

自媒体视频脱口秀《罗辑思维》倾力推荐

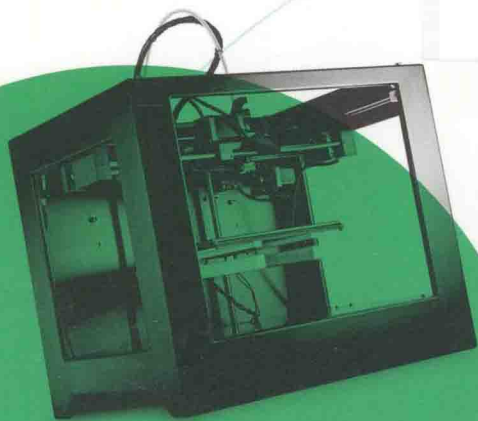
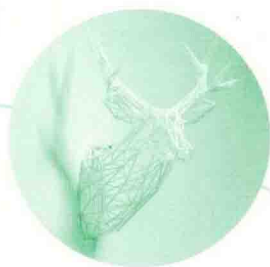
3D 打印



(全彩版)

从全面了解到亲手制作

杨振贤 张磊 樊彬 编著



3D PRINTING STEP BY STEP

可借此了解3D打印应用前景、行业动态等
以在新一轮产业革命中把握先机

帮助爱好者组装一台属于自己的3D打印机
体会这一技术带来的无限乐趣



化学工业出版社

自媒体视频脱口秀《罗辑思维》倾力推荐

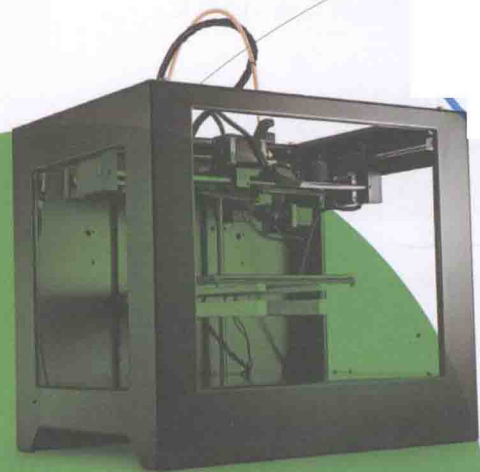
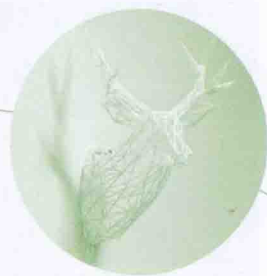
3D 打印



(全彩版)

从全面了解到亲手制作

杨振贤 张磊 樊彬 编著



3D PRINTING STEP BY STEP



化学工业出版社

· 北京 ·

《3D打印：从全面了解到亲手制作》一书不仅向读者全面介绍3D打印这一新兴技术，同时通过详细的引导，帮助零基础的爱好者们组装一台属于自己的3D打印机，体会这一技术带来的无限乐趣。

本书首先从整体上介绍了3D打印的发展脉络，以及在各个行业的应用前景。接着帮读者理清3D打印的工艺现状和相关技术，包括各大技术流派、供打印的模型文件、连接打印机的控制软件以及开源的硬件架构。在本书的最后，则非常细致地带领大家，一步一步地制作一台属于自己的3D打印机。

图书在版编目(CIP)数据

3D打印：从全面了解到亲手制作 / 杨振贤，张磊，樊彬编著. —北京：化学工业出版社，2015.3
ISBN 978-7-122-23024-9

I. ①3… II. ①杨… ②张… ③樊… III. ①立体印刷-印刷术
IV. ①TS853

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第029720号

责任编辑：漆艳萍
责任校对：王 静

装帧设计：张 辉

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：北京方嘉彩色印刷有限责任公司
787mm×1092mm 1/16 印张10¹/₂ 字数262千字
2015年5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：48.00元

版权所有 违者必究

序

PREFACE

3D打印技术是具有工业革命意义的新兴制造技术，它正逐步融入研发、设计、生产各个环节，是材料科学、制造工艺与信息技术的高度融合与创新，是推动生产方式向柔性化、绿色化发展的重要途径，是补充优化传统制造方式、催生生产新模式、新业态和新市场的重要手段。全球范围内，很多研究者和企业家都在探讨，3D打印是否会成为引发新一轮产业革命的颠覆性创新。

