

想象世界触手可得

3D打印

面向未来的制造技术

杨继全 冯春梅 主编 | 莫志勇 主审



化学工业出版社



3D打印

面向未来的制造技术

杨继全 冯春梅 主编

莫志勇 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书介绍了3D打印技术概念的形成和发展趋势、3D打印技术中三维软件的设计、3D打印技术中各种成形工艺；并用大量的数据、图片生动地展示了3D打印技术在诸多行业的应用。

本书可供机械制造、材料成形、医疗、汽车制造、飞机零部件、军事、教育、工业、商业机器、模型、玩具、服装等领域专业人士和跃跃欲试的DIY爱好者参考。

图书在版编目（CIP）数据

3D打印：面向未来的制造技术 / 杨继全，冯春梅主编。
—北京：化学工业出版社，2014.1
ISBN 978-7-122-18979-0

I. ①3… II. ①杨…②冯… III. ①立体印刷—印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆CIP数据核字（2013）第272947号

责任编辑：李玉晖
责任校对：宋 玮

文字编辑：李锦侠
装帧设计：尹琳琳

出版发行：化学工业出版社（北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011）
印 装：北京瑞禾彩色印刷有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张8 字数165千字 2014年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询：010-64518888（传真：010-64519686） 售后服务：010-64518899
网 址：<http://www.cip.com.cn>
凡购买本书，如有缺损质量问题，本社销售中心负责调换。

定 价：45.00元

版权所有 违者必究

前言

提起3D电影大家一定不会陌生，而3D打印技术也正一步步走进人们的生活。3D打印——按需定制、以相对低廉的成本制造产品——一度被认为是科幻想象，而现在已经变成现实。在2014年，这种趋势将逐渐加速。

一方面，3D打印将成为一种工业化力量，3D打印原先只能用于制造产品原型以及模具，而现在它已用于制造工业产品。比如，飞机将使用3D打印制造的零部件，这些零部件能够让飞机变得更轻、更省油。另一方面，3D打印开始治病救人，通过3D打印制造的医疗植入物将提高一些患者的生活质量。因为3D打印产品可以根据确切体型匹配定制，如今这种技术已被应用于制造更好的钛质骨植入物、义肢以及矫正设备。跟传统制造的产品相比，通过3D打印机制造的新产品将熔丝材料、纳米尺度以及印刷电子器件等融于一体，展示出堪称神奇的新特性，不仅令人喜爱，更具备明显的竞争优势。

3D打印让人刮目相看的秘诀在于，它可以在制造过程中控制所用材料，精度甚至可达分子和原子级别。目前，随着对未来可行的商用3D打印机的研究不断完善，我们期待令人兴奋和向往的新产品以惊人的特性出现在世人面前。

3D打印技术无疑会成为21世纪最有潜力的技术之一，如果您对这项技术还不了解，就赶快随作者一起畅游3D打印的世界吧！

本书共分为11章。第1章主要介绍3D打印技术最新的应用,包括在工业、医疗、教育、军事、建筑等领域的应用实例。第2~5章介绍3D打印技术的概念、成形思想、3D模型软件的设计方法等。第6~10章,介绍3D打印技术中各成形工艺、成形材料等。第11章主要介绍3D打印技术的现状及未来。

本书由南京师范大学杨继全、冯春梅主编,莫志勇主审。3D打印技术是集机械工程、CAD、逆向工程技术、分层制造技术、数控技术、材料科学、激光技术于一身的技术,在编写本书的过程中得到许多教师和研究生的帮助。南京师范大学郭爱琴老师参加了电气控制方面的编写,王琼、程继红老师参加了3D打印系统软件方面的编写;李永超、李成、施建平、徐路钊、陆子渊、王璟璇、徐晓慧、李静波、尹亚楠、姜杰、吴静雯等为本书收集了大量资料数据,并翻译了最新英文资料供本书编写参考,丰富了本书的内容,在此一并表示感谢。

本书得到国家自然科学基金(61273243)、江苏省科技成果转化专项资金重大项目(BA20130518)、江苏省高校自然科学基金(13KJB460011)、江苏省三维打印装备与制造重点实验室等项目的支持。

