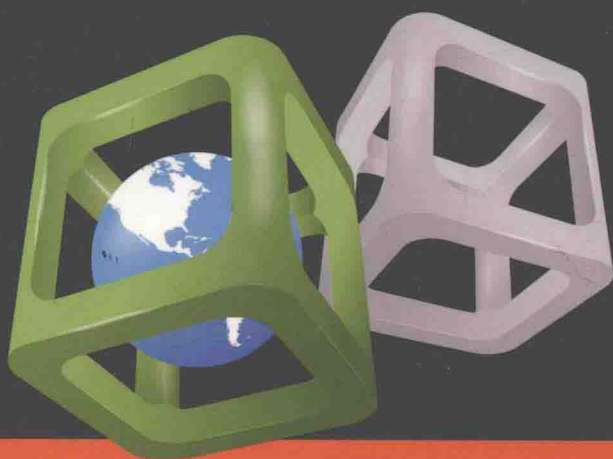


3D PRINTING

一本书读懂 3D打印

郎为民 徐延军 / 编著



- ◆ 它究竟是“潘多拉魔盒”还是“阿里巴巴宝库”？
- ◆ 它离我们到底还有多远？
- ◆ 有一点可以确定的是，它的出现，已经掀起了智能制造领域的一场创客革命



中国工信出版集团



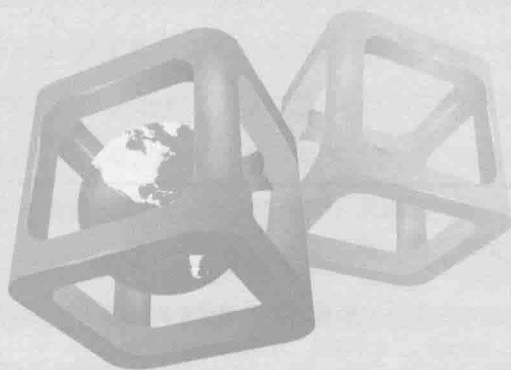
人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

3D PRINTING

一本书读懂

3D打印

郎为民 徐延军 / 编著



人民邮电出版社
北京

图书在版编目 (C I P) 数据

一本书读懂3D打印 / 郎为民, 徐延军编著. -- 北京:
人民邮电出版社, 2016.6
ISBN 978-7-115-42052-7

I. ①一… II. ①郎… ②徐… III. ①立体印刷—印
刷术—通俗读物 IV. ①TS853-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第056890号

内 容 提 要

本书是一本介绍 3D 打印的幽默科普读物, 内容涉及 3D 打印的方方面面。从 3D 打印的产生背景、发展历史、基本概念、关键技术, 到 3D 打印的困境、未来、应用领域, 再到国内外 3D 打印发展现状, 本书始终紧紧围绕 3D 打印发展前沿的热点问题, 比较全面、通俗地介绍 3D 打印基础理论和应用实践的最新成果, 以独特的视角深入浅出地为大家解读 3D 打印的特点、原理和应用, 通过大量实例来帮助读者理解晦涩、枯燥的技术, 向读者诠释 3D 打印技术的巨大魅力, 为初学者打开一扇深入学习 3D 打印技术的大门。

本书可作为需要了解 3D 打印基本知识的各级政府公务员、企业管理者、科研人员和高等院校教师等读者朋友的参考书籍, 还可以作为高等院校相关专业学生的专业课教材或参考用书。

◆ 编 著 郎为民 徐延军

责任编辑 李 强

责任印制 彭志环

◆ 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>

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

◆ 开本: 700×1000 1/16

印张: 14.5

2016 年 6 月第 1 版

字数: 213 千字

2016 年 6 月北京第 1 次印刷

定价: 49.00 元

读者服务热线: (010)81055488 印装质量热线: (010)81055316

反盗版热线: (010)81055315

Preface 前言

有这么一种打印机，它可以打印出会飞的飞机、可骑的自行车，或是一块能吃的蛋糕、能穿的衣服与鞋子。这将深刻影响现代生产、生活的诸多领域，以后在网络淘宝的时候，收到的货物不需要任何包装，因为任何物品都是一堆数据，只要通过家里的打印机就可获得想要的物品，这种打印机就是神奇的 3D 打印机。