当前，3D打印技术已在军事、医疗、装备制造、消费电子、建筑等多个领域起步应用，产业呈现快速增长势头。Wohlers Associates 预测，2015年全球产业规模有望达到37亿美元，到2020年可超过50亿美元（Wohlers Associates是美国一家有17年经验的独立资讯机构，重点研究方向为3D打印）。特别在消费品领域，3D打印市场潜力巨大，并且需求快速增长。欧美一些跨国零售商已经利用3D打印产品占领市场，为个人创意产品提供服务的桌面3D打印门店也陆续出现，作为3D打印知识库的Thingiverse等网络平台的兴起更加速推进了3D打印的普及和应用。此外，3D打印技术在医疗和装备制造领域的产业化也在不断推进，发展前景良好。

我国3D打印技术虽然起步较晚，但是高性能金属构件激光成型技术已经在装备制造领域取得突出成果，达到世界领先水平，并在航空航天构件研制生产中得到实际应用。在小型机械模具及零件制造过程中，原型样件快速成型制造得到较广泛应用；在医药、消费品等领域，我国3D打印技术也已进入商业化起步阶段。可以说，3D打印正在从实验室走向应用、走向市场；不久之后，其影响也将进入千家万户、进入每个人的生活。更多的人需要去了解这一技术、认识其带来的改变、思考我们能够做些什么、得到什么。

杨振贤等几位青年才俊常年致力于前端领域的研究，以多年的学术沉积为依托，编写了这本《3D打印 从全面了解到亲手制作》，系统地讲解了3D打印理论、相关软硬件技术，甚至给出了从零开始自己组装一台3D打印机的步骤。该书的出版，对于普通读者可以了解基本情况、激发兴趣；对于有一定技术基础的爱好者，可帮助组装属于自己的3D打印机，体会这一技术带来的无限乐趣；对于专业性人员，可借此了解掌握不同3D打印设备采用的技术和工艺，以及应用前景、行业动态等，以在新一轮产业革命中把握先机、抢占制高点。

我坚信，本书可以使读者开卷有益，相信作者的辛勤努力对于促进3D打印在中国的推广和深化应用意义重大！

前言

PREFACE

随着近几十年来互联网浪潮席卷全球，信息社会已经深入到人类生活的方方面面，使得传统的生产制造模式已逐渐难于满足社会发展的需要，人们对新工业革命的呼声日益高涨。而纵览具有推动新工业革命潜力的各项技术中，3D打印技术无疑是最受期待的之一。近年各路媒体对3D打印技术神奇应用的蜂拥报道，终于使得这一之前非常“高冷”的技术，开始吸引社会各界的目光。

而当前面世的3D打印书籍中，主要以宏观性、科普性的行业分析，或简单行业应用介绍类的书籍居多，大量对3D打印技术感兴趣或希望尽快进入3D打印领域的人员，苦于找不到合适的技术资料以对其一窥究竟。同时，3D打印技术相比传统制造技术而言，更加强调全员参与、全民制造、自我繁殖的理念。但无论是企业还是个人，面对3D打印机各项复杂的构造和技术细节，都会感觉力不从心，虽跃跃欲试，但又苦于不知如何入手。

本书将不仅帮助你全面了解3D打印这一新兴技术，而且通过详细的引导，帮助零基础的技术爱好者组装一台属于自己的3D打印机，体会这一技术带来的无限乐趣。本书包括8个章节，从内容上主要分为三个部分：首先，第1章从整体上介绍了3D打印的发展脉络，以及在各个行业的应用前景；第2章至第5章为第二部分，着重帮助读者理清3D打印的工艺现状和相关技术，包括各大技术流派、供打印的模型文件、连接打印机的控制软件以及开源的硬件架构；本书的最后3章，是该书一大亮点，将非常细致地带领大家，一步一步地制作一台属于自己的3D打印机。

本书是编著者根据自身实践经验总结所得，且参考了一些外文资料和国内著作，由于水平所限，难免有疏漏之处，望广大读者朋友批评指正。

该书的顺利完成，得到了中科院自动化所吴怀宇老师的细致指导，以及工信部朱刚博士的热情帮助，在此一并表示感谢。

编著者

2015年1月



我们所说的 3D 打印技术的基本思想是：把数据、原料放入 3D 打印机中，机器按照程序计算的运行轨迹把产品一层层制造出来，打印出和数据描述一致的产品，供即时使用。

这一基本思想最早可以追溯到 100 多年前美国研究人员提出的地貌成形和照相雕塑技术，但直到 20 世纪 80 年代后期，才发展成 熟并被推广应用。在过去的二十余年，3D 打印技术一直只存在于小 众群体之中，直到近年，各方突然开始加大对相关技术的关注，其 瞬间被推到聚光灯下。各厂商的相关产品井喷而出，媒体的各种相 关创新应用报道层出不穷，仿佛一项划时代的技术一夜之间突然出 现在众人眼前。