由于编者水平有限,不足之处在所难免,请读者多提宝贵意见。

编者

2014年1月

目录

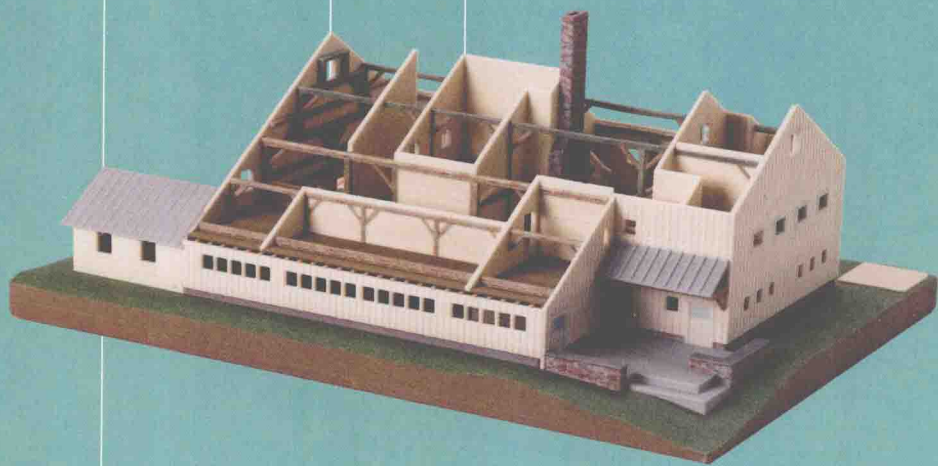
第1章 时尚的3D打印	1
1.1 3D打印走近身边	2
1.2 3D打印技术应用于工业	5
1.3 3D打印技术应用于医学	11
1.4 3D打印技术应用于航天和军事	15
1.5 3D打印技术应用于建筑、教育和体育	16
1.6 跃跃欲试的DIY爱好者	22
第2章 3D打印知多少	27
2.1 3D实物的成形方法	28
2.2 “3D打印技术”这个词的由来	29
2.3 3D打印技术的主要成形工艺	30
2.4 3D打印技术的现状和发展趋势	31
2.5 3D打印技术的市场优势	32
第3章 3D模型设计	36
3.1 3ds Max 软件基本建模	37
3.2 犀牛软件基本建模	40
3.3 结构设计软件SolidWorks建模	45
第4章 3D打印技术中的三维反求工程	48
4.1 三维反求的概念	49
4.2 三维反求工程中的数据采集技术	56
4.3 三维反求工程中的数据处理技术	60
4.4 三维反求工程实例	61
第5章 3D模型的计算机处理	70

第6章 光固化快速成形	73
6.1 基本原理	74
6.2 应用	75
6.3 研究进展	77
第7章 叠层实体制造成形	80
7.1 基本原理	82
7.2 后处理	83
7.3 应用	84
第8章 选择性激光烧结成形	86
8.1 概述	87
8.2 工艺流程	88
8.3 原料和金属材料的应用	89
8.4 应用	91
第9章 熔融沉积制造	93
9.1 基本原理	94
9.2 系统组成	96
9.3 熔融沉积材料	99
9.4 应用	100
第10章 三维印刷成形	104
10.1 基本原理	105
10.2 技术分析	106
10.3 应用	107
10.4 发展	111
第11章 3D打印的未来	113
11.1 最新发展	114
11.2 市场前景	115
参考文献	119

时尚的3D打印

第1章

- 1.1 3D打印走近身边
- 1.2 3D打印技术应用于工业
- 1.3 3D打印技术应用于医学
- 1.4 3D打印技术应用于航天和军事
- 1.5 3D打印技术应用于建筑、教育和体育
- 1.6 跃跃欲试的DIY爱好者





