

# 3D打印

正在到来的工业革命 **第2版**

3D PRINTING, SECOND EDITION

[英] Christopher Barnatt 著 赵俐译

- + 世界知名**未来学家**带你了解**3D打印**，展望**产业趋势**
- + 《时代》周刊将3D打印列为“**美国十大增长最快的工业**”之首
- + 拿起本书，**认识3D打印**，迎接正在到来的**工业革命**



 中国工信出版集团

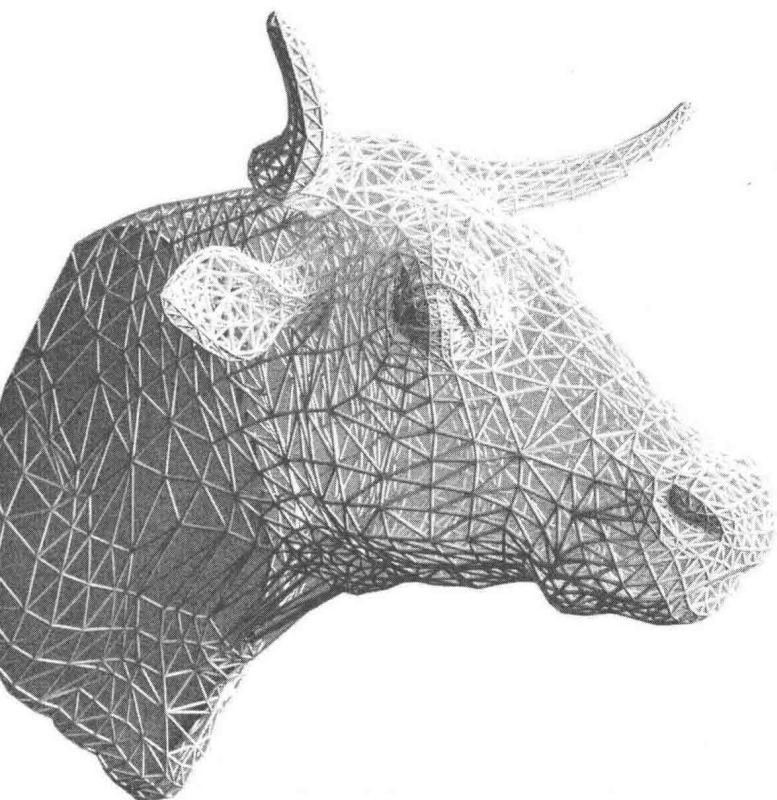
 人民邮电出版社  
POSTS & TELECOM PRESS

# 3D打印

正在到来的工业革命 第2版

3D PRINTING, SECOND EDITION

[英] Christopher Barnatt 著 赵俐译



人民邮电出版社

北京

## 图书在版编目(CIP)数据

3D打印：正在到来的工业革命：第2版 / (英) 克里斯多夫 (Barnatt, C.) 著；赵俐译. — 北京：人民邮电出版社，2016.6  
ISBN 978-7-115-42118-0

I. ①3… II. ①克… ②赵… III. ①立体印刷—印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第100548号

## 版权声明

Simplified Chinese translation copyright © 2016 by Posts and Telecommunications Press

3D Printing, Second Edition by Christopher Barnatt

Copyright © Christopher Barnatt 2014.

This edition arranged with Christopher Barnatt through BIG APPLE AGENCY, INC.

ALL RIGHTS RESERVED

本书中文简体版由作者 Christopher Barnatt 通过大苹果版权代理公司授权人民邮电出版社出版。未经出版者书面许可，对本书的任何部分不得以任何方式或任何手段复制和传播。版权所有，侵权必究。

- 
- ◆ 著 [英] Christopher Barnatt  
译 赵 俐  
责任编辑 陈冀康  
责任印制 焦志炜
  - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市丰台区成寿寺路 11 号  
邮编 100164 电子邮件 315@ptpress.com.cn  
网址 <http://www.ptpress.com.cn>  
大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷
  - ◆ 开本：700×1000 1/16  
印张：16  
字数：203 千字 2016 年 6 月第 1 版  
印数：1-3 000 册 2016 年 6 月河北第 1 次印刷  
著作权合同登记号 图字：01-2015-5231 号
- 

