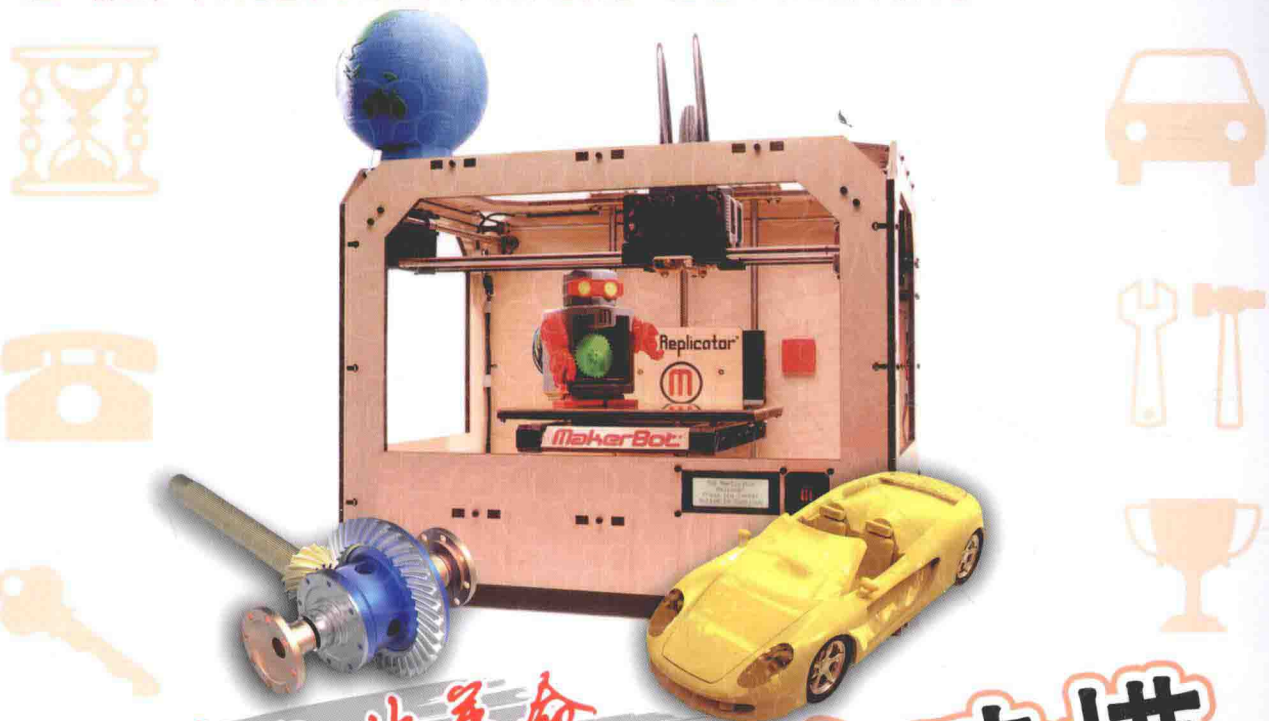


·中国制造2025计划·

完全实战 多领域模型的实用建模方法
揭秘打印 展示3D打印完整工作流程

随着3D打印技术的普及和发展，由该项技术引领的这场新工业革命正逐步被越来越多的人所熟知，而如何将这一技术从“理论探讨”变为“实操可用”成为了当前最大难题。针对这一情况，本书定位于技术应用，展示给读者“落地”的3D打印技术。



新工业革命

UG NX 综合建模 与3D打印

姬清华 李树强 连黎明 等编著

- **技术解析** 涵盖3D打印的应用领域、发展情况、材料选择、专业术语等
- **建模工具** 布尔操作、拉伸特征、回转特征、倒斜角、边倒角、孔等方法
- **完全实战** 建模+检查+分层+校准喷头+预热+打印+移除支架+打磨成品
- **知识拓展** 3D打印机、3D打印材料选购，以及3D照相馆解决方案等拓展资料

DVD
VIDEO

附赠

赠 全书案例的设计素材以及最终效果
再赠 超长380分钟本书语音教学视频
超值赠 170分钟建模实战多媒体视频



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

新工业革命：

UG NX 综合建模与 3D 打印

姬清华 李树强 连黎明 等编著



机械工业出版社

3D 打印是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可粘
合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术,它是快速成型技术的一
种。通常采用数字技术材料打印机来实现 3D 打印。在早期的模具制造、工
业设计等领域,3D 打印常用于制造模型,如今,随着技术不断进步,该技
术正逐渐应用于一些产品的直接制造。在珠宝、鞋类、工业设计、建筑、
工程施工、汽车、航空航天、医疗、教育、地理信息系统、土木工程、枪
支以及其他领域,3D 打印技术都有应用,未来可应用的范围会越来越广。