1.1 3D 打印走近身边

网络时代，“3D 打印”是不是早已让你从“如雷贯耳”到“熟视无睹”？那么你对3D打印到底有多少了解呢？图1-1和图1-2所示，就是用粉末打印机直接“打印”的建筑模型，这是3D打印技术中最简单、最基本的应用。或许你在某个网站上早已看过这样的图片，也了解了一些关于这方面的知识，但是你可能并不知道时至今日3D打印技术已经拥有较为成熟的技术体系和非常广泛的应用领域，你自己也可以直接设计并打印你的作品。



图1-1 3D打印的房屋模型



图1-2 3D打印的建筑物模型

用3D打印制作的建筑模型不但成形速度快，而且精确度非常高。传统的建筑工程沙盘往往存在各部位缩放比例失调，制作不够精细，甚至还有明显的黏胶痕迹，而3D打印的模型完全弥补了这些缺点。图1-3就是3D打印的各种建筑设计模型。



图1-3 3D打印的各种建筑设计模型

除了建筑模型之外，3D打印可以为厂家提供实用的机械模型和机器零件。

许多工业器械仅仅根据设计图纸进行加工，往往存在或多或少的误差，而如果先做一个试验品，那么加工一个昂贵的仪器又会造成太大的浪费；假如这时能有一个快速而且成本低廉的3D模型是一件多么令人欣慰的事情啊！现在，我们确实做到了！

图1-4就是一个3D打印的工业机械模型，它既为我们降低了经济成本，又为我们赢得了竞争时间。制作该工业机械模型主要包括3D模型设计和3D模型成形两大步骤。在进行3D模型设计时就可以采用优化设计，从总体上把握它的功能。成形之后可以进一步研究分析设计效果，大大降低了今后成品生产的误差率，提高了产品效益。

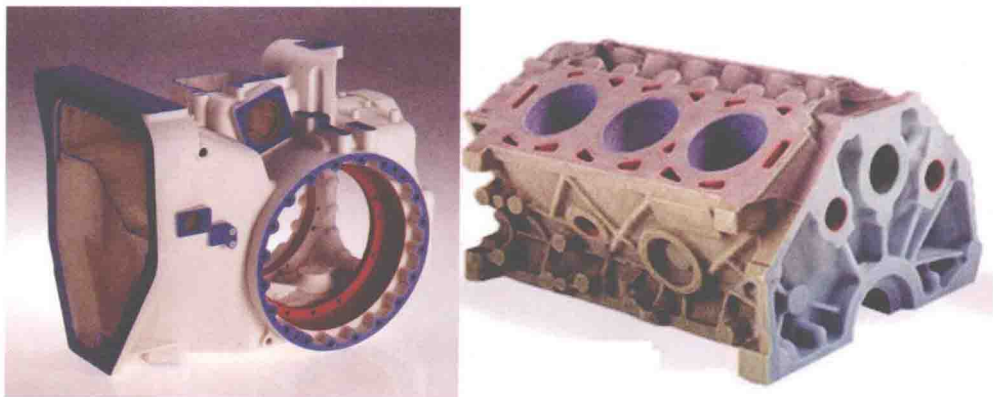


图1-4 3D打印的工业机械模型



不能不提的是3D打印为普通消费者带来的方便，它关系到我们每天24小时的生活。在你为日用品的安全或者没有时间出门购买而感到烦恼的时候，试想不用出门，也不用上网，在家就可以“打印”出自己想要的东西是一件多么有意思的事情啊！图1-5是参照一个旧牙刷模型“打印”出的新牙刷和一个花瓶，你是不是迫不及待也想试一下呢？



图1-5 3D打印的日用品模型

各种各样的杯子、茶壶、首饰盒，我们几乎已经能够做到随手打印就用的地步了！是不是你想都没想过呢？

孩子是如今最宝贝的宝贝了，我们来看看3D打印又能给孩子们带来什么。

看看图1-6，图中的玩具都是用3D打印技术直接打印的玩具模型，它带给孩子们的不仅是动手能力和想像力的培养，更是无穷无尽的乐趣！通过3D打印，孩子不仅可以拥有自己想要的玩具，更可以亲自设计玩具，掌握设计、成形的整个过程，既动手又动脑。父母们是不是都愿意尝试这样一个开发孩子智力的机会呢？