这所有的一切，是量变最终引起的质变，还只是一场概念的 炒作？

目录

CONTENTS

第 1 章

3D 打印概述 / 1

- 1.1 3D 打印技术发展历史 / 2
- 1.2 3D 打印的优势与劣势 / 6
 - 1.2.1 3D打印技术的六大优势 / 7
 - 1.2.2 3D打印技术的三大劣势 / 9
- 1.3 3D 打印应用前景 / 11
 - 1.3.1 模型设计 / 12
 - 1.3.2 教育医疗 / 15
 - 1.3.3 文化艺术 / 20
 - 1.3.4 服装食品 / 23

第 2 章

3D 打印的技术原理 / 29

- 2.1 熔融挤压式 FDM / 31
 - 2.1.1 技术原理 / 31
 - 2.1.2 工艺过程 / 32
 - 2.1.3 技术特点 / 33
 - 2.1.4 典型设备 / 34
- 2.2 层叠法成型 LOM / 35
 - 2.2.1 技术原理 / 35
 - 2.2.2 工艺过程 / 36
 - 2.2.3 技术特点 / 37
 - 2.2.4 典型设备 / 38
- 2.3 喷墨粘粉式 3DP / 38
 - 2.3.1 技术原理 / 39
 - 2.3.2 工艺过程 / 40
 - 2.3.3 技术特点 / 40
 - 2.3.4 典型设备 / 41
- 2.4 激光烧结式 SLS / 41
 - 2.4.1 技术原理 / 42
 - 2.4.2 工艺过程 / 42
 - 2.4.3 技术特点 / 43
 - 2.4.4 典型设备 / 44
- 2.5 光固化成型 SLA / 44
 - 2.5.1 技术原理 / 45
 - 2.5.2 工艺过程 / 46
 - 2.5.3 技术特点 / 46
 - 2.5.4 典型设备 / 47

第3章

打印模型的准备 / 49

3.1 常用设计软件及导出模型的方法 / 50

- 3.1.1 Autodesk系列 / 50
- 3.1.2 I-DEAS / 51
- 3.1.3 Unigraphics / 52
- 3.1.4 SketchUp / 52
- 3.1.5 其他 / 53

