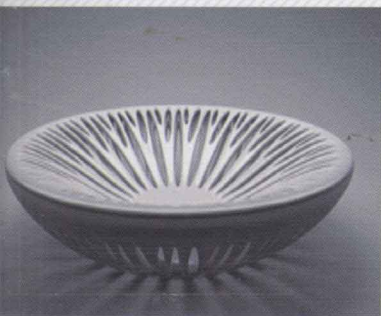
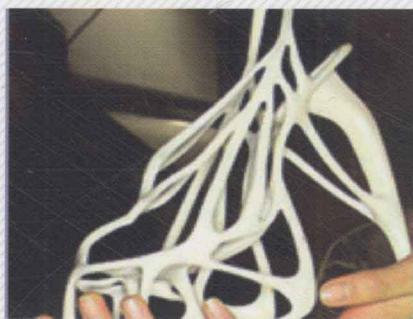


自由成形技术

金烨 王运赣 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

自由成形技术

金 烨 王运赣 编著



机械工业出版社

本书从自由成形这一本质的成形过程介绍自由成形的原理及其相关知识；自由成形机的结构及其工艺过程；功能器件自由成形和自由成形技术在新产品开发、工业生产、生物医疗领域、建筑、珠宝首饰等行业的应用，通过这些应用展示这一新兴技术的发展潜力。

本书可作为高等院校制造工程类、材料工程类、生命科学类院系的教材和参考书，也可作为从事有关新产品研究、设计、制造的工程技术人员参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

自由成形技术/金烨, 王运赣编著. —北京: 机械工业出版社, 2012. 7

ISBN 978 - 7 - 111 - 38953 - 8

I. ①自… II. ①金…②王… III. ①金属压力加工 - 塑性变形 - 高等学校 - 教材 IV. ①TG301

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 138169 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: 曲彩云 责任编辑: 曲彩云 杨明远

版式设计: 纪 敬 责任校对: 张 征

封面设计: 赵颖喆 责任印制: 杨 曦

北京市朝阳区展望印刷厂印刷

2012 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 11.25 印张 · 217 千字

0 001—3 000 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 38953 - 8

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

策划编辑: (010) 88379782

电话服务

网络服务

社服务中心: (010) 88361066 教材网: <http://www.cmpedu.com>

销售一部: (010) 68326294 机工官网: <http://www.cmpbook.com>

销售二部: (010) 88379649 机工官博: <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

20 世纪 80 年代末期出现的快速成形 (Rapid Prototyping, RP) 技术突破了减成法工艺的局限。作为一种具有革命性的、全新的加工技术传入我国后,经历了研究、开发、产品化和产业应用的全过程,至今已经形成了一条完整的产业链。它在新产品的快速开发中做出了非常重要的贡献。长期以来,传统的快速成形机以快速成形几何形状为目的、以提高成形件精度为目标展开研究,但由于受到成形材料的限制,很长一段时间在该研究领域始终处于“形似”的阶段。正因如此,快速成形技术的研究曾处于一段停顿和迷茫的阶段。但随着微滴喷射成形技术的出现和材料制备技术的发展,快速成形技术峰回路转,从“形似”的原型制造走向“神似”的功能器件制造。从功能器件制造的角度,它继承了分层制片、堆积成体的成形机理,但从材料、实现工艺、设备构造的角度来看,都有了很大的发展。现在,我们重新审视传统的快速成形技术,认为“自由成形”更能确切地表征该项技术的本质。我们从自由成形的本质过程来回顾和梳理自由成形技术的加工机理、工艺流程、装备和相关技术,从而阐述以分层制片、堆积成体为核心的自由成形的加工机理,以原型和功能器件制造为目的的快速制造工艺及基于快速制造工艺的自由成形设备,同时介绍该技术领域的新发展和新应用。以这样一条主线为纲,结合编者在该领域多年的研究、开发和应用的经验向读者展示该项技术的典型应用,为拓展该项新技术在我国的应用和推进自由成形技术新的发展起到抛砖引玉的作用。希望对从事该项技术的相关读者有所帮助。

