力的重要手段和世界各国在科技竞争中抢占制高点的突破口。

2. UG 软件已成为数字化设计与制造技术领域首选软件

Unigraphics，简称 UG，是美国 UGS（后被西门子公司收购）公司推出的功能强大、闻名遐迩的 CAD/CAE/CAM 一体化软件，是全球运用最广泛、最优秀的大型 CAD/CAE/CAM 软件之一。UG 自 1990 年进入中国市场以来，发展迅速，已成为我国数字化设计与制造技术领域应用最广泛的软件之一。

3. 我国快速发展的装备制造业迫切需要大量掌握数字化设计与制造关键技术的高素质高级技能人才

我国要从制造大国向制造强国转变，真正成为“世界加工制造中心”，必须要有先进的制造技术，数字化设计与制造技术将成为“中国制造向中国创造”转变的一个重要突破口。我国快速发展的装备制造业迫切需要大量掌握数字化设计与制造关键技术的高素质高级技能型专门人才，因此编写适合高职高专培养数字化设计与制造高技能人才的教材是十分必要的。

二、CAD/CAM 工程范例系列教材

CAD/CAM 工程范例系列教材为国家精品资源共享课“使用 UG 软件的机电产品数字化设计与制造”的配套教材。目前已正式出版系列教材中的 3 本：基础篇、高级篇和课程设计篇。其中，基础篇和高级篇分别被评为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，高级篇被评为 2007 年度普通高等教育国家精品教材。本系列教材被全国 100 余所高职高专院校机械类

专业广泛选用,覆盖面广、影响力大,使用评价好。

本系列教材包括:《UG机械设计工程范例教程(CAD数字化建模篇)第3版》《UG机械设计工程范例教程(CAD数字化建模实训篇)第3版》《UG机械设计工程范例教程(CAD数字化建模课程设计篇)第2版》《UG机械制造工程范例教程(CAM自动编程篇)》《UG机械制造工程范例教程(CAM自动编程实训篇)》《UG机械工程范例教程(逆向工程篇)》以及《UG机械工程范例教程(模具设计篇)》。

三、系列教材的编写特点

1. 系列教材以数字化设计(三维CAD建模)、数字化制造(CAM自动编程)、逆向反求、模具设计四大核心技术为重点,以工作过程为导向,将文字和形象生动的图形结合起来,详细介绍了典型机电产品的三维数字化设计与制造、逆向反求与模具设计方法,并通过基础篇、高级篇、实训篇和课程设计篇等来反映高职人才的培养全过程,具有鲜明的职业技术教育特色,长期用于高职教学,符合职业教育规律和高端技能型人才的成长规律。

2. 教材与行业、企业紧密联系,教材中的80%项目案例均取自于生产实际的工程案例,并将UG数字化设计与制造技术领域的知识点、技能点融于教学与实践技能培养的过程中,以“应用”为主旨构建了课程体系与教材体系,对学生职业能力培养和职业素质养成起到重要的支撑和促进作用。

3. “高等性”与“职业性”的融合是本系列教材的一大特色。教材依据国家职业资格标准或行业、企业标准(UGS技能证书标准),将职业技能标准融合到教学内容中,强化学生技能训练,提高技能训练效果,使学生在获得学历证书的同时顺利获得相应职业资格证书,实现“高等性”与“职业性”的融合。

4. 教材以能力培养为主线,通过典型机电产品的数字化设计与制造将各部分教学内容有机联系、渗透和互相贯通,在课程结构上打破原有课程体系,以工作过程为导向,加强对三维数字化设计能力和UG软件操作能力的培养,激发学生的学习兴趣,提高了学生三维数字化设计与制造的工程应用能力、创新能力,提高学生理论联系实际的工作能力和就业竞争力,突出了学生对所学知识的灵活应用,做到举一反三。

5. 教材为国家精品资源共享课“使用UG软件的机电产品数字化设计与制造”的配套教材,教材修订及开发的同时,结合中国大学资源共享课程,提供配套的教学资料,如相关实训、学习指导、教案、作业及题解。同步开发与本系列教材配套的教学资源库和拓展资源库,如工程案例库、素材资源库、操作动画库、视频库、试题库、多媒体教学课件等拓展资源,帮助学生全面掌握三维数字化设计与制造的工程应用能力。