本书基于 UG 软件建模,通过制作适合 3D 打印的模型和模型优化修
补,最终输出完成 3D 打印模型。本书由理论基础和建模实战两部分组成,
详细介绍了工业设计软件的建模技术、优化修补模型的方法以及主流 3D 打
印机的使用流程,并对 3D 打印材料、3D 打印机原理进行了阐述。

本书适合关注 3D 打印的相关从业人员阅读,也适合相关大专院校的师
生作为教材使用。

图书在版编目(CIP)数据

新工业革命:UG NX 综合建模与 3D 打印/姬清华,李树强,连黎明编著.

—北京:机械工业出版社,2015.8

ISBN 978-7-111-51045-1

I. ①新… II. ①姬… ②李… ③连… III. ①计算机辅助设计-建
立模型-立体印刷 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 178711 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:丁 伦 责任编辑:丁 伦

责任校对:张艳霞 责任印制:李 洋

三河市国英印务有限公司印刷

2015 年 9 月第 1 版·第 1 次印刷

185mm×260mm·25.5 印张·2 插页·640 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-51045-1

ISBN 978-7-89405-833-1(光盘)

定价:75.00 元(附赠 1DVD,含教学视频)

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

封面防伪标均为盗版

金 书 网:www.golden-book.com

前言

房子、汽车、衣服、人体器官、机器人……你能想象这些东西都可以打印出来吗？3D打印的概念起源于19世纪末的美国，当时美国研究出照相雕塑和地貌成形技术，随后产生了打印技术中的3D打印核心制造思想。到了20世纪80年代初期，3D打印技术得以逐步发展和推广，近几年来3D打印逐渐大热，中国物联网校企联盟称它为“上上个世纪的思想，上个世纪的技术，这个世纪的市场”。概括来说，3D打印是快速成型技术的一种，它是一种以三维模型为样本，通过逐层打印或粉末熔铸的方式来构造物体的技术，成型材料可以选择工业塑料、金属和树脂等。

此前，部件设计完全依赖于生产工艺能否实现，而3D打印机的出现将颠覆这一生产思路，任何复杂形状的设计均可以通过3D打印机实现。

过去，设计师能在计算机软件中制作虚拟的三维物体，但要将这些物体用粘土、木头或金属做成模型，可以用费时、费力、费钱来形容。3D打印技术的出现，使平面变成立体的过程简单了很多，设计师的任何改动都可在几个小时后或一夜之间重新打印出来，而不用花上几周时间等着工厂把新模型制造出来，这样一来可以大大降低制作成本。随着科技不断进步，越来越多的东西都可以用各种材料打印出来。

当前，美国和欧洲在3D打印技术的研发及推广应用方面处于世界领先地位。除欧美外，其他国家也在不断加强3D打印技术的研发及应用。澳大利亚在2013年制定了金属3D打印技术路线；南非正在加大基于激光的大型3D打印机器的开发力度。

近几年，3D打印技术在国内掀起了一股技术创新热，作为产品3D效果展示的技术保障，3D可视化呈现在国内也获得了广泛的应用。许多传统制造行业、企业也都嵌入了3D可视化技术，使用基于各类引擎的3D可视化呈现技术来设计和展示产品已经成为国内行业发展的趋势。中国3D打印设计服务市场快速增长，已有多家企业利用3D打印制造技术生产设备和提供服务。用发展的眼光来看，3D打印首先会影响的是模具行业。即便在国内制造行业不景气的今天，模具行业仍然风景独好，一方面是它对技术要求高，另一方面是市场有需求，在产品大规模生产之前必须要进行多次打样和修改。3D打印机的出现，其实是消灭了模具反复打造的流程，能直接从计算机图形数据中生成任何形状的零件，极大地缩短了产品的研制周期，大幅度减少了成本投入。