图1-6 3D打印的玩具模型

时尚的3D打印，是不是很可爱，很DIY？3D打印技术的应用实例已经不胜枚举，我们不妨从下面几个方面较为详细地来看看它在各个领域是如何发挥作用的。

1.2 3D 打印技术应用于工业

2011年11月欧洲举行了一届模具展，展出了一种新设备——3D打印机。一家名为3D系统的美国公司用3D打印机当场“打印”了一把锤子，这把锤子有仿木手柄和金属锤头。

这就是未来制造业的一种发展趋势。随着劳动工具的显著变化，未来的制造业正在发生显著的变化。

如果你想拥有一把自己设计的、与已有产品完全不同的锤子，按照传统制造方式可能需要支付上千美元。这是因为制造者首先要生产模具，浇铸锤头，磨平锤头，车削出木质手柄，最后把这些部件装配起来。

对3D打印机而言，无论是生产一件产品还是生产大量的产品，开动机器的成本都是一样的。这就如同办公室里的二维打印机，无论打印一张信笺还是更多的文件，一直打印到墨盒需要更换、纸张需补充为止，其打印的单位成本总是一样的。

3D打印的应用范围之广让人难以置信。工程项目再不会因临时缺少一套工具而被迫中止，顾客不会再去抱怨他们再也找不到之前买过的备用零件，这样的日子将不太遥远！

图1-7所示为3D打印在工业领域应用的比例，其中汽车领域是3D打印服务最高端的行业之一。大众汽车公司也已经引进了这项工艺，且进展迅速，十年之内将有更多新的车型面世。最终它将使美国、欧洲和中国的分厂能够根据当地市场的要求生产本土化的车辆。这让汽车这一高端行业越来越贴近客户需求，不久就将有更多的定制车型面向整个市场的所有不同需求客户。



图1-7 3D打印在工业领域的应用



3D打印技术带来的所有变革将促成第三次工业革命。由于采用了新型材料、全新的生产工艺、易操作的机器人，以及在线制造协作服务的普及，制造业小批量生产变得更加经济，生产组织更加灵活，劳动投入更少。

第一次工业革命始于18世纪晚期英国的纺织业机械化。在工业革命以前，纺织业工作种类繁多，需要许多工人在数百间纺织工坊里面纯手工完成，后来工作都集中到一间纺织厂里面，工厂就这样诞生了。第二次工业革命始于20世纪早期，那时候亨利·福特发明了装配流水线，迎来了大规模生产的时代。前两次工业革命让人们更加富裕，同时使得人口更加向城市集中。现在第三次工业革命正在展开，3D打印让制造业正往数字化的方向发展。这次革命不仅将改变商业，还将改变除商业外的许多行业。

像所有的革命一样，这一场革命将是“破坏性”的。我们将看到未来的工厂是这样的：未来的工厂不会有积满灰尘的机器，机器边上也不会站着满身油污的工人，非常干净的机器几乎都是无人看管的。大多数工作将不用在工厂现场进行，而是在附近的办公室里直接进行。

以下列举一些3D打印技术在工业方面的应用。

• 直接用途，直接制模

直接制模就是直接利用3D打印技术直接加工模具，如图1-8所示。这种方法可以在制造工具的过程中根据不同的结构特征和工艺要求慢慢地减少一些步骤，得到成本上和时间的效益。同时，直接的方式跟非直接的方式比起来可以潜在地减小误差，减少生产步骤有可能将潜在的误差减到最小。