定价：39.00 元

读者服务热线：(010)81055410 印装质量热线：(010)81055316  
反盗版热线：(010)81055315

# 内 容 提 要

3D 打印是一种快速成型技术，它以 3D 数字模型为原型，通过逐层堆叠累积的方式将 3D 模型构建成为真实的物体。3D 打印机的出现，为各行各业带来了新的发展机遇，甚至给人类的生产和生活方式带来一场彻底的革命。

本书不仅能够帮助你认识和理解 3D 打印，而且可以让你深入了解 3D 打印的可行性和潜力，从而预见其对未来世界的巨大影响。全书共分为 8 章。首先，作者大胆预言了 3D 打印将带来下一次革命；然后，循序渐进地介绍了 3D 打印技术，对工业和数字化制造业的影响，个人制造的发展，3D 打印的可持续性以及生物打印的发展；最后，本书展望了 3D 打印的美好未来。

本书适合对 3D 打印技术感兴趣的读者阅读。无论你是企业家、设计师、投资者、技术爱好者、学生、DIY 人士，或者仅仅只是对新事物好奇的读者，都可以在本书中找到你感兴趣的内容。

# 作者简介

克里斯多夫·巴内特（Christopher Barnatt）是诺丁汉大学商学院“策略与未来研究”学科的副教授，同时也是一位摄影师。他在 3D 打印领域是一位家喻户晓的人物，共出版过 9 本关于未来研究课题的著作。其中包括本书的第一版——《3D 打印：下一次产业革命》，这本书已经被译成中文、日语和韩语。

除了著书，克里斯多夫还经常在媒体上露面，如 BBC 新闻、泰晤士报、卫报和很多广播电台。他还运营着两家网站：[ExplainingTheFuture.com](http://ExplainingTheFuture.com) 和 [ExplainingComputers.com](http://ExplainingComputers.com) 及其相关的 YouTube 频道。你可以在微博 [twitter.com/ChrisBarnatt](https://twitter.com/ChrisBarnatt) 上关注他。

# 前 言

2013年5月的第一个星期，25岁的法律系学生Cody Wilson从一把3D打印的塑料手枪中成功发射出一颗子弹。同一时间，本书的第1版上市销售。虽然这两件事完全无关，但是针对Cody行为的全球报道，很多人在谷歌或亚马逊上搜索“3D打印”。因此，该书的销量远远超出我的预期。在某种程度上，我们还要感谢Cody让这本《3D打印：正在到来的工业革命（第2版）》得以出版。

纵观历史，许多新技术都曾改变了我们的生活。尤其是蒸汽机、装配线和个人计算机都有着自己的产业转型时期。如今，互联网革命刚刚完成，网络世界的发展正呈现出温柔“进化”的趋势，而关于“增材制造”或“3D打印”的下一场革命正在伺机而动。

由于改善和加速物理技术的难度远远大于微电子发展的难度，因此3D打印革命将比互联网革命进行得更加缓慢，但迟早都会到来。事实上，当我撰写本书第1版时，人们之前预计的创新已全部实现。虽然3D打印的家庭普及仍然是一个遥远的梦想，但是18个月前的许多构想已经成为现实。

那么，我到底要说些什么呢？首先，彩色多材料3D打印的推广要感谢Stratasys开发的Objet500 Connex3。生物打印领导者Organovo在致力于研究3D打印人类肝脏组织的微小部分，以用于药物测试目的。此外，现在的桌面3D打印机除了可以使用塑料外，还能够使用金属和塑料以及碳纤维和塑料的新型复合材料。亚马逊上甚至已经开始小范围销售按需定制的3D打印产品，而SpaceX公司则成功推出了发动机部件为3D打印的火箭。2013年的圣诞节，你不仅可以在Selfridges百货公司购买到3D打印机，还能3D打印出本人的模型。

上述事物的发展不会改变世界，但是这些稳步发展的产业将继续实现

之前承诺的创新。大多数创新会按时完成，有时甚至会提前。

2014年7月，我采访了 Stratasys 公司事务部的执行副总裁乔恩·科布。他预测5年之内，3D打印的大多数产品都将是工业模具、最终使用的组件或整个最终产品。我相信这是一个非常合理的预测。