3D打印技术引领了一场新时代的工业革命，相关题材图书也陆续出版，但其中大部



分内容均为理论探讨而非实战操作，读者往往看得“云里雾里”，却不知如何将其运用到自己的工作中去，因此本书在普及 3D 打印知识的同时，把更多篇幅放在了将该项技术“落地”的实操上。全书在调研了各类有建模需求的技术人员的基础上，选出了贴近一线工作的多种建模方法下的 3D 打印建模案例，并且完整展示了在 3D 打印机硬件上实现成品打印，以及模型修复和后期加工过程。同时，除展示完整的打印过程外，还提供了详尽的 3D 打印机参数设置及注意事项。此外，本书还收集了大量与 3D 打印相关的参考资料，以及当下最引人关注的热门话题：如 3D 照相馆解决方案、3D 打印材料、最新 3D 打印机的性价比资料等信息。

本书在策划和编写过程中汇集了众多 3D 打印专家、学者、教育工作者以及 3D 打印公司一线员工的经验和意见，并从他们中间取材了大量 3D 打印实景照片和相关拓展资料，力求为读者带来更好的学习氛围以及身临其境的操作体验。其中第 2 章、第 3 章、第 4 章及第 5 章共约 26 万字由姬清华（新乡学院）编写，第 1 章、第 6 章共约 21 万字由李树强（河南科技大学）编写，第 7 章共约 17 万字由连黎明（新乡学院）编写。参与本书内容编写及案例测试的人员还包括钱政华、王育新、贺海峰、杜娟、谢青、吴淑莹、杨晓杰、李靖华、蒋芳、郝红杰、田晓鹏、郑东、侯婷、吴义娟、张龙、苏雨、倪茜、师立德、袁碧悦、张毅、刘晖、徐立峥等。

本书适合关注 3D 打印的有关人员阅读，也适合相关大专院校的师生作为教材使用。本书由于编写时间仓促，错误之处在所难免，敬请广大读者谅解并批评指正。

编 者

第 1 章

3D 打印概述

1.1 什么是 3D 打印	2
1.1.1 与普通概念打印机的不同之处	3
1.1.2 各种价位的 3D 打印机	4
1.1.3 3D 打印成型方式	4
1.2 3D 打印的应用领域	7
1.2.1 规划与建筑	7
1.2.2 工业设计与工程	8
1.2.3 娱乐	9
1.2.4 医疗	10
1.2.5 军事	11
1.2.6 生活用品	12
1.3 3D 打印的优缺点	13
1.3.1 优点	14
1.3.2 缺点	14
1.4 全球 3D 打印的发展情况	15
1.4.1 国外 3D 打印的发展现状	15
1.4.2 国内 3D 打印的发展现状	15
1.4.3 展望	15
1.5 3D 打印的材料选择	16
1.5.1 树脂	17
1.5.2 工业塑料	18
1.5.3 石膏	19
1.5.4 尼龙	19
1.6 3D 打印的关键词	20
1.6.1 STL 格式	20
1.6.2 水密	20
1.6.3 STL 错误	20
1.6.4 横截面	20

1.6.5 层厚度	21
1.6.6 支撑材料	21
1.7 主流 3D 打印机介绍	21
实用问答: ABS 和 PLA 材料各有什么	
优缺点	22
技术链接: 在购买 3D 打印机时需要	
考虑的问题	23

第 2 章

3D 打印流程

2.1 3D 模型打印的要求	26
2.1.1 物体模型必须为封闭的	26
2.1.2 物体模型的最大尺寸和壁厚	26
2.1.3 正确的法向	27
2.2 转换 STL 格式	27
2.3 启动打印机	28
2.4 安装材料盒	28
2.5 开始打印	28
2.6 冷却	29
2.7 去掉底座和支撑	29
2.8 精修模型	30
实用问答: 3D 打印机打印的产品有哪些	
优势, 哪些用途	31
技术链接: 3D 打印的十大优势	32

第 3 章

工业设计软件的建模流程和 3D 打印文件的输出

3.1 工业设计软件的建模流程	35
-----------------	----



3.2 打印前的准备	35
3.2.1 打印机的防护事项	35
3.2.2 打印时的安全保护措施	35
3.2.3 开源 3D 打印机的外观	36
3.2.4 开源打印机的规格	38
3.3 安装打印机	38
3.4 3D 打印文件的输出	40
实用问答：3D 打印机打印出来的	
强度如何	41
技术链接：桌面 3D 打印的包埋技巧	42