编 者

目 录

前言

第 1 章 自由成形技术基础	1
1.1 自由成形原理	1
1.1.1 减成法	2
1.1.2 加成法	3
1.2 自由成形工艺流程	3
1.3 自由成形技术发展历程	5
第 2 章 自由成形的前处理	8
2.1 三维 CAD 模型的近似处理与标准图形文件格式	8
2.1.1 三维计算机模型文件的建立	8
2.1.2 自由成形机接受的标准图形格式	10
2.1.3 三维 CAD 模型的近似处理	11
2.2 逆向工程与三维模型重建技术	12
2.2.1 由逆向工程获取三维模型	13
2.2.2 由 CT/MRI 扫描数据获取三维模型	15
2.2.3 点云数据的三维模型重建技术	17
2.3 STL 格式图形文件的精度、错误与处理	20
2.3.1 STL 格式的表达方法	20
2.3.2 STL 格式文件的输出形式和精度	21
2.3.3 STL 格式文件的基本规则、常见错误与处理	23
第 3 章 自由成形机与成形工艺设计	31
3.1 激光加工式自由成形机	31
3.1.1 激光固化自由成形机	31
3.1.2 激光切纸自由成形机	35
3.1.3 激光烧结自由成形机	37
3.2 挤压喷射加工式自由成形机	42
3.3 微滴喷射加工式自由成形机	46
3.3.1 喷射粘结剂的三维打印自由成形机	47
3.3.2 喷射光敏树脂的三维打印自由成形机	55
3.3.3 喷射熔化塑料、熔化蜡的三维打印自由成形机	56
3.4 成形工艺设计	57
3.4.1 成形方向	57

3.4.2 支撑结构	65
3.4.3 成形路径	67
3.4.4 成形参数	69
第4章 自由成形件的误差、缺陷与后处理	78
4.1 造成成形件误差、缺陷的主要因素	78
4.2 成形件的表面处理	82
4.3 成形件的后强化	83
第5章 硅橡胶模	88
5.1 硅橡胶模的作用	88
5.1.1 硅橡胶模的典型结构	88
5.1.2 硅橡胶模的用途	88
5.1.3 硅橡胶模的优缺点	89
5.2 制作硅橡胶模的材料	90
5.2.1 室温硫化硅橡胶	90
5.2.2 高温硫化硅橡胶	91
5.3 真空浇注机	91
5.3.1 真空浇注机简介	91
5.3.2 真空浇注机的浇注系统	93
5.3.3 真空浇注机的控制系统	94
5.4 硅橡胶模制作工艺	95
5.4.1 硅橡胶模制作的前期准备	95
5.4.2 硅橡胶模的制作过程	99
5.5 硅橡胶模的应用	103
5.5.1 失蜡铸造中的应用	103
5.5.2 汽车塑料件的首版制作	104
5.5.3 透明、弹性塑料件的制作	105
5.5.4 整容手术中的假体制作	106
5.5.5 艺术品和礼品的制作	106
第6章 自由成形技术的发展	108
6.1 功能器件的自由成形	108
6.1.1 功能陶瓷器件自由成形	108
6.1.2 功能机电器件自由成形	113
6.1.3 功能生物医学器件自由成形	123
6.2 先进三维打印技术	132
6.2.1 压电喷墨式三维打印	132
6.2.2 气动式三维打印	134
6.2.3 电动式三维打印	139
6.2.4 电流体动力喷射式三维打印	141

6.2.5 混合式三维打印	142
6.3 普及型三维打印机	143
6.3.1 工程设计用三维打印机	144
6.3.2 简易实验用三维打印机	144
6.3.3 学生学习用三维打印机	146
第7章 自由成形技术的应用	149
7.1 自由成形技术在产品研发中的应用	149
7.1.1 产品的外观评价	149
7.1.2 产品结构、尺寸与装配关系的验证	151
7.1.3 产品的性能分析与测试	152
7.2 自由成形技术在工业生产中的应用	153
7.2.1 自由成形在铸造中的应用	153
7.2.2 自由成形在塑料成形中的应用	155
7.3 自由成形技术在生物医学领域的应用	158
7.3.1 辅助医疗手术和植入物制作	158
7.3.2 缓释药物的制作	160
7.3.3 组织工程支架制作	161
7.4 自由成形技术在建筑业、珠宝饰品制作业、时尚业和食品加工业的应用	163
7.4.1 建筑模型与构件三维打印	163
7.4.2 珠宝蜡型三维打印	163
7.4.3 食品三维打印	165
7.4.4 时尚品三维打印	168
7.4.5 科教模型三维打印	170
参考文献	172