如今，3D打印机制造的大多数产品都是原型。所以很多人仍然认为3D打印只是“快速成型技术”，并因此错过了发展新技术的重要机会。乔恩、我和其他许多3D打印先行者都坚持认为我们正处于制造革命的风口浪尖。希望你阅读完本书后，也会有同样的观点。

1939年，美国第一台用于出售的电视机在纽约世界博览会上展出。这些早期电视机都是5英寸黑白屏幕，看起来还有些失真，但售价却在200美元到600美元之间（价钱相当于一辆汽车）。随后，与会的大多数人都认为电视机永远无法成为一种时尚，谁愿意长时间盯着一块又小又闪烁的图像？

那些批判电视机的人所犯的错误的在于，他们只依据新事物的早期表现就否定一项革命性技术。75年后的今天，声称3D打印只是炒作的人似乎也在犯同样的错误。第2章将会讲到，多种3D打印技术已被开发出来。这预示着下一次产业革命即将到来。

基于以上想法，希望本书有助于你理解现在和未来3D打印的可行性和潜力。不论你是企业家、设计师、投资者、技术爱好者、学生、DIY人士或只是单纯好奇于新事物的人，我都希望以下章节能为你迎接新一轮技术变革的到来而做好准备。

任何革命的初始阶段都是最令人兴奋的。参与早期革命的人都将获得最好的奖励、最丰厚的回报和最多的乐趣。3D打印革命即将开始，所有希望目睹这场盛宴的人都已经开始行动了。

Christopher Barnatt

2014年11月

# 致 谢

编写本书前，我采访了数百家 3D 打印企业，和这个行业中的很多人进行过对话。因此我想感谢在过去一年半的时间里所有与我深切交谈或在网上沟通的朋友们。

具体来说，我要特别感谢那些允许我直接引用言论或提供信息、图片使用权以及其他帮助和支持的人。因此，感谢加里·安德森、米兰达·贝斯金、戴维·布伦德尔、克里斯·伯姆、阿德里安·鲍耶、苏·博尼普、里斯·考尔德、安迪·克里斯滕森、乔恩·科布、瑞秋·道尔顿-塔格特、布鲁克·德拉姆、马克·弗莱明、芭思希芭·格罗斯曼、乔·希门茨、克里·霍格斯、亚伦·赫尔姆斯、安迪·爱德、康斯坦丁·伊万诺夫、约翰·尼兰德、罗曼·基德、罗伯特·里斯卡、加里·米勒、安西·梅斯杜伦、易卜拉欣·奥兹博拉特、西拉维·普里蒙特、乔·罗奇、费斯·罗宾逊、杰西卡·罗森克兰茨、安雅·范·韦斯特、埃利奥特·怀尔斯和理查德·范·德·怀瑞。本书后面将介绍更多关于以上人员的资料 and 他们的公司/组织。

还要感谢菲欧娜·卡梅隆和史蒂夫·阿普克拉夫特对我的工作的长期支持，以及史蒂夫·摩尔、基兰·伍德沃德、克里斯·贝茨、海伦·巴罗、萨莉·霍普金森、维多利亚·瑞格利和罗津娜·谢赫给予我工作上的帮助。感谢特蕾西·拜提森、史蒂文·迪亚肯、萨莉·柯克、乔治·库克、西蒙娜·斯皮戴尔、肯·斯塔基、苏·坦皮斯特和凯瑟琳·维瑟在过去的几个月里对我的支持并成就了我的 3D 打印事业。特别要再次感谢凯瑟琳·维瑟为我检查最终文稿并且找出很多我根本没有发现的错误。

最后，感谢我的父母及好朋友马克·丹特里给予我的支持、鼓励与理



## | 2 致谢

解，让我最终完成了这第十本书。当我为上一本书作序时，曾经发誓在一段时间内不会再写书了。这个誓言只维持了一年半。这一次我不再做出承诺，因为我已经开始着手下一次大事件了！