从 2001 年的《星际迷航》到最近热播的《生活大爆炸》，都不约而同地选中了神奇的 3D 打印技术，从虚幻地打印食品到打印人体，再到现实地打印玩偶，3D 打印在影片中都成为一个吸引眼球的新宠。其实，在工业制造领域，各式各样的 3D 打印机已经悄悄成为快速加工的主力军，走下神坛进入寻常百姓家更是技术发展的趋势。3D 打印在降低成本，简化操作后会逐步走进人们的生活。

3D 照相馆、3D 打印生日蛋糕，当 3D 打印以“新、奇、特”的形象出现在人们身边的时候，总给人一种“雷声大、雨点小”的感觉。的确，昂贵的打印设备和配套材料让人们难以接受，用户更关心的是“花小钱办大事”，而不会因为是 3D 打印的，就慷慨解囊。只有随着 3D 打印设备生产技术的成熟，特别是打印耗材价格的大幅下降，3D 打印能真正地打印出物美价廉的产品的时候，3D 打印才能真正进入到人们的生活中，彻底地改变生产加工行业 and 商品销售行业。

技术的进步无人能挡，就如从“三转一响”到家用轿车、智能空调、QQ 和微信一样，不到 60 年，技术就已经彻底改变了人们的生活。从笨重的 386 计算机到现在轻便的移动 4 核处理器终端，从声嘶力竭的人工电话到现在实时动态的视频聊天，技术已经以迅雷不及掩耳之势发展起来。虽然有许多个人隐私被无理曝光，网络银行账户密码被窃取，但人们也还是情愿或不情愿地接受着新技术带来的便利。这是人类社会发展的趋势，推陈出新。3D 打印正以排山倒

海之势，推动着现代的传统加工领域向前发展。从发展的规律来看，如果传统加工业不会随着人类社会的发展而终结，那么一定会出现新的加工方式和模式，3D 打印已经露出端倪。

从 3D Systems, Stratasys 3D 等一大批 3D 打印设备制造商的崛起，到 Shapeways, Sculpteo 等 3D 打印领域服务商的壮大，3D 打印不论在大型复杂制造还是追求品质的私人定制方面都已经取得了巨大成就。就在工业级 3D 打印发展如火如荼之际，桌面级的 3D 打印设备也开出了“白菜价”。太尔时代 UP! mini 3D 打印机已经跌入万元以内，这和刚进入家庭应用时的计算机、移动电话相比，已经非常便宜了。一个好汉三个帮，3D 打印机也孤掌难鸣，配套的设计软件、能实现实物三维数据转换的扫描设备，都需要同步跟进。其实，诸如 Autodesk 等研发销售三维处理软件的公司早已做好了准备，推出了许多家庭版本。在耗材方面，从工程 ABS 塑料到碳素纤维，也已经推出了琳琅满目、五彩斑斓的 3D 打印原料。3D 打印技术的推广应用可谓万事俱备。

3D 打印不能一口吃成胖子，是因为技术的“双刃剑”现象再次现身，知识产权保护、法律责任界定等问题也伴随着 3D 打印的普及凸显出来。3D 打印将制造过程从工厂迁移到家庭，这意味着，一件设计作品很可能只有一个订单，但因为它是数据文件形式存在的，就如一部电影的文件，要复制和共享易如反掌。当然，除此之外还有不少问题需要解决，安全问题，比如如何防止私自打印枪支；高能耗问题，比如打印拳头大小的玩偶需要耗时数小时，并且打印头一直保持高温，这需要耗费大量的电力；粉尘污染问题，特别是采用金属耗材的 3D 打印机，超细的金属粉末会泄漏，形成粉尘污染，还有高温导致的塑料耗材挥发，也会污染空气。这些问题不妥善解决，必然会影响 3D 打印机的普及。