第 1 章 自由成形技术基础

20 世纪 80 年代以来，由飞速发展的计算机技术所带动的科技进步日新月异，新产品的市场竞争日趋激烈。面对这种形势，为了更快、更好地向市场提供新产品，最大限度地响应和满足用户需求，计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机数字控制（CNC）和精密伺服驱动器件等关键技术手段被广泛深入地采用，形成了一系列先进制造技术。20 世纪 80 年代末出现的自由成形技术就是融合 CAD/CAM/CNC 和自动控制等技术于一体的一项先进制造技术。它以独特的“分层制片，堆积成体”的新工艺，为具有复杂形状的新产品的快速制造提供了强有力的支持。

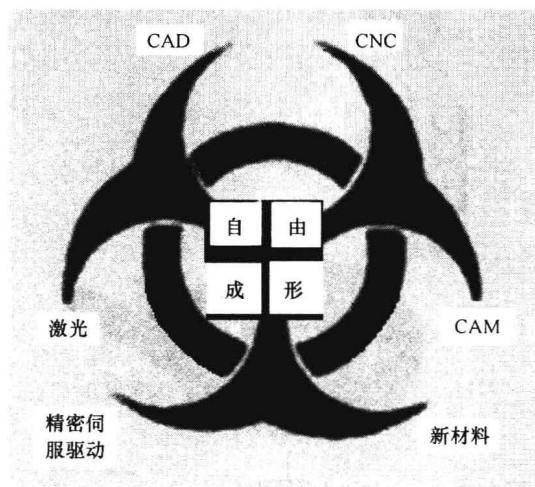


图 1-1 自由成形——多种先进技术的集成

1.1 自由成形原理

自由成形技术是 20 世纪 80 年代末首先从美国开始商品化的一种先进制造技术，有着不同的英文名称，如 Rapid Prototyping（快速原型制造、快速成型、快速成形）、Freeform Manufacturing（自由形式制造）、Additive Fabrication（叠加成形）等，由于当时该技术的应用主要是新产品的几何原型制造，故通常称为快速原型制造，简称为 RP。但随着该项技术的不断发展，尤其是随着功能器件直

接制造技术的渐趋成熟,已经突破了几何原型制造的范畴。从学术上,为了更广义和确切地理解这一技术,我们认为采用自由成形术语更符合该技术的本质。在自由成形技术中,集中体现了 CAD、CAM、CNC、激光、新材料和精密伺服驱动等学科的思想与方法(见图 1-1),它采用了全新的加成法工艺,与传统的减成法工艺有本质的区别。

1.1.1 减成法

1. 减成法工艺及其过程

减成法是运用切削分离的方法,从较大的毛坯上切除部分材料而成形工件的方法(见图 1-2)。传统的车、铣、刨、钻、磨等加工方法都属于减去材料成形,现代的电火花成形与激光切割也属于减去材料成形。

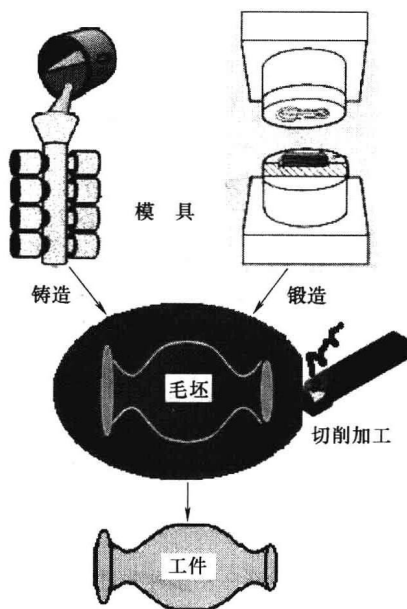


图 1-2 减成法加工

2. 减成法工艺的优缺点

减成法加工的工件精度高,表面品质好,是制造业最常用的成形方式。但是,它采用的毛坯通常必须由铸造、锻造或轧制而成,并且往往还需要模具。因此,加工周期较长,材料利用率较低,成本较高。此外,还受刀具或模具的限制,甚至无法成形一些形状很复杂的工件。