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 下一次革命 .....     | 1  |
| 1.1 3D 打印技术 .....     | 2  |
| 1.2 市场和应用 .....       | 5  |
| 1.2.1 快速成型 .....      | 5  |
| 1.2.2 生产模具和工具 .....   | 6  |
| 1.2.3 直接数字化制造 .....   | 7  |
| 1.2.4 个人制造 .....      | 9  |
| 1.3 产业发展 .....        | 10 |
| 1.4 实现以前不可能的目标 .....  | 13 |
| 1.4.1 定制化与个性化 .....   | 13 |
| 1.4.2 开启大众化市场 .....   | 14 |
| 1.4.3 开放式设计 .....     | 15 |
| 1.4.4 数字存储和运输 .....   | 16 |
| 1.4.5 改善人类健康 .....    | 17 |
| 1.4.6 增强可持续性 .....    | 17 |
| 1.5 未来的挑战 .....       | 18 |
| 1.6 先驱者们在做什么 .....    | 20 |
| 1.7 21 世纪的个人计算机 ..... | 24 |
| 第 2 章 3D 打印技术 .....   | 26 |
| 2.1 避免词汇泥潭 .....      | 27 |
| 2.2 材料挤出技术 .....      | 28 |

|        |                |    |
|--------|----------------|----|
| 2.2.1  | 热塑挤压工艺的局限性     | 33 |
| 2.2.2  | 复合材料的材料挤出工艺    | 37 |
| 2.2.3  | 碳纤维增强塑料的挤出工艺   | 38 |
| 2.2.4  | 金属材料挤出工艺       | 40 |
| 2.2.5  | 多相喷射凝固工艺       | 41 |
| 2.2.6  | 混凝土材料挤出工艺      | 42 |
| 2.2.7  | 黏土的材料挤出工艺      | 43 |
| 2.2.8  | 食品的材料挤出工艺      | 44 |
| 2.3    | 桶式光聚作用         | 46 |
| 2.3.1  | 光固化快速成型工艺      | 46 |
| 2.3.2  | DLP 投影技术       | 49 |
| 2.3.3  | 扫描、旋转和选择性光固化技术 | 51 |
| 2.3.4  | 基于光刻的陶瓷制造      | 51 |
| 2.3.5  | 双光子聚合技术        | 51 |
| 2.3.6  | 材料喷射技术         | 53 |
| 2.3.7  | 黏合剂喷射技术        | 56 |
| 2.3.8  | 黏合剂喷射砂型铸造模具和模芯 | 59 |
| 2.3.9  | 黏合剂喷射金属打印      | 60 |
| 2.3.10 | 黏合剂喷射陶瓷打印      | 61 |
| 2.3.11 | 黏合剂喷射玻璃打印      | 62 |
| 2.4    | 粉末床熔融          | 62 |
| 2.4.1  | 激光烧结技术         | 63 |
| 2.4.2  | 电子束熔炼技术        | 67 |
| 2.4.3  | 选择性加热烧结技术      | 68 |
| 2.5    | 定向能量沉积技术       | 68 |
| 2.6    | 层叠制造成型技术       | 69 |

|                               |           |
|-------------------------------|-----------|
| 2.7 一个坚实的基础                   | 71        |
| <b>第3章 3D 打印工业</b>            | <b>73</b> |
| 3.1 公共 3D 打印机制造商              | 74        |
| 3.1.1 3D Systems              | 75        |
| 3.1.2 Stratasys               | 78        |
| 3.1.3 Arcam                   | 82        |
| 3.1.4 ExOne                   | 83        |
| 3.1.5 voxeljet                | 84        |
| 3.1.6 SLM Solutions           | 85        |
| 3.1.7 Groupe Gorgé / Prodways | 85        |
| 3.1.8 金宝集团/XYZprinting        | 86        |
| 3.1.9 Tinkerine               | 87        |
| 3.1.10 Organovo               | 87        |
| 3.2 个人 3D 打印制造商               | 88        |
| 3.2.1 EnvisionTEC             | 88        |
| 3.2.2 太尔时代                    | 89        |
| 3.2.3 Afinia                  | 89        |
| 3.2.4 Optomec                 | 90        |
| 3.2.5 EOS                     | 91        |
| 3.2.6 Mcor Technologies       | 91        |
| 3.3 3D 打印软件开发者                | 92        |
| 3.3.1 Autodesk                | 93        |
| 3.3.2 Dassault Systèmes       | 95        |
| 3.3.3 Trimble Navigation      | 96        |
| 3.3.4 其他 3D 设计软件供应商           | 97        |