3.2 STL 格式规范 / 55

- 3.2.1 STL文件的ASCII码格式 / 56

3.2.2 STL文件的二进制格式 / 56

3.2.3 二进制STL文件中的色彩描述 / 57

3.3 SketchUp 的使用 / 58

- 3.3.1 软件初始设置 / 58
- 3.3.2 绘制简单形状 / 58
- 3.3.3 绘制复杂形状 / 59
- 3.3.4 视图操作工具 / 60

3.4 设计模型的后处理 / 61

第4章

连接打印机并打印模型 / 65

4.1 获取与安装 / 66

4.2 设置及校正机器 / 67

- 4.2.1 设置打印机 / 67
- 4.2.2 校正打印头 / 69

4.3 通过 STL 文件进行打印 / 69

4.4 操作 3D 模型 / 70

4.5 生成打印路径 / 72

4.6 编辑配置项 / 73

- 4.6.1 Skeinforge配置介绍 / 73
- 4.6.2 Print-O-Matic配置介绍 / 75
- 4.6.3 配置文件路径 / 77

第5章

开源 3D 打印机——REPRAP / 79

5.1 REPRAP 项目概述 / 80

5.2 REPRAP 典型架构设计 / 82

- 5.2.1 机械框架 / 83

5.2.2 电子部件 / 84

5.2.3 配套软件 / 86

5.3 MCode 规范概述 / 87

第6章**材料准备及获取 / 91**

6.1 定制材料清单 / 92

6.2 通用材料清单 / 93

第7章**DIY 属于自己的 3D 打印机 / 95**

7.1 组装三角支架 / 96

7.7 组装 X 轴框架 / 106

7.2 组装前侧螺纹杆 / 98

7.8 组装 Z 轴框架 / 108

7.3 组装后侧螺纹杆 / 99

7.9 安装打印喷头及打印台 / 112

7.4 组装顶部螺纹杆 / 101

7.10 安装电路控制 / 116

7.5 紧固支架 / 102

7.11 安装驱动并打印测试 / 119

7.6 组装 Y 轴框架 / 104

第8章**打印工艺优化——切片引擎 / 123**

8.1 切片引擎概述 / 124

8.1.1 Skeinforge / 124

8.1.2 Slic3r / 125

8.2 Skeinforge 的安装及使用 / 126

8.3 详解 Skeinforge 常用的配置项 / 130

8.3.1 变更、底面、切片及打印仓模块 / 131

8.3.2 夹缝、散热、尺寸及收缩模块 / 133

8.3.3 输出、填充、圆角及主页模块 / 136

8.3.4 抬升、内凹、抖动及限制模块 / 140

8.3.5 底筏、打印速度及温度模块 / 141

8.4 GCode 规范概述 / 145

8.4.1 GCode应用 / 145

8.4.2 3D打印设备常用GCode编码解析 / 146

附录**常用打印材料及应用 / 149**

第1章

3D打印概述

1.1

3D打印技术发展历史

人们将3D打印技术称作“上上个世纪的思想，上个世纪的技术，这个世纪的市场”。因为其起源可以追溯到19世纪末的美国，在业内的学名为“快速成型技术”。一直只在业内小众群体中传播，直到20世纪80年代才出现成熟的技术方案，在当时，撇开其非常昂贵的价格不说，能打印出的数量也极少，几乎没有面向个人的打印机产品，都是面向企业级的用户。但随着时间的推移，在技术逐渐走向成熟的今天，尤其是MakerBot系列以及REPRAP开源项目的出现，使得越来越多的爱好者积极参与到3D打印技术的发展和推广之中。与日俱增的新技术、新创意、新应用，以及呈指数暴增的市场份额，都让人感受到3D打印技术的春天。

很多人都认为3D打印技术只是某一项单一技术，就像传统的复印机复印技术一样。其实并非如此，3D打印技术是一系列快速成型技术的统称，其基本原理都是叠层制造，即由快速原型机在X/Y轴坐标方向生成目标物体的截面形状，然后在Z轴坐标间断地作层面厚度的位移，最终形成三维制件。但撇开技术原理上的差异，单纯从硬件结构上来看，3D打印又和传统打印设备非常相似。都是由控制组件、机械组件、打印头、耗材和介质等架构组成，并且打印过程也很接近。对于设备用户而言，3D打印和传统打印的最主要的区别是在电脑上要设计出的是一个完整的三维立体模型^①，然后再进行打印输出。

由于堆叠薄层的形式不同，3D打印机在打印机理以及打印材料上都有所差异，也因此将3D打印的各项技术划分为多种流派^②。

(1) 基于光敏树脂的3D打印机。使用打印机喷头将一层极薄的液态树脂材料喷涂在铸模托盘上，此涂层然后被置于紫外线下进行固化处理，接着铸模托盘下降极小的距离，以供下一个图层堆叠上来。

(2) 采用熔融挤压技术的3D打印机。核心流程是在喷头内熔化原材料，接着喷出后通过降温沉积固化的方式形成薄层，然后逐层叠加。

(3) 采用喷墨黏粉技术的打印机。使用粉末微粒作为打印介质，先将粉末微粒涂撒在铸模托盘上形成一层极薄的粉末层，然后由喷出的液态黏合剂进行固化。

(4) 使用“激光烧结”来熔铸原材料粉末形成指定模型的技术。这项技术被德国EOS公司在其一系列3D打印机上所采用。类似的技术还有许多，例如瑞士的Arcam公司，其主要原理则是利用真空中的电子流来熔化粉末微粒以形成模型。

以上提到的这些也只不过仅仅是许多成熟技术中的一些核心部分，当遇到包含孔洞及悬挂等复杂结构时，打印原料中就需要加入凝胶剂或其他辅助材料，以提供支撑或用来填充空间。

① 在本书的第3章中，有对常用设计软件及使用的介绍。

② 这里只是简单描述，详细的技术原理和工艺介绍请参见第2章。

这部分辅助材料不会在打印完成后自动去除，需要进行后处理——用水或气流冲洗掉支撑物才可形成孔隙。

现如今可用于打印的材料也种类繁多，从各式各样的塑料到金属、陶瓷以及橡胶类物质。甚至有些打印机还能结合不同材料和工艺进行打印，如图1-1所示的混合材料打印的物品，便是由多种不同的材料直接打印生成^①。