不管怎样，3D 打印进入家庭，已指日可待。

在国家自然科学基金项目“节能无线认知传感器网络协同频谱感知安全研究”资金的支持下，特撰写拙作，以期抛砖引玉，为我国 3D 打印事业的发展尽一份微薄之力。

本书由郎为民、徐延军编著，解放军国防信息学院的胡文婕、陈凯、陈红、

毛炳文、邹祥福、瞿连政、张锋军、余亮琴、张丽红、王大鹏、王昊、陈虎、张国峰、刘素清、夏白桦、陈于平参与了本书部分章节的撰写，蔡理金、高泳洪、王会涛、李官敏、陈林绘制了本书的全部图表。李建军、胡东华、靳焰、王逢东、任殿龙、孙月光、孙少兰、马同兵对本书的初稿进行了审校，并更正了不少错误，在此一并向他们表示衷心的感谢。

人民邮电出版社的李强老师作为本书的责任编辑，为本书的面世付出了辛勤的劳动，在此一并表示感谢人民邮电出版社对本书的出版给予了大力支持。

由于3D打印技术仍在发展之中，新的标准和应用不断涌现，加之作者水平有限，编写时间仓促，因而本书难免存在疏漏之处，恳请各位读者不吝指出，也可以发送邮件到 wemlang@163.com。

谨以此书献给我聪明漂亮、温柔贤惠的老婆焦巧，活泼可爱、机灵过人的宝贝郎子程！

郎为民

2016年2月于武汉

第 1 章

3D 打印扑面而来 //1

1.1 影视剧中的 3D 打印 //2

1.1.1 《星际迷航》：3D 打印的预兆 //2

1.1.2 《第五元素》：重塑人体的设想 //3

1.1.3 《十二生肖》：文物贩子的致富利器 //4

1.1.4 《打印传奇》：讲述 3D 打印自己的故事 //5

1.1.5 《生活大爆炸》：让技术“宅男”欲罢不能的克隆工厂 //7

1.2 3D 打印，梦想照进现实 //8

1.2.1 制造业的 2.0 小时代 //9

1.2.2 领跑第三次工业革命 //11

1.2.3 将掀起一场创客革命 //14

1.2.4 改变世界的新机遇、新浪潮 //16

1.3 3D 打印离大众有多远 //18

1.3.1 谁说 3D 打印没前途 //19

1.3.2 “潘多拉魔盒”还是“阿里巴巴宝库” //25

1.3.3 3D 打印机何时开出白菜价 //27

第 2 章

3D 打印“真面目” //29

2.1 3D 打印的前世今生 //30

2.1.1 斯科特·克伦普：3D 打印的缔造者 //30

2.1.2 查克·赫尔与 3D Systems 公司 //32

2.1.3 3D 打印机的鼻祖：从 RepRap 3D 打印机到 Makerbot 3D 公司 //35

2.1.4 《经济学人》掀起新一轮 3D 打印浪潮 //38

2.1.5 3D 打印编年史 //40

2.2 3D 打印，“不打”不相识 //41

2.2.1 增材制造：3D 打印的大名 //41

2.2.2 大嘴侃 3D 打印 //44

2.2.3 没印完兜着走：便携式 3D 打印机 //45

2.2.4 体验神秘的 3D 打印 //48

2.3 3D 打印，如何“聚沙成塔” //50

2.3.1 3D 打印机，改变你的设计方式 //51

2.3.2 3D 扫描：重塑世界 //53

2.3.3 全彩制造：不甘单调 //60

第 3 章

神奇的 3D 打印世界 //63

3.1 3D 打印技术全家福 //64

3.1.1 LOM：分层实体制造 //64

3.1.2 SLA：立体光固化成型工艺 //66

3.1.3 SLS：选择性激光烧结工艺 //68

3.1.4 FDM：熔融沉积成型工艺 //69

- 3.1.5 3DP: 三维印刷工艺 //71
- 3.1.6 PolyJet: 聚合物喷射技术 //72
- 3.2 材料为王: “女娲”造物 //73**
 - 3.2.1 3D 打印步入碳纤维时代 //73
 - 3.2.2 ABS 树脂 //75
 - 3.2.3 PLA 聚乳酸 //77
 - 3.2.4 PVA 聚乙烯醇 //79
 - 3.2.5 弹性塑料 //81
 - 3.2.6 光敏树脂 //83
 - 3.2.7 聚碳酸酯 //84
 - 3.2.8 大理石粉 //87
 - 3.2.9 金属粉末 //88
 - 3.2.10 建筑材料 //90
- 3.3 3D 打印机的维护与保养 //91**
 - 3.3.1 让打印不差毫厘 //91
 - 3.3.2 3D 打印机也需要保养 //92
 - 3.3.3 固件的与时俱进 //94