|  |            |
|--|------------|
| 3.4 3D 打印服务机构                              | 97         |
| 3.4.1 Shapeways                            | 98         |
| 3.4.2 Materialise                          | 99         |
| 3.4.3 Sculpteo                             | 100        |
| 3.5 推动革命的发展                                | 101        |
| <b>第 4 章 直接数字化制造</b>                       | <b>103</b> |
| 4.1 DDM 的开发与应用                             | 104        |
| 4.2 3D 打印汽车                                | 105        |
| 4.3 3D 打印的珠宝和艺术品                           | 107        |
| 4.4 3D 打印名牌商品                              | 113        |
| 4.5 3D 打印玩具                                | 115        |
| 4.6 3D 打印外科模型                              | 119        |
| 4.7 3D 打印假体                                | 121        |
| 4.8 3D 打印工业配件                              | 126        |
| 4.9 终极领域                                   | 127        |
| 4.10 我们的未来是一个 3D 打印的世界                     | 130        |
| <b>第 5 章 个人制造</b>                          | <b>132</b> |
| 5.1 个人 3D 打印机                              | 134        |
| 5.1.1 3D Systems 公司的 Cube 3 和 Cube Pro 打印机 | 136        |
| 5.1.2 MakerBot Replicator 系列打印机            | 137        |
| 5.1.3 UP Plus 2、UP Mini & UP BOX           | 138        |
| 5.1.4 Afinia H480                          | 139        |
| 5.1.5 Ultimaker Original 和 Ultimaker 2     | 140        |
| 5.1.6 Printbot 系列打印机                       | 140        |

|  |            |
|--|------------|
| 5.1.7 XYZprinting 公司的 Da Vinci 系列打印机 .....   | 141        |
| 5.1.8 Tinkering 公司的 Dittos 和 Litto 打印机 ..... | 142        |
| 5.1.9 Formlabs 公司的 Form1+打印机 .....           | 142        |
| 5.1.10 当然, 还有更多 .....                        | 143        |
| 5.2 开源 3D 打印 .....                           | 143        |
| 5.3 个人 3D 扫描仪 .....                          | 147        |
| 5.4 互联网 3D 打印 .....                          | 150        |
| 5.5 开放式设计的来临 .....                           | 151        |
| 5.6 黑客空间、装配实验室和创客运动 .....                    | 153        |
| 5.7 3D 打印社 .....                             | 155        |
| 5.8 推动革命发展 .....                             | 157        |
| <b>第 6 章 生物打印 .....</b>                      | <b>159</b> |
| 6.1 从照片打印到生物打印 .....                         | 161        |
| 6.2 大自然施以援手 .....                            | 162        |
| 6.3 向可定制组织的方向发展 .....                        | 165        |
| 6.4 面临的挑战 .....                              | 168        |
| 6.5 重建手术、牙齿与骨骼 .....                         | 169        |
| 6.6 活体内生物打印 .....                            | 172        |
| 6.7 技术的成熟 .....                              | 178        |
| <b>第 7 章 3D 打印的生存环境 .....</b>                | <b>179</b> |
| 7.1 资源节约型生产 .....                            | 181        |
| 7.2 3D 打印和产品维修 .....                         | 184        |
| 7.3 3D 打印和回收 .....                           | 185        |