第 4 章

3D 模型的常用建模工具

4.1 布尔操作	44
4.1.1 布尔操作概述	44
4.1.2 布尔求和操作	44
4.1.3 布尔求差操作	45
4.1.4 布尔求交操作	46
4.2 拉伸特征	47
4.2.1 选取拉伸特征命令	47
4.2.2 定义拉伸特征的截面草图	47
4.2.3 定义拉伸类型	48
4.2.4 定义拉伸深度属性	48
4.2.5 完成拉伸特征定义	48
4.2.6 拉伸特征实例演示	48
4.3 回转特征	50
4.3.1 选取回转特征命令	50
4.3.2 定义回转特征的截面草图	50
4.3.3 定义回转轴（矢量）	51
4.3.4 定义回转深度属性	51
4.3.5 完成回转特征定义	51
4.3.6 回转特征实例演示	51
4.4 倒斜角	53
4.4.1 选取倒斜角特征命令	53
4.4.2 “倒斜角”对话框说明	53
4.4.3 完成倒斜角特征定义	54

4.4.4 倒斜角特征实例演示	54
4.5 边倒圆	55
4.5.1 选取边倒圆特征命令	55
4.5.2 “边倒圆”对话框说明	55
4.5.3 完成边倒圆特征定义	56
4.5.4 边倒圆特征实例演示	56
4.6 孔	57
4.6.1 选取孔特征命令	57
4.6.2 “孔”对话框说明	57
4.6.3 孔特征实例演示	60
4.7 netfabb 修补工具的使用	61
4.7.1 下载并安装软件	61
4.7.2 导入模型	61
4.7.3 自动修复模型	62
实用问答：3D 打印的常用技术	
有哪些	65
技术链接：2015 年 3D 打印技术	
的发展趋势	66

第 5 章

零件建模&打印实战

5.1 机锁	69
5.1.1 操作步骤详解	70
5.1.2 输出机锁的模型	90
5.1.3 检查机锁的 STL 模型	91
5.1.4 打印机锁模型	91
5.1.5 移除机锁模型	97
5.1.6 移除机锁模型的支撑材料	97
5.2 底盘前片	99
5.2.1 操作步骤详解	100
5.2.2 输出底盘前片模型	116
5.2.3 在 netfabb 中解决模型破损问题	118
5.2.4 打印底盘前片模型	118
5.3 螺栓笼	121
5.3.1 操作步骤详解	122
5.3.2 输出螺栓笼模型	144



5.3.3 在 netfabb 中将黄色的破损面 进行修复.....	145	6.3.2 输出手机套模型	258
5.3.4 打印并校准喷头高度且 进行预热.....	147	6.3.3 检查手机套的 STL 模型.....	259
5.3.5 移除螺栓笼模型.....	148	6.3.4 打印模型时计算模型的 打印成本	260
5.3.6 移除螺栓笼模型的支撑材料	149	6.3.5 移除手机套模型和支撑材料	261
5.4 车轮	150	6.4 烛台	262
5.4.1 操作步骤详解	151	6.4.1 操作步骤详解	263
5.4.2 输出车轮模型	174	6.4.2 输出烛台模型	281
5.4.3 在 netfabb 中切割车轮模型	175	6.4.3 检查烛台的 STL 模型	282
5.4.4 打印车轮模型	177	6.4.4 准备打印平台	282
5.4.5 移除模型时的人身安全措施	178	6.4.5 打印烛台支撑的选择	284
5.4.6 3D 打印时的故障排除	178	课后练习 1: 茶杯	286
课后练习 1: 齿轮	179	课后练习 2: 猎户座吊坠	288
课后练习 2: 反应器	181	实用问答: 全球 3D 打印行业目前有 哪些商业盈利模式	291
实用问答: 全球 3D 打印行业的竞争格局 是怎样的	184	技术链接: 3D 打印照相馆的应用与盈利 模式探讨	292
技术链接: 如何避免 3D 打印最小壁厚 要求产生的错误	185		

第 6 章

生活用品建模&打印实战

6.1 相机支架	187
6.1.1 操作步骤详解	188
6.1.2 输出相机支架模型	206
6.1.3 放大相机支架的 STL 模型	207
6.1.4 清洗打印机喷嘴	208
6.1.5 打印机故障排除	209
6.1.6 移除相机支架模型的支撑材料	210
6.2 戒指	211
6.2.1 操作步骤详解	212
6.2.2 输出戒指模型	230
6.2.3 处理戒指 STL 模型的破损面	231
6.2.4 打印戒指模型	234
6.3 手机套	236
6.3.1 操作步骤详解	237