1.1.2 加成法

1. 加成法的核心——分层制片、堆积成体

加成法是指利用各种机械的、物理的或化学的方法,通过有序地添加材料来成形工件的方法。自由成形是典型的加成法,它彻底摆脱了传统的减成法工艺,而采用全新的添加成形的思想,依据计算机上的工件的三维设计模型(见图1-3a),对其进行分层切片,得到各层截面的二维轮廓(见图1-3b)。按照这些轮廓,一层层选择性地堆积材料,制成一片片的截面层(见图1-3c),并将这些截面层逐步顺序叠加,构成工件的三维实体(见图1-3d)。这种成形法将复杂的三维加工分解成简单的二维加工的组合。因此,不必采用传统的加工机床和工模具,就能直接成形工件。

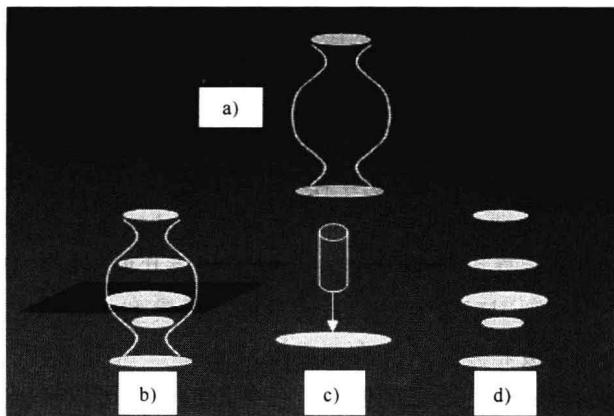


图1-3 加成法(三维—二维—三维)的成形过程
a) 三维工件 b) 分层切片 c) 分层制片 d) 堆积成体

2. 加成法工艺的优缺点

加成法无需工模具,就可成形任意复杂形状的工件,材料利用率高,制造周期较短,成本较低(一般只需传统加工方法的10%~30%的工时和20%~35%的成本)。但是,工件的精度与表面品质目前不如减成法好。

1.2 自由成形工艺流程

工件自由成形的全过程可以归纳为以下三个步骤(见图1-4):