第 4 章

3D 打印的小伙伴们 //97

- 4.1 谁在制造 3D 打印机 //98**
 - 4.1.1 3D Systems //98
 - 4.1.2 Stratasys 3D //101
 - 4.1.3 Ultimaker //104
 - 4.1.4 MakerBot //106

- 4.1.5 RepRap //107
- 4.2 3D 打印软件的开发商们 //107
 - 4.2.1 Autodesk //108
 - 4.2.2 Dassault Systemes //109
 - 4.2.3 Materialise //112
- 4.3 3D 打印服务提供商 //113
 - 4.3.1 Shapeways //113
 - 4.3.2 Sculpteo //115
 - 4.3.3 Magicfirm //117
- 4.4 3D 打印的两大阵营 //117
 - 4.4.1 工业级打印机：两个巨头的主战场 //118
 - 4.4.2 桌面级打印机：创客们的多样世界 //122

第5章

3D 打印让世界更精彩 //131

- 5.1 3D 打印走进寻常百姓家 //132
 - 5.1.1 涂鸦笔在手，人人都是神笔马良 //132
 - 5.1.2 3D 打印：机器猫的口袋 //135
 - 5.1.3 3D 打印定制珠宝受热捧 //144
- 5.2 3D 打印：一种新兴的学习技术 //147
 - 5.2.1 3D 打印变形金刚玩具 //147
 - 5.2.2 3D 打印，让课堂变得生动活泼 //148
 - 5.2.3 3D 打印大放异彩：创新激发无限乐趣 //150
- 5.3 3D 打印的医学未来 //152
 - 5.3.1 3D 打印，人体器官自己“造” //152

- 5.3.2 特斯拉之父用 3D 打印手势控制系统 //153
- 5.3.3 看医生怎样玩转 3D 打印 //154
- 5.4 3D 打印, 最懂女人心 //159
 - 5.4.1 3D 打印的绝世好 Bra //159
 - 5.4.2 3D 打印比基尼泳衣, 亮瞎你的眼睛 //160
 - 5.4.3 智能服装与 3D 打印逐渐引领时尚 //162
- 5.5 3D 打印, 制造业的福音 //164
 - 5.5.1 用 3D 打印制造概念飞机 //165
 - 5.5.2 “绿太狼”诞生记 //166
 - 5.5.3 3D 打印技术制造太空食物 //168
- 5.6 特别的爱给特别的你 //171
 - 5.6.1 爱她, 就给她打印一幢房子 //171
 - 5.6.2 用 3D 打印戒指向“TA”求婚吧 //174
 - 5.6.3 3D 打印真人娃娃 //176

第 6 章

3D 打印去哪儿 //179

- 6.1 3D 打印, 千载难逢 //180
 - 6.1.1 3D 打印动了谁的奶酪 //181
 - 6.1.2 3D 打印催生新型产业 //183
 - 6.1.3 3D 打印的“中国梦” //185
- 6.2 3D 打印未来 //188
 - 6.2.1 脑电波 3D 打印 //188
 - 6.2.2 3D 打印与机器人 //192
 - 6.2.3 创客成就了 3D 打印 //195

6.2.4 当 3D 打印遇上太阳能 //198

6.2.5 3D 打印刚火，4D 打印又来了 //200

6.3 3D 打印是天使还是魔鬼 //206

6.3.1 疯狂后破灭的泡沫 //206

6.3.2 吃的是钱，打出来的是纸 //208

6.3.3 3D 打印引发的安全忧患 //209

6.3.4 3D 打印挑战版权保护 //215

参考文献 //218



3D

chapter 1

第 1 章

3D 打印扑面而来

“呼……”，这不是普通的枪声，而是来自一只塑料手枪，一只用家用打印机打印的手枪。这声枪响震惊了世界，让人们都不约而同地关注着制造业的一项技术——3D 打印。英国著名杂志《经济学人》报道称“3D 打印将推动第三次工业革命”。一时间，“3D 打印”以雷霆万钧之势遍及世界的每一个角落，人类的衣、食、住、行，貌似都可以用 3D 打印机打印出来。