第 7 章

玩具用品建模&打印实战

7.1 棋盘	295
7.1.1 操作步骤详解	296
7.1.2 输出棋盘模型	315
7.1.3 STL 模型的单位转换	316
7.1.4 将模型放到成型平台上	317
7.1.5 打印材料的操作	317
7.2 字母块	319
7.2.1 操作步骤详解	320
7.2.2 输出字母块模型	337
7.2.3 检查字母块的 STL 模型	338
7.2.4 打印字母块模型	339
7.2.5 移除字母块模型	340
7.2.6 移除字母块模型的支撑材料	340
7.3 骰子	341
7.3.1 操作步骤详解	342
7.3.2 输出骰子模型	367



7.3.3 检查骰子的 STL 模型	368	7.4.4 打印模型时设置支撑间隔	
7.3.4 打印模型时的支撑设置	370	和面积	390
7.3.5 移除骰子的模型和支撑材料	371	课后练习 1：正方块	392
7.4 棋子	372	课后练习 2：集装箱	394
7.4.1 操作步骤详解	373	实用问答：3D 打印机可以打印大尺寸	
7.4.2 输出棋子模型	388	模型吗	397
7.4.3 检查棋子的 STL 模型	389	技术链接：如何减少 3D 打印花费	398



第 **1** 章

3D 打印概述

3D 打印（3D Printing）是快速成型技术的一种，它是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D 打印通常是采用数字技术材料打印机来实现的。过去其常在模具制造、工业设计等领域被用于制造模型，现正逐渐用于一些产品的直接制造，已经有使用这种技术打印而成的零部件。该技术在珠宝、鞋类、工业设计、建筑、工程和施工（AEC）、汽车、航空航天、牙科和医疗产业、教育、地理信息系统、土木工程、枪支以及其他领域都有所应用。

如图所示为 3D 打印在各个领域的应用范例。



1.1 什么是 3D 打印

3D 打印的想法早在几十年前就已提出，只是没有能够研发成功。设计师能在计算机软件中看到虚拟的三维物体，但要将这些物体用粘土、木头或金属做成模型却非常不易，可以用费时、费力、费钱来形容。3D 打印的出现使平面变成立体的过程简单了很多，设计师的任何改动都可在几个小时后或一夜之间重新打印出来，而不用花上几周时间等着工厂把新模型制造出来，这样一来可以大大降低制作成本。随着科技不断进步，更多的东西以成品的形式

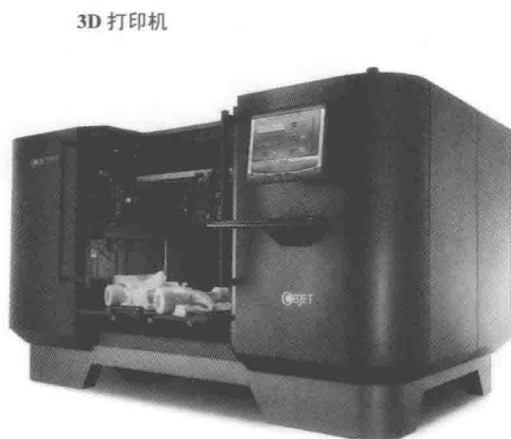
被打印出来，人们才发现原来还可以这么“玩”。

1.1.1 与普通概念打印机的不同之处

在日常生活中，我们所使用的普通打印机可以打印用计算机设计的平面图形，如下左图所示，而 3D 打印机，顾名思义可以打印立体的物体，如下右图所示。3D 打印机与普通打印机的工作原理基本相同，只是打印材料是真实的物体材料。



普通打印机



3D 打印机

普通打印机的打印材料是墨水和纸张，而 3D 打印机的材料盒内装有塑料、尼龙、玻璃、金属、陶瓷、塑料、石膏等不同的“打印材料”，是实实在在的原材料，打印机与计算机连接后，通过计算机控制可以把“打印材料”一层层叠加起来，最终把计算机上的蓝图变成实物，如图所示。