(1) 前处理

它包括工件的三维计算机模型文件的建立、三维模型文件的近似处理和切

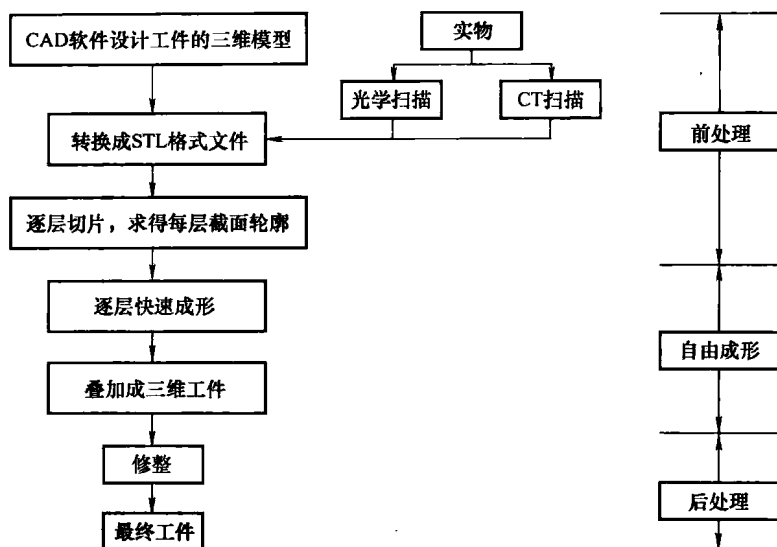


图 1-4 自由成形的全过程

片。由于自由成形系统是由三维 CAD 模型文件直接驱动，所以首先要构建加工工件的三维模型。三维模型可以利用计算机辅助设计软件直接构建，也可以用三维测量系统，如激光测量机、CT 断层扫描机或核磁共振仪对产品实体进行扫描，得到点云数据，然后利用反求工程的方法重构三维模型。自由成形设备目前所接收的文件格式大多为被业界公认的准标准接口文件——STL 格式文件，它是用一系列的小三角形平面来逼近原来的模型，三角形的大小可以根据加工精度的要求进行选择。切片是自由成形中降维处理的核心思想，根据被加工模型的特征选择合适的加工方向，在成型高度方向上用一系列一定间隔的平面切割近似后的模型，以便提取截面的轮廓信息。间隔一般取 $0.05 \sim 0.5\text{mm}$ ，常用 0.1mm 。间隔越小，成型精度越高，但相应的成型时间也越长，效率就越低；反之则精度低，但效率高。

(2) 自由成形

它是自由成形工艺的核心，包括工件截面层的制作与叠加。加工设备根据切片处理的截面轮廓，在计算机控制下，按各截面轮廓信息做扫描运动，在工作台上一层一层地堆积材料，并沿加工方向逐层粘接叠加，最终得到原型产品。

(3) 后处理

它是成型后必须进行的修整工作，包括支撑结构与工件的分离、工件的后固化、后烧结、打磨、抛光、修补和表面强化处理等。

1.3 自由成形技术发展历程

从历史上看,很早以前就有“材料叠加”的制造设想。例如,1892年,J. E. Blather 在他的美国专利(#473 901)中,曾建议用分层制造法构成地形图。这种方法的原理是,将地形图的轮廓线压印在一系列的蜡片上,然后按轮廓线切割蜡片,并将其粘接在一起,熨平接缝表面,从而得到三维地形图。1902年,Carlo Baese 在他的美国专利(#774 549)中,提出了用光敏聚合物制造塑料件的原理,这是现代第一种自由成形技术——“立体平板印刷术”(Stereo-Lithography)的初步设想。1940年,Perera 提出了在硬纸板上切割轮廓线,然后将这些纸板粘接成三维地形图的方法。20世纪50年代之后,出现了几百个有关自由成形技术的专利,其中 Paul L Dimatteo 在他1976年的美国专利(#3932923)中,进一步明确地提出,先用轮廓跟踪器将三维物体转化成许多二维轮廓薄片,然后用激光切割这些薄片成形,再用螺钉、销钉等将一系列薄片连接成三维物体,这些设想与现代另一种自由成形技术——“物体分层制造”(Laminated Object Manufacturing)的原理极为相似。上述早期的专利虽然提出了一些自由成形的基本原理,但还很不完善,更没有实现自由成形机械及其使用原材料的商品化。20世纪80年代末之后,自由成形技术有了根本性的发展,出现的专利更多,仅在1986年~1998年期间注册的美国专利就有24个。首先是 Charles W Hull 在他1986年的美国专利(#4 575 330)中,提出了一个用激光束照射液态光敏树脂来分层制作三维物体的现代自由成形机的方案。随后,美国的3D System公司据此专利,于1988年生产出了第一台现代自由成形机——SLA—250(液态光敏树脂选择性固化成形机),开创了自由成形技术发展的新纪元。在此后的10年中,涌现了十多种不同形式的自由成形技术和相应的自由成形机,如薄形材料选择性切割(LOM)、丝状材料选择性熔覆(FDM)和粉末材料选择性烧结(SLS)等,并且在工业、医疗及其他领域的原型快速制作中得到了广泛的应用。截止1998年,全世界已拥有自由成形机4259台,自由成形机制造公司约27个,用自由成形机进行对外服务的机构331个。到了现在,自由成形机已经普遍为社会各行各业所接受,所装备的机器已经不计其数。