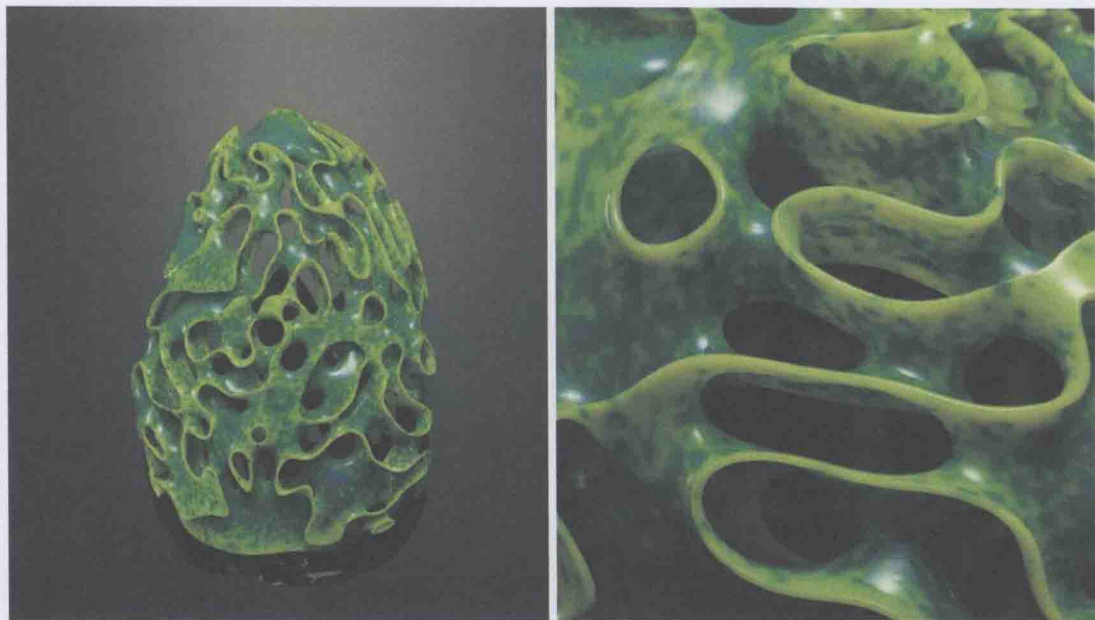


图1-1 多种材料混合打印的物品

让我们先抛开各项繁杂的技术不谈，从一个终端用户的角度来看待3D打印技术，会惊喜地发现它是如此的熟悉，使用的过程和使用普通打印机几乎是完全一样的。通常来说，人们使用传统技术的打印机进行打印，过程是这样的：轻点电脑屏幕上的“打印”按钮，一份数字文件便被传送到一台喷墨打印机上，接着打印机将一层墨水喷到纸的表面以形成一副二维图像。而使用3D打印也是一样，只需要点击控制软件^②中的“打印”按钮，控制软件通过切片引擎^③完成一系列数字切片，然后将这些切片的信息传送到3D打印机上，后者会逐层进行打印，然后堆叠起来，直到一个固态物体成型。

就用户实际感受而言，往往是感觉不到3D和传统打印机在制作流程上的不同，能感受到的最大区别在于使用的“墨水”是实实在在的原材料，正是因为这样的相似，快速成型技术才会被形象地称为3D打印技术。但3D打印技术能形成现今如此繁多的种类、机型，以及良好的用户体验，也是在众多科研人员前赴后继的努力之下，经过了漫长的发展而来的。

业界公认的3D打印技术最早始于1984年，当时数字文件打印成三维立体模型的技术被美国发明家Charles Hull所率先提出。并且在1986年，他又进一步发明了立体光刻工艺——即利用紫外线照射光敏树脂凝固成型来制造物体，并将这项发明申请了专利，这项技术后来被称

① 对于不同的打印材料以及典型应用，我们会在本书附录中详细介绍。

② 关于控制软件的介绍及使用，可以阅读第4章。

③ 切片引擎主要用于将立体模型分解为多个横截面，然后将横截面进一步分解为轮廓线，相关介绍可以参考第8章。

为光固化成型（SLA）。随后他继续不懈地努力奋斗，离开了原来工作的Ultra Violet Products公司，开始自立门户，并把新创办的公司命名为3D Systems（现今全球最大的两家3D打印设备生产商之一）。并在不久后的1988年，3D Systems公司便生产出了第一台自主研发的3D打印机SLA-250（图1-2）。SLA-250的面世成为了3D打印技术发展历史上的一个里程碑事件，其设计思想和风格几乎影响了后续所有的3D打印设备。但受限于当时的工艺条件，其体型十分庞大，有效打印空间却非常狭窄。



图1-2 第一台3D打印机SLA-250



图1-3 第一台高精度彩色3D打印机Spectrum 2510

1988年，一位来自于美国康涅狄格州叫Scott Crump的年轻人发明了另外一种3D打印技术——熔融挤压成形（FDM）。这项3D打印技术利用蜡、ABS、PC、尼龙等热塑性材料来制作物体，他在成功发明了这项技术之后也成立了一家公司，并将其命名为Stratasys。目前3D Systems和Stratasys已成为3D打印领域最大的两家公司，合计占据着全球专业3D打印机销量的74%（2010年数据）。