打印出来的 3D 模型

一卷打印 ABS 工业塑料的耗材



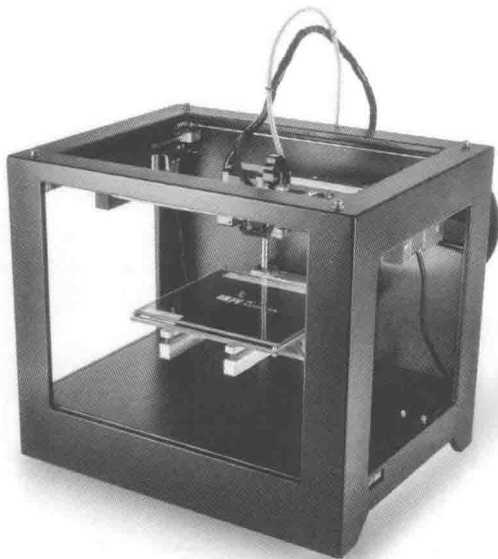
通俗地说，3D 打印机是可以“打印”出真实 3D 物体的一种设备，比如打印一个玩具人偶，打印玩具手枪，打印各种生活用品，甚至是巧克力。之所以通俗地称其为“打印机”，是因为这项技术参照了普通打印机的技术原理，分层加工的过程与喷墨打印十分相似，所以才将其称为 3D 立体打印技术。如图所示为美国 CONNEX500 多材料 3D 打印机。



CONNEX500 多材料 3D 打印机

1.1.2 各种价位的 3D 打印机

3D 打印概念并非是最近才有的，这个技术最早起源于 19 世纪末的美国，并在 20 世纪 80 年代初期得以发展和推广。3D 打印通常是采用数字技术材料打印机来实现，这种打印机的产量以及销量在 21 世纪以来得到了极大的增长，其价格也正逐年下降，目前便宜的 3D 打印机价格在数千元左右人民币（如图所示为国产激光 3D 打印机），高级的激光 3D 打印机价格非常昂贵，动辄几百万美金。



价廉物美的国产激光 3D 打印机

1.1.3 3D 打印成型方式

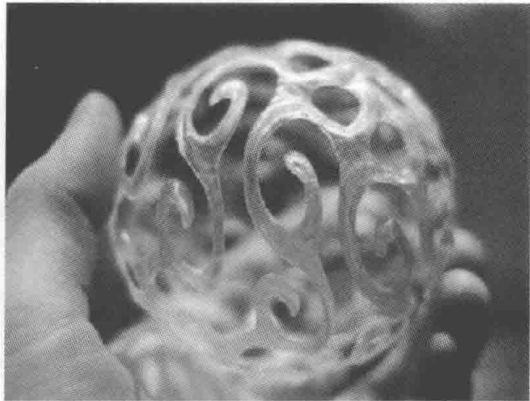
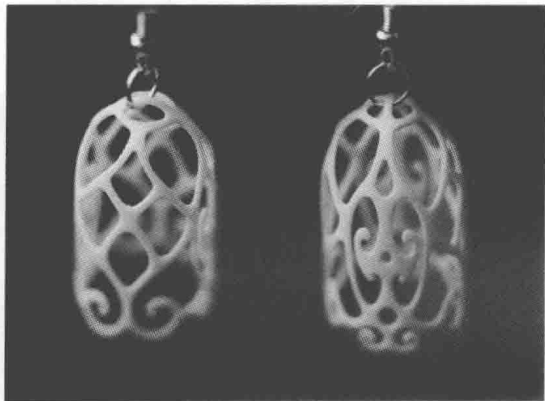
使用普通打印机就像打印一张照片，按下计算机屏幕上的【打印】按钮，一份数字文件便被传送到一台喷墨打印机上，它将一层墨水喷到纸的表面以形成一幅二维照片。而使用 3D



打印机打印时，在计算机中通过 CAD 辅助设计软件制作一个 3D 模型，然后对其进行切片分析，并将这些切片的信息传送到 3D 打印机上，后者会将连续的薄型层面堆叠起来，直到一个固态物体成型，如图所示。3D 打印机与传统打印机最大的区别在于它使用的“墨水”是实实在在的原材料。



这种堆叠薄层的形式多种多样，有些 3D 打印机使用“喷墨”的方式。例如，一家名为 Objet 的以色列 3D 打印机公司使用打印机喷头将一层极薄的液态塑料物质喷涂在铸模托盘上，此涂层然后被置于紫外线下进行处理。之后铸模托盘下降极小的距离，以供下一层堆叠上来。另外一家总部位于美国明尼阿波利斯市的公司 Stratasys 使用一种叫做“熔积成型”的技术，整个流程是在喷头内熔化塑料，然后通过沉积塑料纤维的方式形成薄层，容积成型技术适合那种太浪费支撑材料的打印工作，如图所示为使用沉积成型技术打印的模型。