SLA自由成形法是目前世界上公认的众多自由成形方法中最为广泛使用的一种方法,它经过十多年的发展历程,不断地趋向成熟。美国3D System公司高级研究人员 Bryal Bedal 和 Hopnquyer 预言,基于光敏树脂的激光固化成型可以达到亚微米级的分辨率。由于该项技术是多学科的交叉和多项技术的高度集成,所以其整体性能的发展依赖于各种单项技术的发展;反之,单项技术的发展又不断地促进其整体技术的进步。SLA技术可分为硬件、软件、材料以及成型工艺四大组

成部分。各部分的发展既相互促进,又相互制约。软硬件的发展既相互依赖又相互促进,而材料的发展很大程度上又决定着成型的工艺。

美国、英国和德国的一些大学(如康奈尔大学)及研究机构近几年为此进行了全新的探索,他们的研究方向不再着眼于自由成形工件的形状与精度(“形似”),重点是使其“神似”——成为功能器件(functional device)。而作为功能器件,应该具备以下特征:

1) 功能性(functionality),成形的器件除形体结构与真实产品相似外,还必须具有近似的机械、力学、电气、光学、化学、生物等性能(或这些性能的组合),所以,应该是能起功能作用的活性器件(active device)。

2) 完备性(completion),成形的器件是完整的器件(complete device),而不是单个零件,而且不拆分就能直接整体自由成形。

3) 多种材料(multi-materials),由于必须达到上述要求,成形原材料通常有若干种。

4) 多重工艺(multi-processes),由于必须达到上述要求,成形时通常需要采用多个成形头,用不同的材料和不同的工艺参数来成形器件的不同部分。

这种器件即使尺寸精度目前尚不能完全达到真实产品的要求,但是完全可用于产品功能的测试,所以能大大缩短新产品的研制周期,这是减成法难以实现的。

用自由成形工艺直接制作功能器件的关键是:实现自由成形工艺的机器必须能采用成分、形态和规格广泛的多种成形原材料。美国等大学和研究机构的解决途径是,采用微滴喷射(Micro-droplet jetting)来制作自由成形所需的一层层小薄片截面,这种方法是利用精细喷头喷射体积为微升(μL)[⊖]至飞升(fL)[⊖]的各种“墨水”微滴,此微滴沉积在基板上逐步堆积成三维结构。由于微滴喷射成形起始于三维打印成形(3D Printing),因此现在许多人将微滴喷射成形统称为三维打印自由成形(包括传统的熔融挤压自由成形)。目前,微滴喷射用的喷头主要有热泡式喷头(thermal bubble jet)、压电式喷头(piezoelectric jet)、微注射器(micro syringe)式喷头、熔融挤压式喷头等几种。其中,热泡式喷头和压电式喷头是喷墨打印机上十分先进而成熟的产品,其喷嘴直径为微米级,每个喷头上的喷嘴数可达1000个以上,喷射液滴的分辨率dpi值(每英寸长度上可喷射的液滴数目)可达到1000以上。因此,只需将喷墨打印机通常用的墨水(ink)变更为自由成形所需的特殊“墨水”,就能实现二维/三维的自由成形。

⊖ $1\mu\text{L} = 10^{-6}\text{L}_0$

⊖ $1\text{fL} = 10^{-15}\text{L}_0$

据报道,针对功能器件的自由成形,国外还研制了相应的“墨水”,采用这些墨水和微喷自由成形系统直接成形了功能机电器件、功能陶瓷器件、功能梯度材料构件和功能生物医学器件等。其中,功能机电器件有立体电路、场效应晶体管、电阻、电容、电感线圈、静电电动机、RFID(无线电射频识别)电子标签、有机电致发光显示器(PLED)、太阳能电池等;功能生物医学器件有组织工程支架(scaffold)等。

上述成果为自由成形技术开辟了全新的方向和途径,使加成法工艺可以直接成形减成法工艺所无法直接成形的一些功能器件,从而为蓬勃发展的新材料及其成形提供一种便捷而低廉的有效手段,并且极有可能成为自由成形技术发展的第二个里程碑。