仅仅一年后的1989年，美国德克萨斯大学的C.R.Dechard博士发明了第三种3D打印技术——选择性激光烧结技术（SLS），这项技术是利用高强度激光将尼龙、蜡、ABS、金属和陶瓷等材料粉末来烧结，直至成形。

在1993年，麻省理工大学教授Emanuel Sachs也加入了进来，创造了三维喷墨黏粉打印技术（3DP），将金属、陶瓷的粉末通过黏结剂粘在一起成形。并在1995年，由麻省理工大学的毕业生Jim Brecht和Tim Anderson修改了喷墨打印机方案，实现了将约束溶剂挤压到粉末床上，而不必局限于把墨水挤压在纸张上，随后创立了现代的三维打印企业Z Corporation。

1996年在一定程度上可以算是3D打印机商业化的元年，在这一年，3D Systems、Stratasys、Z Corporation分别推出了型号为Actua 2100、Genisys和2402的三款3D打印机产品，并第一次使用了“3D打印机”的名称。

另一个重要的时刻是2005年，由Z Corporation推出了世界上第一台高精度彩色3D打印机——Spectrum 2510（图1-3）。

同一年，开源3D打印机项目REPRAP由英国巴恩大学的Adrian Bowyer发起，他的目标是通过3D打印机本身，来打印制造出另一台3D打印机，从而实现机器的自我复制和快速传播。经过三年的努力，在2008年，第一代基于REPRAP的3D打印机正式发布，代号为

“Darwin”^①，这款打印机可以打印它自身元件的40%，但体积却只有一个箱子的大小。

进入2010年，3D打印行业的发展速度明显加快。在2010年11月，一辆完整身躯的轿车由一台巨型3D打印机打印而出，这辆车的的所有外部件，包括玻璃面板都是由3D打印机制造完成的。使用到的设备主要是Dimension 3D打印机，以及由Stratasys公司数字生产服务项目RedEye on Demand提供的Fortus3D成型系统。

2011年8月诞生了世界上第一架3D打印飞机，这架飞机由英国南安营敦大学的工程师建造完成。同年的9月，维也纳科技大学也开发了更小、更轻、更便宜的3D打印机，这个超小3D打印机仅重1.5千克（图1-4），价格预计约1200欧元。

2012年3月，3D打印的最小极限再一次被维也纳大学的研究人员刷新，他们利用二光子平版印刷技术，制作了一辆长度不足0.3毫米的赛车模型（图1-5）。并且在同年7月，比利时国际大学鲁汶学院的一个研究组测试了一辆几乎完全由3D打印所制作的小型赛车，其车速达到了惊人的140千米/小时。紧接着在12月，3D打印机的枪支弹夹也由美国分布式防御组织测试成功。

纵观整个3D打印机的发展历史，我们可以看到，随着3D打印技术的多元化以及种类逐渐变多，3D打印机可打印的物品也更加多元、更加丰富。而且，3D打印机的打印价格也在随着技术的发展打印成本逐渐降低。在1999年3D Systems发布的SLA 7000要价80万美元，而到了2013年推出的Cube仅需1299美元。另外，虽然对于普通用户和制造企业来说，3D打印的大规模产业化时间还没有成熟，但我们从中可以看出3D打印机开始向两极逐渐分化，除了百万元级的大型3D打印机之外，国内目前也出现了面向个人用户价格为几千元的3D打印机（图1-6）。