|                         |            |
|-------------------------|------------|
| 7.4 本地数字化制造.....        | 186        |
| 7.5 3D 打印与合成生物学.....    | 189        |
| 7.6 3D 打印与纳米技术.....     | 191        |
| 7.7 纳米打印的应用范围.....      | 194        |
| 7.8 3D 打印和机器人.....      | 196        |
| 7.9 机遇与挑战并存.....        | 198        |
| <b>第 8 章 勇闯新世界.....</b> | <b>200</b> |
| 8.1 畅想未来.....           | 202        |
| 8.2 打造一个更好的未来.....      | 204        |
| 8.3 自我复制.....           | 206        |
| 8.4 3D 打印的盛宴.....       | 208        |
| 8.5 制作属于自己的东西.....      | 210        |
| 8.6 按需制造.....           | 212        |
| 8.7 负面影响.....           | 214        |
| 8.8 知识产权的终结.....        | 216        |
| 8.9 更广泛的关注.....         | 219        |
| 8.10 下一次革命.....         | 221        |
| <b>术语表.....</b>         | <b>224</b> |

# 第 1 章

## Chapter 1

# 下一次革命

火星距离地球至少 5400 万公里。人类要到火星旅行是有一定难度的，而在火星与地球之间运输货物更是难以实现。然而，2014 年 4 月美国宇航局喷气推进实验室的科学家们手中正拿着一颗名为“布洛克岛”的陨石，这是他们的机遇号火星车 2009 年在火星表面发现的。

这一壮举的实现过程是这样的：先由火星车经过精确测量和拍摄全景图片，再把这些数据传输到地球，转换成计算机模型，最后利用 3D 打印机制成固体实物。这个塑料复制品看起来与原始陨石一模一样，但是它更轻，并且不用真正从火星拿回来。如图 1.1 所示，这件 3D 打印的陨石仿佛真是穿越了外太空而来。

以上是 3D 打印的一项突破性应用。在过去的一年里，3D 打印机已经制造出功能性火箭发动机零部件、阅读眼镜、图特卡蒙陵墓的全尺寸复制品，以及 10 间可居住的房屋。新闻几乎每天都在报道 3D 打印革命的强劲势头，它的技术已经越来越多地应用于主流企业或更广泛的文化领域。



本书将带领你进入快速发展的 3D 打印世界。以下章节会详细介绍各项 3D 打印技术和 3D 打印领域的先驱者。同时，我们还将看到许多制造 3D 打印产品的优秀企业，产品范围从珠宝到航空航天组件，从玩具到医疗器械。正如我们所看到的，3D 打印已经可以使用不同的塑料、金属和陶瓷作为打印材料。而这才仅仅是开始。

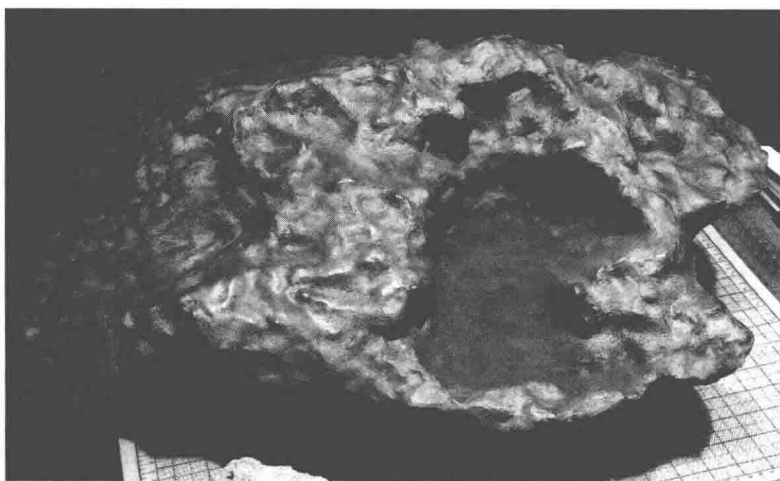


图 1.1 3D 打印的“布洛克岛”火星陨石

图片来源：NASA

### 1.1 3D 打印技术

你一定很好奇，神奇的 3D 打印技术到底是如何工作的？从广义上来说，这个过程不外乎是目前办公室和家庭中普遍使用的 2D 打印技术逻辑上的演变。

许多人都非常熟悉能打印常见文档或照片的喷墨打印机或激光打印机。打印机靠控制墨水或墨粉，在纸张表面生成文字或图像。3D 打印机采用类似的方法，通过逐层控制“建筑材料”在 3D 空间的位置和黏合力