本系列教程可作为CAD/CAM/CAE专业课程教材,特别适用于UG软件的初、中级用户,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,也可作为研究生和企业从事三维设计、数控加工、自动编程的广大工程技术人员的参考用书。

本系列教材在编写过程中得到了常州轻工职业技术学院、常州数控技术研究所及Siemens PLM Software的大力支持,在此一并表示衷心感谢。由于编者水平有限,谬误欠妥之处,恳请读者指正并提出宝贵意见,我的E-Mail: 844749441@qq.com。

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而提出的。正向工程是泛指按常规的、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。逆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。

目前,逆向工程已成为 CAD/CAM 技术的核心技术,广泛应用于家用电器、汽车、摩托车、飞机及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。许多高校已将逆向工程技术列入“CAD/CAM”课程中讲授。

常州轻工职业技术学院为 UGS 公司的授权培训中心、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工作,积累了丰富的教学和培训经验。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 6 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,并配有操作过程的视频演示光盘,帮助读者更加直观地掌握 UG NX10.0 的软件界面和操作步骤,易学易懂。

本书可作为 CAD/CAM/CAE 专业课程教材。特别适用于 UG 软件的中高级用户以及各大中专院校机械、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袁锋教授编著,常州数控技术研究所袁钢主审。

本书在编写过程中得到了常州轻工职业技术学院、常州数控技术研究所与 Siemens PLM Software 的大力支持,在此一并表示衷心感谢。由于编者水平有限,谬误欠妥之处,恳请读者指正并提宝贵意见,我的 E-Mail: 844749941@qq.com。

袁 锋

目 录

丛书序言	
前言	
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 逆向工程的数据采集技术	3
1.4 三坐标测量机	6
1.5 测量数据的处理技术	8
1.6 产品模型的重构技术	9
1.7 UG 软件简介	11
1.8 UG 逆向造型的基本技巧	12
1.9 逆向工程数字化建模的要点	14
1.10 逆向工程数字化建模的步骤	14
1.11 逆向工程与新产品开发	15
第2章 逆向反求造型的常用功能	17
2.1 曲线创建功能	17
2.2 编辑曲线功能	26
2.3 实体功能	28
2.4 曲面功能	33
2.5 形状分析工具	39
第3章 汽车指示灯罩逆向反求造型	43
3.1 打开练习文件	43
3.2 移动点集至坐标原点	44
3.3 绘制汽车指示灯罩截面线	47
3.4 绘制汽车指示灯罩轮廓面	50
3.5 绘制汽车指示灯罩体	54
3.6 汽车指示灯罩的另一种逆向造型方法	60

第 4 章 公交车乘客拉手逆向反求造型	66
4.1 打开练习文件	66
4.2 绘制乘客拉手顶面	67
4.3 绘制乘客拉手内圈侧面	73
4.4 绘制乘客拉手外圈侧面	80
4.5 创建乘客拉手实体	88
4.6 创建乘客拉手细节部分	90
第 5 章 转向灯内外壳逆向反求造型	99
5.1 打开练习文件	99
5.2 绘制转向灯外壳轮廓线	100
5.3 绘制转向灯外壳轮廓面	104
5.4 创建转向灯外壳圆角面	107
5.5 创建转向灯外壳实体	111
5.6 创建转向灯外壳细节部分	115
5.7 绘制转向灯内壳轮廓线	121
5.8 绘制转向灯内壳轮廓面	127
5.9 创建转向灯内壳实体	133
5.10 创建转向灯内壳细节部分	139
第 6 章 农用车灯逆向造型	148
6.1 打开练习文件	148
6.2 绘制农用车灯侧面	149
6.3 绘制农用车灯台阶面部分	155
6.4 绘制农用车灯顶面部分	163
6.5 创建农用车灯实体	179
第 7 章 汽车后视镜逆向反求造型	184
7.1 打开练习文件	184
7.2 绘制汽车后视镜四周侧面	185
7.3 绘制汽车后视镜顶面	190
7.4 绘制汽车后视镜顶部圆角部分	194
7.5 绘制汽车后视镜细节部分	199
第 8 章 摩托车反光镜逆向反求造型	221
8.1 打开练习文件	221
8.2 绘制摩托车反光镜轮廓线	222
8.3 绘制摩托车反光镜轮廓面	231
8.4 绘制摩托车反光镜安装孔	240
8.5 创建摩托车反光镜实体	242
参考文献	247