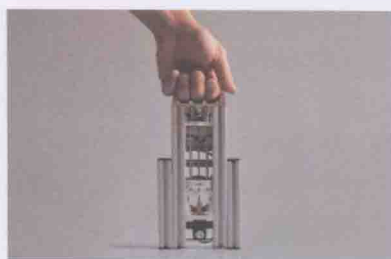


图1-4 超便携的3D打印机

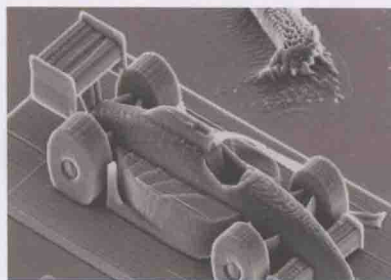


图1-5 显微镜下的3D打印赛车模型

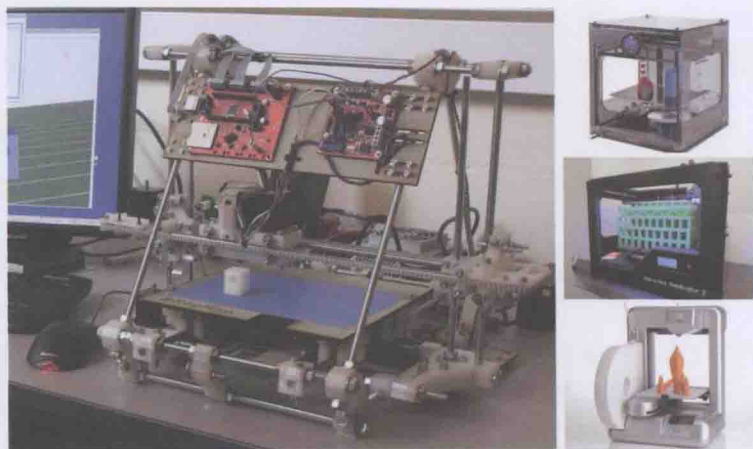


图1-6 面向消费者的桌面3D打印机

① REPRAP 项目的每一代方案都是采用生物进化领域的著名科学家来命名，例如第一代的达尔文，后续的孟德尔和赫胥黎等。

虽然目前的3D打印技术还受到许多限制，例如缺乏稳定廉价的原材料、高效精确的设备以及成熟的商业应用等。但人们已经在珠宝、制鞋、工业设计、建筑、土木工程、汽车、航空航天、医疗、教育、地理信息系统，以及其他许多领域看到了它巨大的潜力和价值。所以，我们有理由相信，随着3D打印技术不断地发展和大量资源的不断投入，以及不同背景专业人员的积极参与，将很快可以看到3D打印机一次次为我们呈现更加精细和更加实用的物品，以此来造福整个人类社会。

1.2

3D打印的优势与劣势

当前大多数人听到3D打印机时，通常会联想到的还是那些老式的、常见的桌面打印机。其实，喷墨打印机和3D打印机的最大区别仅在于两者的维度的不同，二维打印机是普通桌面打印机，它是通过在平面纸张上喷涂墨水，而3D打印机则是可以制造出拿在手上的三维立体物体。

3D打印机主要根据计算机传递的操作指令，通过层层堆积原材料制造产品，这点不同于人们以往的认识。在人类历史的大部分时间里，我们都是通过切割原料或通过模具成型来制造新的实体物品。简而言之，3D打印机做的是加法，而我们之前大部分生产工作一直做的是减法。

所以在专业领域，3D打印又被称为“增材制造”，这种叫法是对实际打印过程一种比较贴切的描述。正因为这些基础思想的不同，3D打印能够凭借独特的制造技术制造出许多前所未有的、各种形状的物品。虽然严格来说，3D打印已在制造加工车间中默默地工作了几十年，并不是一项全新的技术。但在过去的几年里，凭借计算机普及、新型设计软件、新材料应用以及互联网进步等因素的推动，3D打印技术得以迅猛发展，进入千千万万个普通家庭，为更多人所熟知。

在3D打印过程中计算机发挥着相当关键的作用，如果没有计算机进行运算、发出指令，那么3D打印机根本无法独立工作。启动3D打印机前，必须先输入一个设计好的指令集（例如GCode，详见第8章）或设计文件，由它们负责告诉3D打印机如何移动、何时打印等。所以说，3D打印机没有连接计算机以及设计文件的话是没有用处的，就如同没有储存音乐的MP3一样。

通常3D的打印过程为：根据设计文件计算得到的指令集，3D打印机将喷头或激光发射器按预定路径移动，同时喷出固体粉末或熔融的液态材料。通过材料喷出或激光照射形成一个固化的平面薄层。当完成第一层的固化操作后，3D打印机打印头移动到下一层的开始位置，接着在第一层外部再次形成另一薄层。待第二层固化后，打印头再次返回，并在第二层外部形成另一薄层。如此循环往复，通过许多薄层的累积最终形成人们所需要的三维物品（图1-7）。

通过了解3D打印机工作的过程，我们可以发现3D打印机与传统制造机器的不同之处在

于,传统制造设备大部分是通过切割或模具塑造来制造物品,而3D打印机则是通过层层堆积形成实体物品的,这种生产的方式非常符合现今人类社会,符合现实世界的数字化趋势。随着人们将越来越多现实中的世界数字化后,3D打印机将会越来越成为生产制造的首选设备,它可以将人们虚拟化、数字化的物品,在便捷的传播扩散之后,再快速地还原到实体世界之中。



图1-7 逐层打印及填充

1.2.1 3D打印技术的六大优势

3D打印机与传统的制造设备不同之处,在于其不像传统制造设备那样通过切割或模具塑造来制造物品。3D打印机通过层层堆积的方式来形成实体物品,恰好从物理的角度扩大了数字概念的范畴。当人们要求具有精确的内部凹陷或互锁部分的形状设计时,3D打印技术便具备了与生俱来的优势。通过具体分析,我们认为3D打印技术至少包含了以下六个方面的优势。

