

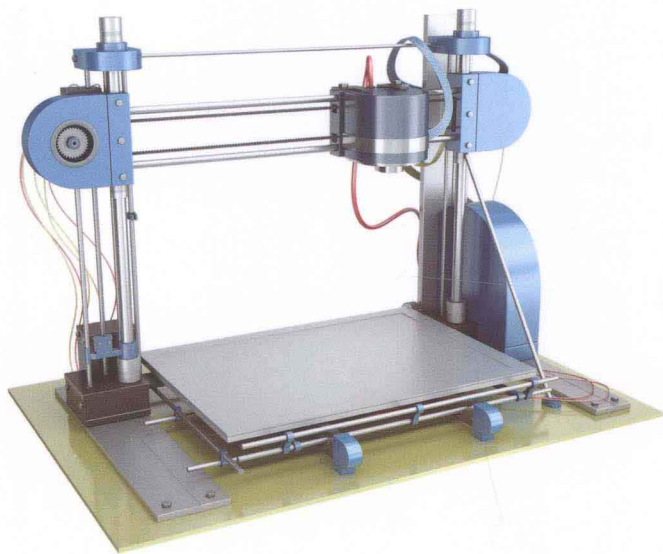
HZ BOOKS
华章科技

从硬件、软件和升级三个维度解析各类开源3D打印机的基本原理和技术细节，详细讲解常见3D打印机的调试、使用、升级和维护，以及3D打印模型的设计
以动手实践为目标，包含多个实战案例，不仅教授读者如何打印各类物品，而且能启发读者DIY属于自己的3D打印机



数字匠人

Apress®



Practical 3D Printers
The Science and Art of 3D Printing

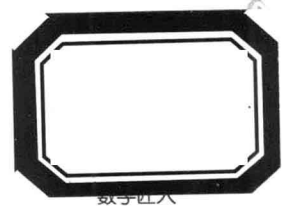
解析3D打印机

3D打印机的科学与艺术

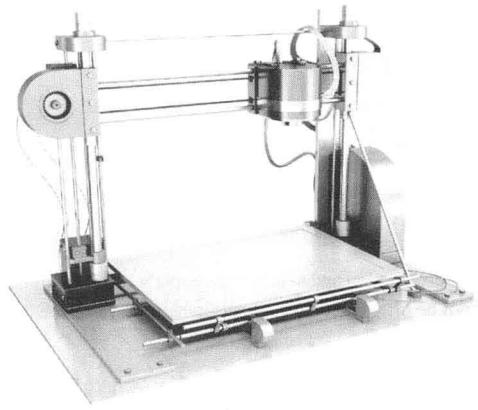
(美) Brian Evans 著
程晨 译



机械工业出版社
China Machine Press



数字社



Practical 3D Printers
The Science and Art of 3D Printing

解析3D打印机

3D打印机的科学与艺术

(美) Brian Evans 著
程晨 译



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

解析 3D 打印机: 3D 打印机的科学与艺术 / (美) 伊万斯 (Evans, B.) 著; 程晨译. —北京: 机械工业出版社, 2013.11

书名原文: Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing

ISBN 978-7-111-44249-3

I. 解… II. ①伊… ②程… III. 立体印刷—印刷术 IV. TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 235210 号

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号: 图字: 01-2013-4815

Practical 3D Printers: The Science and Art of 3D Printing (ISBN: 978-1-4302-4392-2).

Original English language edition published by Apress L. P., 2560 Ninth Street, Suite 219, Berkeley, CA 94710 USA. Copyright © 2012 by Brian Evans. Simplified Chinese-language edition copyright ©2014 by China Machine Press. All rights reserved.

This edition is licensed for distribution and sale in the People's Republic of China only, excluding Hong Kong, Taiwan and Macao and may not be distributed and sold elsewhere.

本书原版由 Apress 出版社出版。

本书简体字中文版由 Apress 出版社授权机械工业出版社独家出版。未经出版者预先书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

此版本仅限在中华人民共和国境内 (不包括中国香港、台湾、澳门地区) 销售发行, 未经授权的本书出口将被视为违反版权法的行为。

国内第一本从硬件、软件和升级三个维度全面解析各类开源 3D 打印机的基本原理和技术细节的著作, 不仅详细讲解了 3D 打印机的结构、固件、分层工具、应用软件、热熔丝的种类、使用技巧, 而且还详细讲解了常见 3D 打印机的调试、使用、升级和维护, 以及 3D 打印模型的设计。本书强调动手实践, 包含多个实战案例, 3D 文字、多模型混搭、迷你相扑机器人等, 不仅教读者如何打印各类物品, 而且能启发读者 DIY 属于自己的 3D 打印机。