近年来,我国的一些高等院校也开展了有关微喷自由成形的研究,其中多数侧重于喷头的理论分析(例如数学建模和仿真分析),较少见到成熟的系统;有关“墨水”的研究论文不少,但实用性尚未经证实,因此差距比较明显。

上海富奇凡机电科技有限公司经过多年的努力,利用热泡式喷头已研制和生产了具有自主知识产权的三维打印机,在此基础上又研制了一种喷嘴可方便拆卸的压电式喷头,以及商品化的微注射器式自由成形系统。这种系统可以配置1~4个喷头,喷头为全不锈钢结构,喷射推力大。能喷射用户自行设计或选择的由聚合物、金属或陶瓷等构成的溶液(水溶液或溶剂溶液)、胶体、悬浮液、浆料或熔体。喷头中设有加热装置(最高可达200℃),能根据需要通过加热改变原材料的粘度,以便获得所需喷射性能的流体,喷嘴不易堵塞,可快速、方便地进行拆卸、清洗和安装。料筒易于清洗,可方便地更换其中的成形原材料。系统运行时,可实时在线调整喷头的加热温度、喷射流量和移动速度以及工作台的移动速度,以便优化成形工艺。

目前,典型的微喷自由成形功能器件可分为功能陶瓷器件、功能机电器件、功能梯度材料构件和功能生物医学器件四大类。

第2章 自由成形的前处理

2.1 三维 CAD 模型的近似处理与标准图形文件格式

2.1.1 三维计算机模型文件的建立

自由成形机只能接受由计算机构造的工件三维模型经切片处理后的特定格式数据。所以，建立计算机三维模型是自由成形的基础。目前构建计算机三维模型有以下三种方法：①在计算机上，用三维 CAD 软件，如 UG、Pro/Engineer 和 SolidWorks 等，根据工件的要求设计三维模型（见图 2-1a），或将已有工件的二维三视图转换成三维模型。②通过逆向工程建立三维模型，即用光学扫描机对已有工件进行扫描，通过数据重构软件（如 Geomagic Studio、ReSoft 等）和三维 CAD 软件，得到工件的三维模型。③根据 CT/MRI 扫描数据，用图像转换软件生成三维模型（见图 2-1b）。

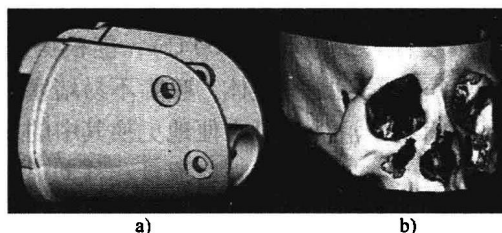


图 2-1 三维计算机模型

a) 用 CAD 软件得到的三维模型

b) 由 CT/MRI 扫描数据转换成的三维模型

在个人计算机或工作站上，使用三维 CAD 软件，根据工件的要求，可以设计其三维模型，或将已有工件的二维三视图转换成三维模型。

随着 CAD 技术的发展，出现了许多三维模型的形体表达方法，其中常见的有以下几种：

（1）构造实体几何法（Constructive Solid Geometry，简称 CSG 法）

构造实体几何法用布尔运算法则（并、交、减），将一些较简单的体素（如长方体、圆柱体、环、锥体等）进行组合，变化成复杂形状的三维模型实体。

它的优点是,数据结构比较简单,无冗余的几何信息,所得到的实体真实有效,并且能方便地进行修改。缺点是可用于产生和修改实体的算法有限,构成图形的计算量很大,比较费时。

(2) 边界表达法 (Boundary Representation, 简称 B-rep 法)

边界表达法是根据几何元素顶点、边和面构成的表面精确描述三维模型实体。这种方法的优点是,能快速地绘制立体或线框模型。此方法的缺点是,它的数据是以表格形式出现的,占用的存储空间大,修改设计不如 CSG 法简单,例如,要修改实心立方体上的一个简单孔的尺寸,必须先用一个实心的圆柱填充这个孔,然后才能绘制一个新孔。所得到的实体不一定总是真实有效,可能出现错误的孔洞和颠倒现象。