(1) 高复杂度、多样化物品的生产将不会增加成本

其实,3D打印设备制造一个形状复杂的物品与打印一个简单的方块消耗成本是相同的。就传统制造而言,物体形状越复杂,制造成本越高。但对于3D打印机而言,制造形状复杂的物品其成本并不会相应增长(图1-8)。制造一个华丽的、形状复杂的物品也同打印一个相同体积、简简单单的方块,所消耗的时间、原材料或成本都相差无几。



图1-8 复杂结构一体成型

像这种制造复杂物品而不增加成本的打印将从根本上打破传统的定价模式,并改变我们整个制造业成本构成的方式。一台3D打印机可以打印的形状,甚至材料都可以有多种,它可以像经验丰富的工匠一样,每次都做出不同形状的物品。而大部分传统的制造设备功能都比较单一,能够做出的形状种类比较有限。3D打印机还将省去技术人员的培养成本和新设备的采购费用,当需生产一款新产品时,并不需要升级设备、培训员工,而只需要导入不同的数字设计文件和一批新的原材料就可以了。

(2) 产品无需组装、缩短交付时间

3D打印机还具备着可以使部件一体化成型的特点,这样对减少劳动力和运输方面的花费将

有显著地帮助。传统的大规模生产是建立在产业链和流水线基础上的，在现代化工厂中，机器生产出相同的零部件，然后由机器人或工人进行组装。产品组成部件越多，供应链和产品线都将拉得越长，组装和运输所需要耗费的时间和成本就越多。而3D打印由于其生产特点，则可以做到同时打印一扇门以及上面的配套铰链，从而可以一体化成形，无需再次组装。3D打印能够实现一体成型这一特点将可以很好地缩短供应链，节省在劳动力和运输方面的大量成本。

同时，3D打印机还可以根据人们的需求按需打印，这样将可以最大程度上减少库存和运输成本。这种即时生产不仅将带来商业模式上的革新，同时其带来的便利也将大大减少企业的实际库存量，使得企业可以根据用户的订单来启动3D打印机，制造出特别的或定制的产品来满足客户需求，许多新的商业模式将成为可能。如果人们所需的物品可以按需就近生产，那么这种零库存、零时间交付的生产方式还将可以最大限度地减少长途运输成本。供应链越短、库存和浪费则越少，生产制造对社会造成的污染也将越少，这些都将对减少社会污染有着极其显著地帮助。

(3) 制作技能门槛降低、设计空间无限

目前在传统制造业中，培养一个娴熟的工人往往需要很长的时间，而3D打印机的出现将可以显著降低生产技能的门槛。通过在远程环境或极端情况下批量生产，以及计算机控制制造，这些都显著降低对生产人员技能的要求。3D打印机从设计文件中自动分割计算出生产需要的各种指令集，制造同样复杂的物品，3D打印机所需要的操作技能将比传统设备少很多(图1-9)。这种摆脱原来高门槛的非技能制造业，将可以进一步引导出众多新的商业模式，并能在远程环境或极端情况下为人们提供新的生产方式。

从制造物品的复杂性来看，3D打印机相比传统制造技术同样具备优势，甚至能制作出目前只能存在于设计之中、人们在自然界未曾见过的形状。传统制造技术和工匠制造的产品形状有限，制造形状的能力受制于所使用的工具。例如，传统的木制车床只能制造圆形物品，轧机只能加工用铣刀组装的部件，制模机仅能制造模铸形状。而3D打印则有望突破这些局限，开辟巨大的设计和制造空间。

(4) 不占空间、便携制造

3D打印的优点还在于可以自由移动，并制造出比自身体积还要庞大的物品。就单位生产空间而言，3D打印机与传统制造设备相比，其制造能力和潜力都更加强大。例如，注塑机只能制造比自身小很多的物品，与此相反，3D打印机却可以制造和其打印台一样大的物品。

3D打印机调试好后，打印设备还可以自由移动，打印制造出甚至比自身还要大的物品。由于其较高的单位空间生产能力，使得3D打印机更加适合家用或办公使用，这些都是有赖于3D打印机所需更小物理空间这一优势。

(5) 节约原材料，并可以多种材料无限组合

相对于传统的金属制造技术来说，3D打印机制造时产生的副产品更少。传统金属加工有着十分惊人的浪费量，一些精细化生产甚至会造成90%原材料的丢弃浪费。相对来说，3D打印机的浪费量将显著减少。随着打印材料的进步，“净成形”制造可能取代传统工艺成为更加节约环保的加工方式。



图1-9 传统制造难以制造的物体，3D打印机轻松实现