1.1 影视剧中的 3D 打印

从 2001 年的《星际迷航》到最近热播的《生活大爆炸》，导演们在寻求新思想、高科技的展现的过程中，都心有灵犀地选择了 3D 打印技术，从虚幻地打印食品到打印人体，再到现实地打印玩偶，3D 打印在影片中成为一个吸引眼球的新宠。

1.1.1 《星际迷航》：3D 打印的预兆

《星际迷航》（《Star Trek》，又译作《星际旅行》等）是由美国派拉蒙影业公司制作的科幻影视系列。该系列最初由编剧吉恩·罗登贝瑞（Gene

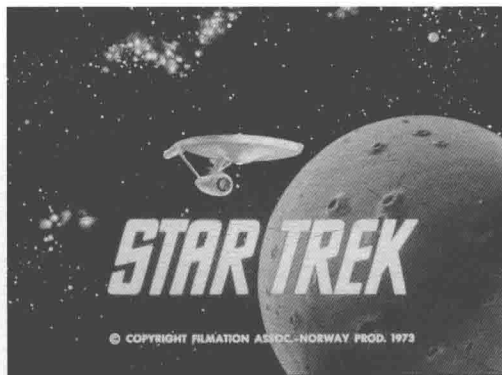


图 1-1 《星际迷航》剧照

Roddenberry）于 20 世纪 60 年代提出，经过近 40 年的不断发展，成为全世界最著名的科幻影视系列之一，如图 1-1 所示为《星际迷航》剧照。

在《星际迷航》中的企业号飞船上装备了一台高科技设备——3D 食物打印机，通过这台打印机，

企业号的船员只需对打印设备下达指令，稍等片刻就能获得想要的食物，甚至连盛水的玻璃杯都一起打印出来了，如图 1-2 所示。



图 1-2 3D 打印机打印的水和水杯

影片中的 3D 食物打印机速度之快，打印饮水之完美，让现代人望尘莫及。但这毕竟只是科幻，当时还没有这样的打印设备，也没有想清楚如何实现，但不管怎样，《星际迷航》已经给出了 3D 打印的预言。

1.1.2 《第五元素》：重塑人体的设想

影片《第五元素》是 1997 年哥伦比亚影片公司出品的一部科幻电影，由吕克·贝松执导，布鲁斯·威利斯、加里·奥德曼、伊安·霍姆和米拉·乔沃维奇等联袂出演。电影故事发生在未来 2259 年的纽约，一股宇宙之中的邪恶力量想统治地球，人类面临万劫不复的黑暗世界。拥有善良势力的外星人预见到这一天的来临，并一直关注着事态的发展，然而他们派来拯救地球人类和宇宙的“第五元素”却被恶势力击落。地球人仅获得“第五元素”的残骸，即一只握着操纵杆的手。为了拯救地球，人类科学家利用“第五元素”的残骸的 DNA，并利用 3D 打印技术快速复制人体，如图 1-3 所示。