第 1 章

逆向工程概述

1.1 逆向工程简介

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正向思维模式, 这项新技术一经问世, 立即受到了各国的高度重视。

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。正向工程是泛指按常规的从概念 (草图) 设计到具体模型设计再到成品的生产制造过程。逆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 所示为汽车轮毂帽三坐标测量机逆向采集的数据, 图 1-2 所示为汽车轮毂帽 CAD 实物模型重现。

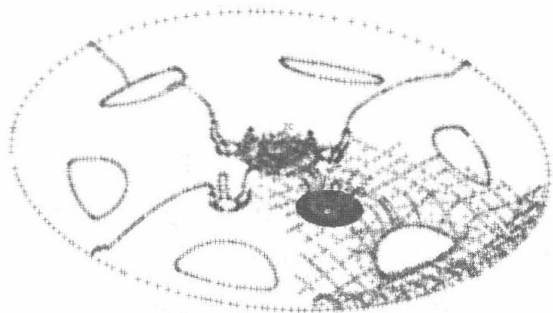


图 1-1

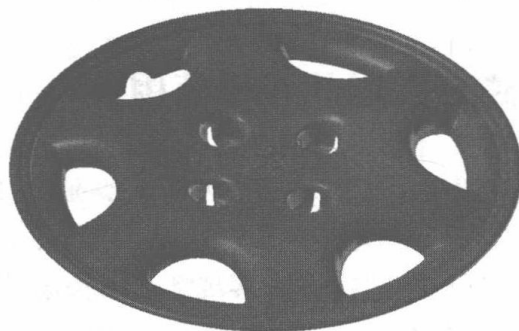


图 1-2

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, 充分利用国外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。

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的情况下，利用逆向工程的方法，可以基于产品实物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、产品更新的目的。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如图 1-3 所示。

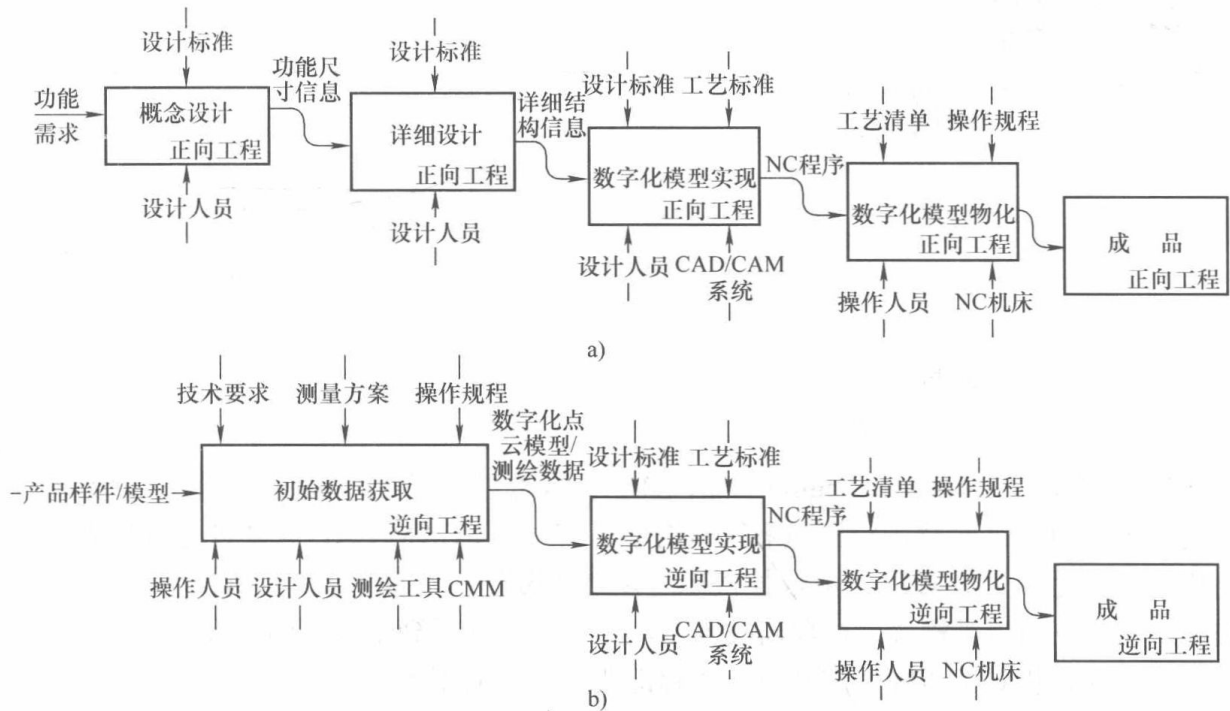


图 1-3

a) 正向工程 b) 逆向工程

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并消化、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。对于产品来说，不管是创新、改进还是仿制，都蕴涵着对已有科技的继承、应用和借鉴。