本书分为三部分。第一部分 (第 1 ~ 3 章) 介绍 3D 打印机的工作原理、常见类型、选购方法、3D 打印机的机械和电子器件、常用分层和控制软件、校准打印机的设置和操作等。第二部分 (第 4 ~ 9 章), 此部分涵盖与 3D 模型矢量图绘制和操作、模型的合并和消除、文件导入 / 导出、网格处理、模型混搭等相关的多种工具及技术运用技巧: 讲解如何利用 Thingiverse 和 Google 3D 模型库查找并共享 3D 模型; 介绍 3DTin 和 Tinkercad (基于 Web 的实体建模软件), 并制作一个外星侵略者模型; 利用 Inkscape、OpenSCAD、MeshLab、MeshMixer 制作多种复杂模型, 诸如 3D 文字、蒸汽朋克军舰、迷你相扑机器人、发条双足机器人、行走的石像鬼、行走的矮人等。第三部分 (第 10 章) 揭秘如何通过机械部件、电子器件等进行 3D 打印机升级。附录给出维护和故障排除的技巧, 以及 3D 打印机相关的资源。

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 高婧雅

北京市荣盛彩色印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

186mm × 240mm · 15.25 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-44249-3

定 价: 59.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

投稿热线: (010) 88379604

读者信箱: hzsjj@hzbook.com

译者序

近几年，随着开源硬件的发展，尤其是 **Arduino** 的出现，让硬件电子作品的制作变成一件很容易上手的事情，一时间，爱好者、艺术家、设计师等没有电子硬件背景的人纷纷投入到开源硬件的领域当中，产生了很多有意思的项目和作品。另外，开源硬件帮助硬件工程师更快地实现他们的创意和设计，这些创意和设计随着开源硬件的发展快速地在全球得到复制，在 **Arduino** 方面，开源桌面 **3D** 打印机是十分突出的项目。基于 **Arduino** 平台，大家共享项目代码、改进结构设计、分享制作成果，真正地让每一个人都能够参与项目。本人因为 **Arduino** 的关系，接触桌面 **3D** 打印机比较早，有幸见证了开源桌面 **3D** 打印机的兴起和发展，了解到各种 **3D** 打印机之间的相互关系，从最开始的 **RepRap** 到现在的百花齐放、百家争鸣，**3D** 打印机已被大众所熟知，**3D** 打印机在开源硬件的影响力之上，进一步影响到每个人的生活。

2012年，《连线》杂志前主编、《纽约时报》畅销书《长尾理论》及《免费：商业的未来》的作者克里斯·安德森推出了一本新书《创客：新工业革命》。该书中提到，随着 **3D** 打印机的普及，传统的加工制造业会受到很大的冲击，每个人都可以按照自己的想法来制造个性化的产品，人们会从目前虚拟的网络世界转移到现实的加工制造业，数以百万计发明家和爱好者的集体潜力将喷薄而出，实现全民制造，掀起新一轮的工业革命。随着《创客：新工业革命》这本书的热销，**3D** 打印机也越来越受到各种目光的关注。目前市面上也有几本关于 **3D** 打印机的书，但基本都是从经济学的角度出发，真正全面介绍各种开源 **3D** 打印机技术细节的书还没有，所以当本人发现本书时，就希望能将其翻译出来，揭开 **3D** 打印机的神秘面纱，让更多的人能够真正动手去制作一台桌面 **3D** 打印机。

本书在系统阐述了开源 **3D** 打印机的基本工作原理的基础上，全面介绍了目前主流开源 **3D** 打印机的技术细节，包括 **3D** 打印机的结构、固件、分层工具、应用软件、热熔丝种类、使用技巧等多个方面。是国内第一本全面介绍各种开源 **3D** 打印机具体技术细节的书籍。另外，本书在介绍具体的 **3D** 打印机之外，还对多种开源的 **3D** 建模软件和几家提供 **3D** 模型的网站进行了介绍，并带领读者完成了几个很有意思的应用。

全书分为 10 个章节还有两个附录。前 3 章介绍了 **3D** 打印机的种类、工作原理以及校准方法，

让读者能够快速对 3D 打印机的历史和技术有个全面了解。从第 4 章到第 9 章，都是通过项目的方式告诉读者如何创建模型、打印模型、分享模型，其中穿插介绍了很多 3D 建模软件、3D 模型共享的网站以及一些辅助软件。第 10 章以及附录则让读者对 3D 打印机的认识更上了一层，通过之前对 3D 打印机的使用，读者一定对 3D 打印机的性能有进一步的要求，第 10 章则告诉我们 3D 打印机的哪些部分可以升级、如何升级，另外要保证打印质量，平时的保养以及使用上的技巧也是很重要的，这些都包含在附录 A 中，而附录 B 则针对更专业的读者，你们可以根据附录中的信息在网络上寻找有用的信息。