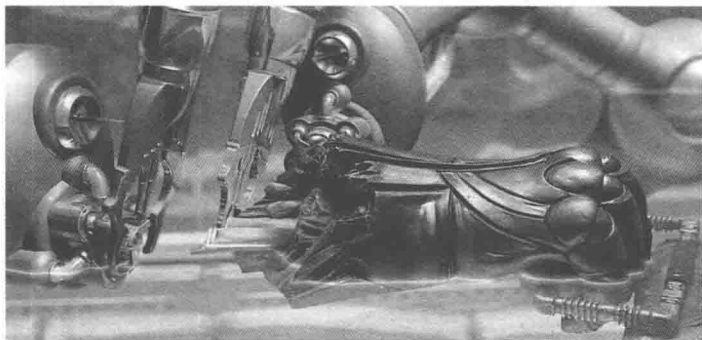


图 1-3 电影中正在用 3D 打印机复制人体

通过 3D 打印技术，地球人成功地重新构造了“第五元素”——一个漂亮的红发女郎莉露，如图 1-4 所示，为人类抗击黑暗势力提供了新的机会。

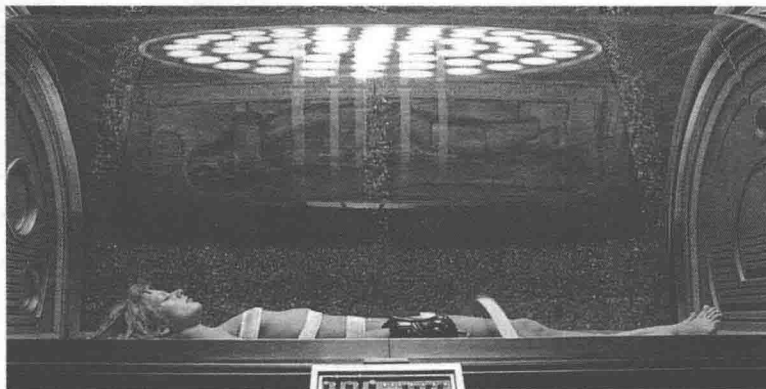


图 1-4 3D 打印机打印的莉露

在男主人公达拉斯的鼓励之下，莉露在最后关头终于汇集风、火、水和土四大元素的力量，制止了火热星球的推进，避免了末日的来临。

剧中的莉露复活完全基于科学理论和科学幻想，但 3D 打印技术用于人体的快速构建的想法已初见端倪。

1.1.3 《十二生肖》：文物贩子的致富利器

《十二生肖》是成龙的又一部杰作。影片讲述了成龙扮演的杰克为领取国际文物贩子劳伦斯开出的巨额奖金，四处寻找圆明园十二生肖中失散的最后 4 个兽首。在寻宝过程中，除了成龙电影一贯的惊险和打斗镜头外，还见到了一套神奇的克隆系统，那就是能够获取实物三维信息的手套和能快速生成生肖头型的立体复制设备。

剧中，主角利用“手套”对原版的兔首进行快速的全方位扫描，并实时生成兔首的三维信息，如图 1-5 所示。

再由通信设备将数据传至“贼窝”，由一台超高速的立体复制设备按照原版兔首的立体数据进行复制，整个过程干净利索。如果采用相同的材质，那复制

的兔首足以以假乱真，如图 1-6 所示。有了这种立体复制设备，“克隆”文物易如反掌，并且一般人还无法分辨真假。



图 1-5 三维扫描手套

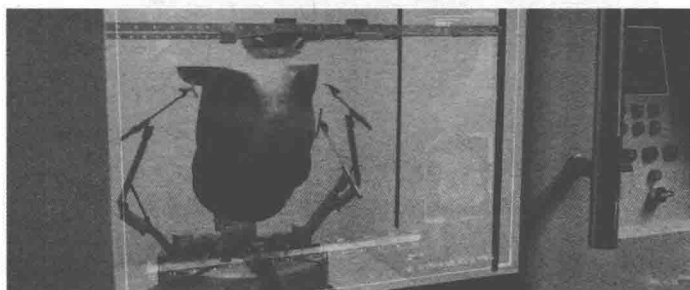


图 1-6 3D 打印机正在打印兔首

其实，电影中的立体复制设备就是一种充满了科幻色彩的 3D 打印机，现实版的 3D 打印机还不能如此快地把金属“堆砌”成兔头，更不能瞬间修改颜色。要做到打印的物体与原来一模一样，仍有许多技术需要进一步发展，但电影中的 3D 打印梦想已经清晰地表明了 3D 打印机的发展方向——快速制造。

1.1.4 《打印传奇》：讲述 3D 打印自己的故事

美国上映了一部关于 3D 打印崛起的纪录片《打印传奇 (Print the Legend)》，算是 3D 打印机的自述片了。影片重点记录了真实 3D 打印初创企