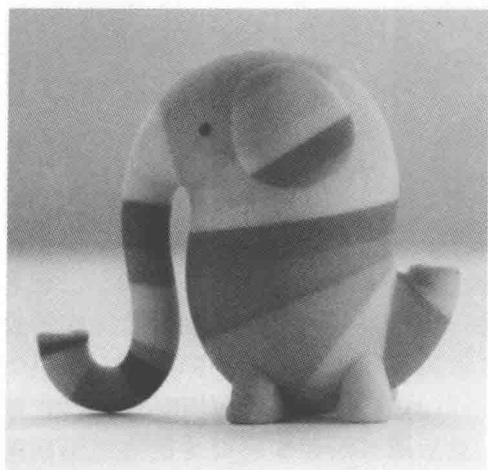


还有一些系统使用粉末微粒作为打印介质。粉末微粒被喷撒在铸模托盘上形成一层极薄的粉末层，然后由喷出的液态粘合剂进行固化。它也可以使用一种叫做“激光烧结”的技术熔铸成指定形状。这也正是德国 EOS 公司在其叠加工工艺制造机上使用的技术。而瑞士的 Arcam 公司则是利用真空中的电子流熔化粉末微粒。以上提到的仅仅是许多成型方式中的一部分。

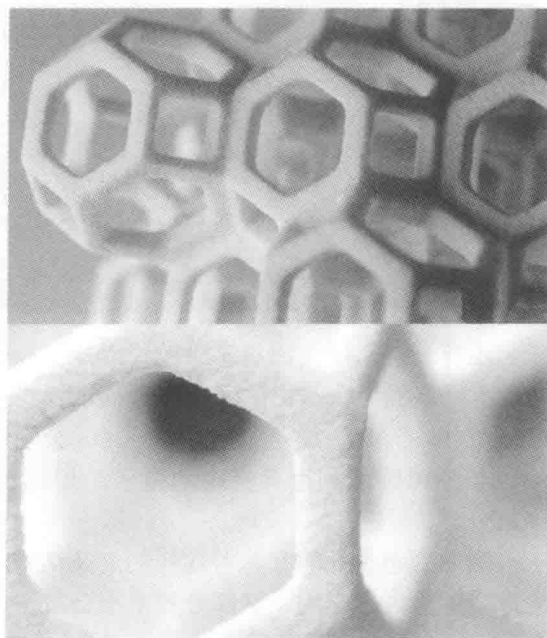
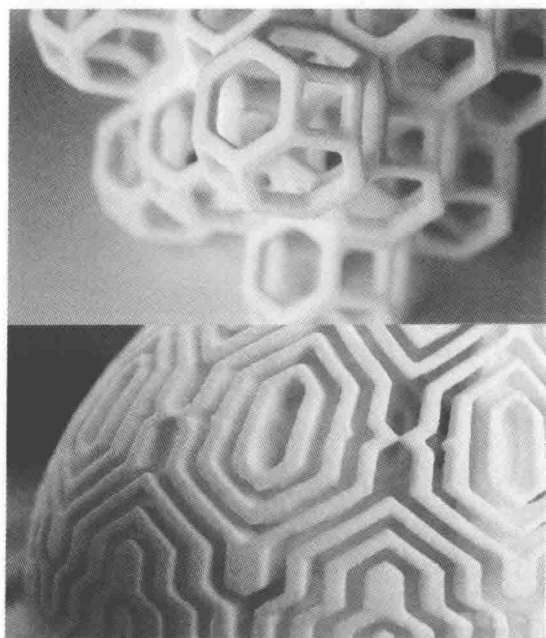
当遇到包含孔洞及悬臂这样的复杂结构时，介质中需要加入凝胶剂或其他物质，以提供支撑或用来占据空间。这部分粉末不会被熔铸，最后只需用水或气流冲洗掉支撑物便可形成孔隙。如今可用于打印的介质种类多样，包括种类繁多的塑料、金属、陶瓷以及橡胶类物质。有些打印机还能结合不同介质令打印出来的物体一头坚硬而另一头柔软。如下左图所示为一

个用尼龙材料打印出来的玩具成品。

科学家们正在利用 3D 打印机制造皮肤、肌肉和血管等简单的活体组织，很有可能将来有一天我们能够制造出像肾脏、肝脏甚至心脏这样的大型人体器官。如果生物打印机能够使用病人自身的干细胞，那么器官移植后的排异反应将会减少。如下右图所示为科学家打印出来的人造耳朵器官。



人们也可以利用 3D 打印技术打印食品，例如康奈尔大学的科学家们已经成功打印出了一个蛋糕。几乎所有人都相信，食品界的杀手级应用将是能够打印食物的机器，如图所示为用 3D 打印机打印的砂糖模型。