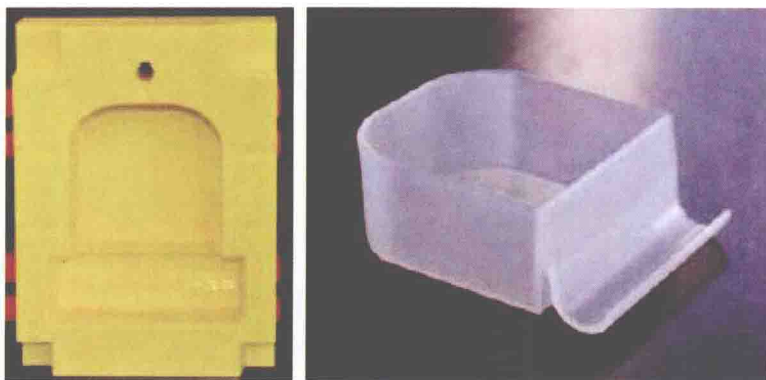


图1-8 用FDM技术制作的模具腔和它生成的注塑部件

对于复杂形状的图样，3D打印技术更是凸显其优势，其准确程度可以和其他数码制作或逆向工程部件相媲美。一旦有了3D打印技术生产出的第一代的模具，那么，更新的版本就可以更快、更容易地在需要的时候生产出来。

为缩短产品制造周期，降低产品外包装和外包装内用于保护产品的支撑材料生产成本，采用3D打印中的熔融沉积制造（FDM）技术可以直接制造多孔的纤维模具，如图1-9所示。

在真空之下使纤维拉紧，就可以把液体浆制成衬垫。FDM技术，降低了成本和时间，缩短了生产周期，使得模具生产变得更加实用。图1-9中的右边就是利用FDM技术直接制成的垫层模具。

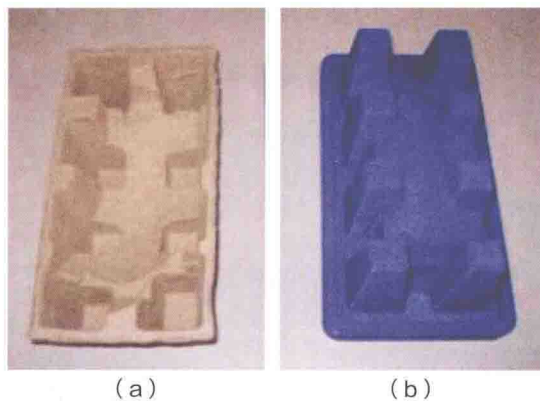


图1-9 外包装里层的垫层和生产该垫层的模具

• 高性能的模具

对于高性能模具来说，缩短它的研制周期，要比缩短用它生产产品的时间周期更为重要。一旦研制成功，用它加工产品得到的成本收益远远大于传统生产的收益。

3D打印技术可以改良高性能模具的热属性，这一点是传统加工所无法实现的。3D打印技术可以让模具内部通道冷却时依旧保形，这些通道允许冷却剂以模具腔形的状态存在，而在传统工艺中，模具的内部冷却过程中会收缩变形。图1-10所示口红盖里层的模具，就是一个极好的实例。



图1-10 口红盖里层的高性能模具

冷却保形后模具或硬模的冷却速度比直管铸模来得快。试验表明，保形冷却可以缩短30%的时间周期，并提高产品部件的质量，对于注塑成形，这种标志性优点使得3D打印技



术能够具有高度竞争能力。

3D打印技术与直接铸造相比，其表面光洁度较差。表面粗糙的质地对于一个部件来说通常是个致命的缺点。然而，对于内部冷却通道来说，有粗糙纹理表面实际上能够提高传热和冷却的总体性能，由此看来这成了3D打印技术独一无二的优势。

• 制造业和装配工具

夹具、固定装置、模板、仪表、特种组装工具的生产，由于它们是定制的，需要专门设计和制造，且每一种生产量都很少，故而往往非常昂贵，使用铝合金材料就更加昂贵。在这种情况下，3D打印技术就有了用武之地。用3D打印技术生产这些设备装配连接器是再合适不过了，图1-11就是采用3D打印技术生产的设备装配件。



图1-11 设备装配件

美国Stratasys公司开发了一种用于FDM工艺的新材料——ABS-ESD7材料。它具有防静电的性能，可以防止静电积聚，成为设备装配的理想材料。

美国Wair公司使用FDM工艺生产专用测试阀的固定装置，可以使用专用测试阀灵活地调节便携式氧气罐的氧气流量。固定装置钳住液氧节能阀并自动设置阀门的压力。使用FDM的聚碳酸酯部件，将八个部分合为一体，其设计更清洁、更紧凑、更轻便。该公司用FDM工艺生产这种固定装置比传统的方式节省了很多时间和成本。