(3) 参数表达法 (Parametric Representation)

对于自由曲面,难以用传统的体素来进行描述,可用参数表达法。这类方法借助参数化样条、贝塞尔曲线和 B 样条来描述自由曲面,它的每一个 X 、 Y 、 Z 坐标都呈参数化形式。各种参数表达法的差别仅在于对曲线的控制水平,即局部修改曲线而不影响邻近部分的能力,以及建立几何体模型的能力,其中较好的一种是非均匀有理 B 样条 (NURBS) 法,它能表达复杂的自由曲面,允许局部修改曲率,能准确地描述体素。通常为了综合以上方法的优点,目前较有影响的 CAD 系统常采用 CSG、B-rep 和参量的组合表达法。

(4) 单元表达法 (Cell Representation)

单元表达法起源于分析软件(如有限元分析),在这些软件中,要求将表面离散成单元。典型的单元有三角形、正方形或多边形。在自由成形技术中采用的三角形近似(将三维模型转化成 STL 格式文件),就是一种单元表达法在三维表面的应用形式。

用于构造模型的 CAD 软件应有较强的三维造型功能,这主要是实体造型 (Solid Modeling) 和表面造型 (Surface Modeling) 功能,后者对构造复杂的自由曲面有重要作用。如美国参数技术公司 (PTC) 的 Pro/Engineer,它是一个参数化、基于特征的造型系统,有较强的实体造型和表面造型功能,可以构造非常复杂的模型,因此受到很多用户的好评。由于该软件系统比较庞大和使用界面相对复杂,新用户常常要有一段熟悉和积累经验的过程。美国 Solid Works 公司近年推出的 Solid Works 价格比较便宜,使用的内核为 ParaSolid,能基本满足三维造型的要求,并且使用界面比较简单,用户容易掌握,是目前用户使用较多的三维 CAD 软件之一。

三维 CAD 软件产生的输出格式有多种,其中常见的有 IGES、STEP、DXF、HPGL 和 STL 等。

2.1.2 自由成形机接受的标准图形格式

STL (STereoLithography interface specification) 由 3D Systems 公司用于自由成形机而首先开发提出。它使用三角形面片来表示三维实体模型, 现已成为 CAD/CAM 系统接口文件格式的工业标准之一, 绝大多数三维造型系统能支持并生成此种格式文件, 它特别在自由成形设备中得到广泛使用。

STL 文件由多个三角形面片集合组成, 每个三角形面片由其三个顶点的三维坐标和三角形面片的法矢量来定义, 如图 2-2 所示。三角形顶点的排列顺序遵循右手法则, 三角形面片的个数则按 STL 文件的类型, 有直接给出的, 也有不给出的。STL 文件中还包括一些其他信息, 如文件名, 文件描述等。

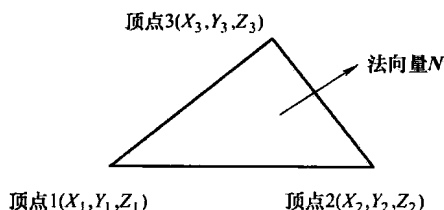


图 2-2 STL 文件中的三角形表示

STL 文件有两种类型, ASC II 格式和二进制格式:

ASC II 格式, 即文本格式, 使用字符串来描述三角形面片的定义及其他信息。它使用以下关键字: solid filename, facet normal, outer loop, vertex, endloop, endfacet, endsolid filename。整个文件可描述如下:

solid filename // STL 文件开始标志及此文件名

facet normal 法矢量的三个分量值

outer loop // 三角形顶点定义开始

vertex 第一个顶点的三维坐标

vertex 第二个顶点的三维坐标

vertex 第三个顶点的三维坐标

endloop // 三角形顶点定义结束

endfacet // 第一个三角形面片定义结束

.....

endsolid filename // 整个文件结束

二进制格式, 在此格式下的每个三角形面片占固定的 50 字节 (三组顶点和一个法矢量的三个分量共占 48 字节, 及两个空字节)。其格式描述如下:

地址	长度 (字节)	数据类型	描述
----	---------	------	----