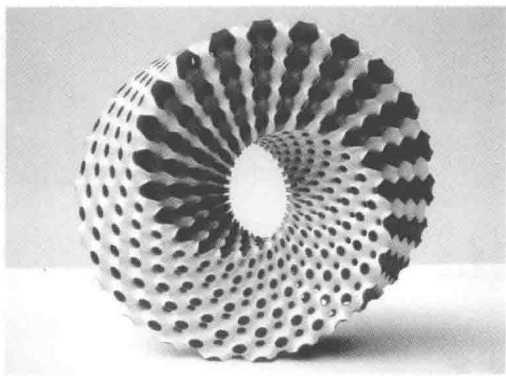
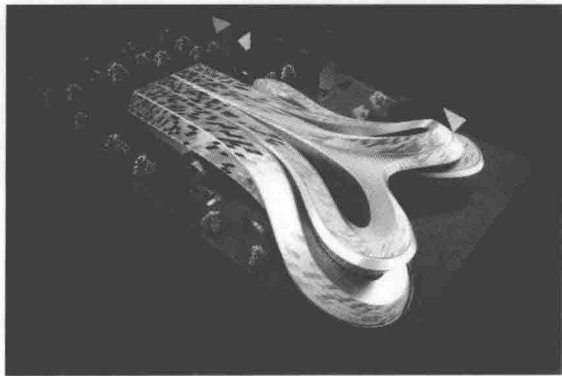


1.2 3D 打印的应用领域

“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，而至 21 世纪初已经变成现实。在 2013 年，这种趋势将逐渐加速。3D 打印在建筑规划、工业设计、娱乐、医疗等诸多领域有了广泛的应用。

1.2.1 规划与建筑

在规划与建筑领域，有了 3D 打印技术之后，很多难以想象的复杂造型得以实现。比如要建造一座类似莫比乌斯环一样的建筑，如图所示。

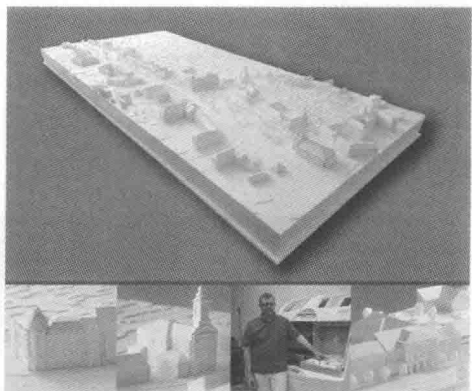


应用案例：据国外媒体报道，英国伦敦的一家建筑企业 Softkill Design 率先提出了 3D 打印房屋的新概念——原材料来自塑料，外观像蜘蛛网。该企业表示，如果市场接受这种新概念 3D 打印房屋，随时都可以为客户打造实体房屋。

设计成员之一的吉尔·瑞特森表示，这项发明不仅对房屋建筑行业是一场革新，甚至还有望解决英国的住房危机。按照发明者的设计：将所有的组件制造好需要 3 个星期的时间，装配起来则仅需一天的功夫。这种房屋将用尼龙搭扣或类似按钮的紧固件固定在一起，而這些在传统建筑技术中并不会用到。如图所示为蛛网式的超现实主义房屋设计。



据悉，这一构想是 2012 年 10 月伦敦 3D 打印展上展出的一款打印房屋原型的延伸，原型以极具特色的纤维尼龙结构作为骨架来代替实心的墙体。房屋组件采用激光烧结的生物塑料，在 3D 印刷厂中制造，这将会比用沙子或混凝土印制的质量更好。纤维结构的厚度只有 0.7mm，用石头打印是不可能的，因为沙子没有足够的结构强度和完整性。而在工厂环境中，则可以用像塑料或金属之类更高强度的材料。3D 印刷业的蓬勃发展将会提升经济规模，这意味着在不久的将来，这样的房屋可能因其经济性而在市场竞争中取得优势。如图所示为 3D 房屋沙盘模型。



1.2.2 工业设计与工程

3D 打印原先只能用于制造产品原型以及玩具，预计在未来几年中它将成为工业化力量。事实上，一些 3D 打印的零部件已经被应用于飞机上，这些零部件能够让飞机变得更轻、更省油。该技术也将被国防、汽车等工业应用于特种零部件的直接制造。总之，在人们不知不觉的情况下，通过 3D 打印制造的飞机、汽车乃至家电的零部件数量将变得越来越多。如图所示为用 3D 打印机打印的工业零件。