1.2 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，或为了与客户交流，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做进一步的修改，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的情况下，需要将实物零件转化为产品数字化模型，从而通过逆向工程的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的方法重构该零件的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,提高设备的利用率,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(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,再利用逆向工程的方法构造出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,以及制造具有个人特征的太空服、头盔、假肢等,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,而且可以使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。

1.3 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)以及模式识别等,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。接触式有基于受力变形原理的触发式数据采集和连续式数据采集等,主要包括三坐标测量机和机械手测量两种。而非接触式测量是基于光学、声学、磁学等原理的,其中,光学测量机主要有结构光测距法、激光三角形法、激光测距法、干涉测量法和图像分析法等。

破坏性测量主要应用自动断层扫描技术。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所示为逆向工程数据采集方法分类。

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式数据采集两大方法。

(1) 触发式数据采集方法。触发式数据采集采用触发测头,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,以免过量而折断,因此数据采集速度较低。此方法对凹表面的测量不是十分有效,内腔难以测量。

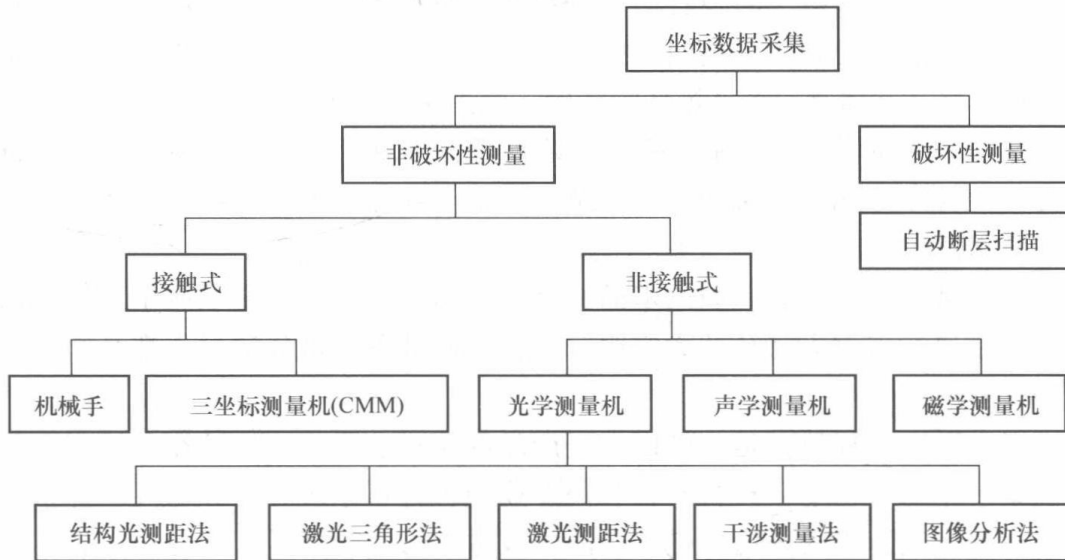


图 1-4

(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,速度比触发测头快许多倍,采样精度也较高。此外,由于接触力较小,模拟量开关采样头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。国内著名厂商有北京航空精密机械研究所、西安爱德华测量设备股份有限公司、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,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 Coord3 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,接触式扫描测头的精度可达 0.02mm,可对易碎、易变形的形体及精细花纹进行扫描。使用德国 GOM 公司的 ATOS 扫描仪进行测量时,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 扫描仪不仅适用于复杂轮廓的扫描,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地进行,因而可获得最快的扫描速度和最高的切削效率;机床规格仅需满足被仿形模型或待加工毛坯的要求即可。该系统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。由于是编程扫描,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,以及根据用户的设定自动生

成分型面等处理，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 所示为 Renscan 200 系统的示意图，图 1-6 所示为二维数据采集示意图，图 1-7 所示为三维数据采集示意图。