一些有趣的应用程序对3D打印材料的种类和耐久性进行了改进。FDM工艺可以加工PC-ABS、PPSF、ULTEM 9085和其他混合材料的部件，这些材料加工的部件都非常耐用。图1-12所示为用改进的FDM工艺材料加工的产品。



图1-12 改进的3D打印材料的产品

FDM工艺可以生产热塑性塑料部件，这一点对生产各种需要力量 and 材料稳定性的工具和夹具都很有用，如固定装置、夹具等。这些固定装置、夹具在装配线上使用的数量往往不多，生产出第一代版本的工具后，新的、改进的版本的生就简单而容易多了。图1-13中的恒压夹具是用于组装外科设备的一个铸模。

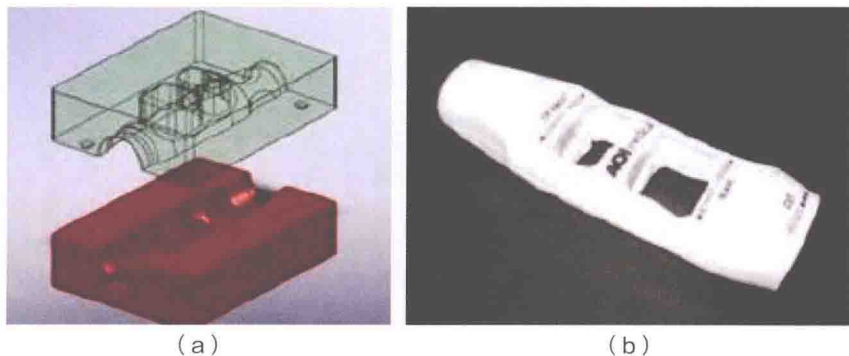


图1-13 恒压夹具铸模

金属板材成形和复合纤维成形，也受益于现代高性能3D打印材料的制造。图1-14就是高性能材料采用3D打印制造的模具。



图1-14 高承受性能材料的3D打印制造模具

另外，真空热成形的工具也可以采用FDM技术加工。FDM加工工序的多孔性适用于热成形设备，无需再真空钻孔。根据最后的外壁厚度和外观要求，表面可能要做一些后处理。

• 金属铸件模型化

自第一套3D打印系统20多年前投入应用以来，金属铸造中也逐渐纳入了3D打印工艺，并尝试了各种能够同时减少制造金属铸件的时间和成本的方法。

对于小型和中型的金属铸造，许多地方会使用熔模铸造。铸造厂铸造过程中，对去模和熔融的过程，会使用蜡或性质像蜡的材料直接打印铸件模型。图1-15就是用3D打印技术打印的性质像蜡的铸件模型。



图1-15 性质像蜡的材料打印的产品

金属铸模有不同的形状或大小，用3D打印技术做的一些最小的、最精确的金属铸模是在饰品行业。在过去的十年中，贸易全球化导致珠宝产业发生了重大改变，尤其是在美国，制造厂商们都希望产品能长期保持销路，他们发现若是希望低成本地提供有竞争力的定制产品，唯一的方法便是去研发新技术。

由于贸易向着全球化的趋势发展，运营商会将进口产品的数量减至最小，以减小囤货的风险。这就给本国的贸易带来了机会，各种设计院校直接培训设计机构和运营商，采用高端的快速成形生产设备和工艺过程“打印”产品。在密西根州肯德尔艺术和设计学院（Kendall College of Art and Design Grand Rapids, Michigan），金属和珠宝设计部门有一个数字加工实验室，有一台叫Solidscape R66的3D打印机，是那里专门用来生产精美的珠宝建模和铸模的机器。

在金属和珠宝方案的设计课程中，数字技术在传统设计中占有一席之地。这里的学生既要学习传统的手工操作技能，又要学习数字技术，如CAD设计和3D打印技术。

Solidscape的蜡基系统为珠宝商、金器商、设计师和大型珠宝制造商提供了一种快速地从设计到铸蜡铸件的方法。图1-16所示为精美的珠宝建模。



(a)

(b)

图1-16 精美的珠宝建模