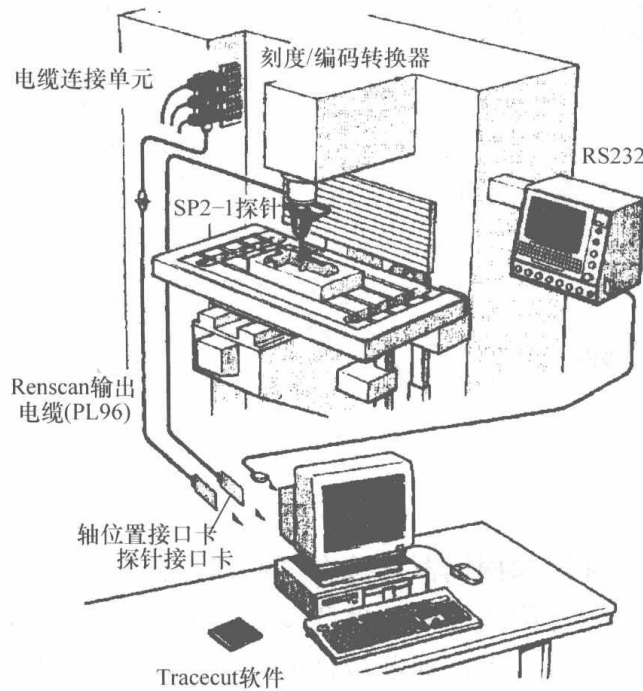


图 1-5

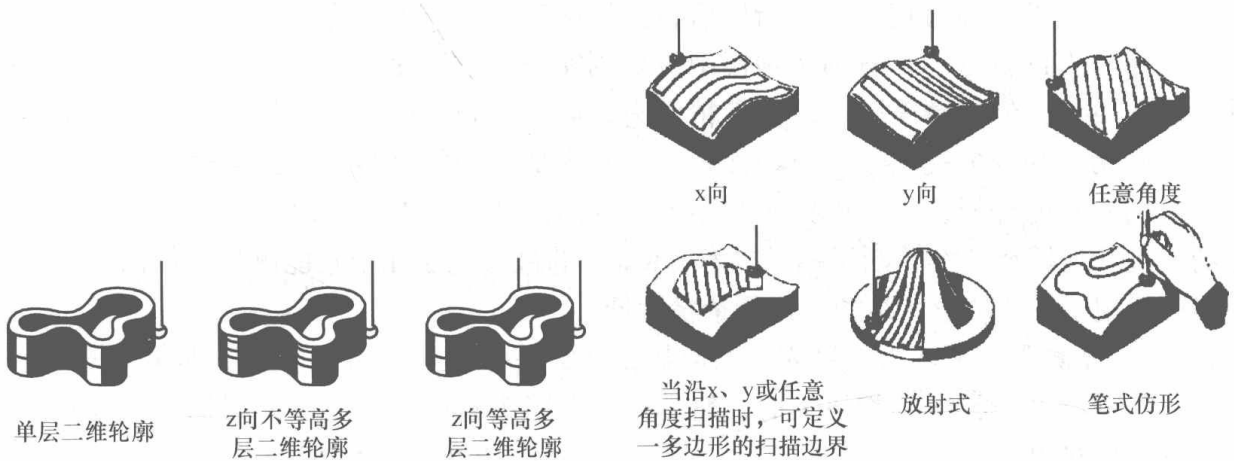


图 1-6

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、声学和磁学等原理，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。采用非接触式测量方法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。

1) 激光三角形法采用的原理是采用激光器作为光源，以预定角度照射到被测物体上，利用光源和 CCD 摄像机之间的位置与投射 / 反射光线与这两点所连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

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

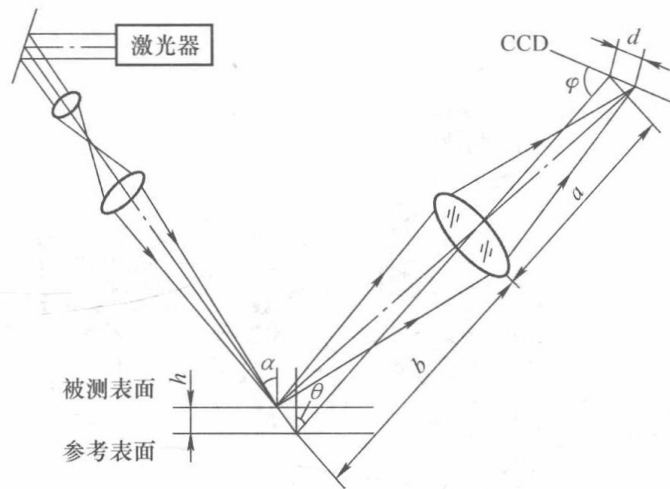


图 1-8

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;另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数据,并由工件系列截面数据重建工件的三维几何模型。工业断层扫描技术(ICT)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。

2) 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、无须运动平台的优点。

1.4 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领域中。起初,它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,它还可用于划线、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生成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物体进行探测和瞄准。此外,三坐标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,从而使测头接触工件瞬间的坐标位置被触发信号“封锁”,并进行运算处理,同时测量机进入下一个程序段。重复上述的测量过程,即可自动完成所需坐标数据的测量。

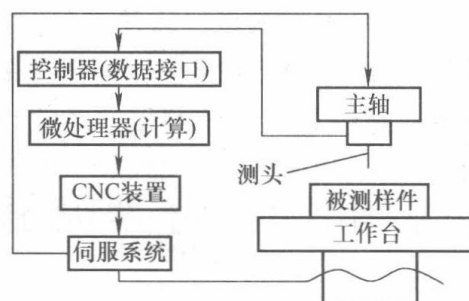


图 1-9

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:指三坐标测量机的主体机械结构。它由工作台、立柱、桥框、壳体等机械结构组成。

2) 标尺系统: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、滚动轴承导轨和气浮导轨,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、气管和分流器等气动装置。

4) 平衡部件:主要用于Z轴框架中,用于平衡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:使测量机增加一个转动运动的自由度,包括分度台、单轴回转台、万能转台和数控转台等。

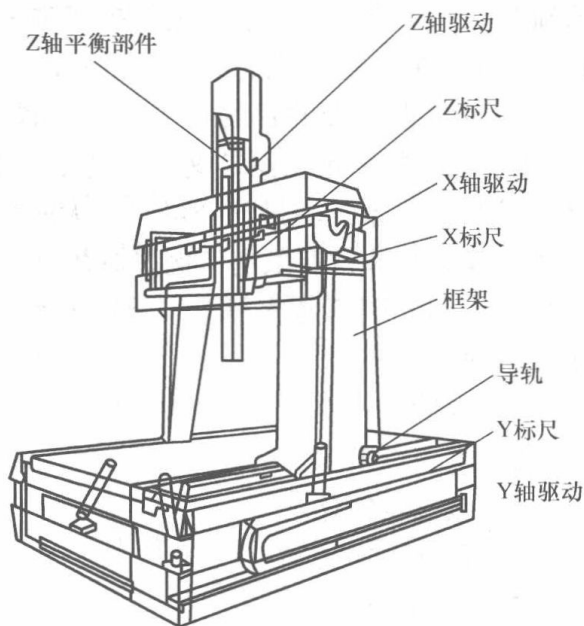


图 1-10

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,是三坐标测量机的核心。

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。它主要有硬测头、电气测头、光学测头等。测头有接触式和非接触式之分。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,是用来驱动三坐标测量机的执行机构,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:是三坐标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,可实现单轴与多轴联动。

2) 计算机硬件部分:包括各式 PC 机和工作站。

3) 三坐标测量机软件: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:根据测量要求打印输出数据、生成表格、绘制图形等。

1.5 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,它决定着后续的模式重建过程能否方便、准确地进行。在与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。

测量数据处理的目的首先是去除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

无论是采用接触法还是非接触法获取数据,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。最简单的噪声去除方法是人机交互,在数据序列中将这些点删除。但是对大范围“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。但上述的每种方法都面临着既要消减噪声,又要保持真实点不过多受损的矛盾。

2. 测量数据分块

在实物反求过程中,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。因此,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哪一种曲面,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的数据点集,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。

1.6 产品模型的重构技术

实物的三维CAD模型重构是整个逆向工程过程中最关键、最复杂的一环,因为后续的模具设计、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,目前成熟的模型重构方法分类如下:

- 1) 按数据类型分,可分为有序点和散乱点的重构。
- 2) 按测量机的类型分,分为基于CMM、激光点云、CT数据和光学测量数据的重构。
- 3) 按造型方式分,分为基于曲线的模型重构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,而是设定一个允许误差值,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。