如果你对 3D 打印机的技术感兴趣，想自己做一台 3D 打印机或已经有了一台 3D 打印机而不清楚如何使用它，这本书一定是一个不错的选择。

前 言

《连线》、《纽约时报》、《经济学家》、《华尔街日报》、《BBC》，甚至是《科尔伯特报告》等，到处都是关于个人 3D 打印机的报道。3D 打印机，有时也叫做“立体制造”或者“快速原型制造”，这是一种使用塑料或者金属原料将数字设计转换成 3D 实物的新兴技术。这种技术实际上已经有 25 年的历史了，之前仅仅是工程师和设计师在使用，如今 3D 打印机开始影响到每个人的生活，例如，以往工业领域用价值 3 万美元的机器制造的物品，现在只需要不足 2000 美元一台的小巧桌面型机器即可在家中自己制作一个相同质量的物品。

而且，在这种新颖的个人 3D 打印机上设计和打印 3D 物品并不需要使用者是位专业的工程师或设计师。事实上，这些机器适用于整个 K-12 基础教育（美国基础教育）体系，并且这种技术越来越受欢迎。使用 3D 打印机只需要你有一颗永不满足的好奇心，并且乐意动手实践，同时要学习一些不同的应用程序来帮助你设计和打印 3D 模型。人们用 3D 打印机制作的东西五花八门，从简单实用的衣服夹到精彩搞笑的机器宠物乐园。

这本书假定你也像我一样对使用 3D 打印技术实现自己的想法非常感兴趣。也许你刚好考虑要购买一台自己的 3D 打印机来看看它到底是个什么东西，也许你已经有了一台 3D 打印机，并且准备尝试打印一个实物，无论如何，这本书将告诉你关于 3D 打印机的来龙去脉，以及如何设计用于打印的模型。

为什么要拥有一台 3D 打印机

为什么要拥有一台 3D 打印机呢？因为它好玩！虽然现在很多关于个人 3D 打印机或 3D 打印方式将彻底改变这个世界经济利益的评论，但我认为这种观点稍显夸张，而且没有抓住 3D 打印机的特点。当然，你可以打印一些小玩意，然后拿到 [Etsy](#) 或 [Ebay](#) 上卖掉赚点小钱。可以肯定的是，一旦你有了一台 3D 打印机，你就会不停地看看周围的东西有什么是可以打印的。不过最重要的是，你应该有一台自己的 3D 打印机并学习如何使用它，因为它真的很有趣。我和我的学生花了很多时间欣赏我们设计的东西从 3D 打印机里打出来的过程——那真是太神奇了。

可能你是一个设计师，希望将这种技术应用到你的专业领域；可能你是一个艺术家，在探索一种新的媒体表现形式；可能你是一个发明家，需要一条小巧的台式生产线。在其他方面，或许你想探索创建 3D 打印珠宝的可能性，或许你刚好喜欢火车、机器人什么的，不管你想将 3D 打印技术应用在哪方面，最重要的是你要喜欢这种简单的制造过程。如果你买了一台个人 3D 打印机，那么我向你保证它不会像普通文档打印机那样“只是工作”，你一定会非常高兴自己拥有一台这样的打印机。但它的使用并没有想象的那样简单，这是一件好事，这样你在用它打印你想制作的物品时就会充满挑战，这正是使用 3D 打印机最大的乐趣。

3D 打印机的大世界

在过去的 5 年中，我们从最初的一台个人 3D 打印机到数百台各种各样的 3D 打印机，从 RepRap 到 MakerBot；从 Printrbot 到 Mosaic。很多人都在制造 3D 打印机，似乎每周都有一台崭新的 3D 打印机问世。那么，在一本书里如何才能涵盖所有的 3D 打印机呢？从某种角度来说，这是不可能的。现在有太多的个人 3D 打印机，根本无法覆盖所有的内容。

但是所有的这些 3D 打印机原理上都差不多，我们也可以简单地介绍通常如何使用 3D 打印机以及如何设计在其中打印的物品。我们将专门探讨一些不同的 3D 打印机、使用的软件以及电子器件是如何工作的。也许介绍的 3D 打印机不是你最喜欢的那种，但是在 3D 打印机的大世界里，我们所能做的最好的事情就是告诉你如何开始正确地使用常用的 3D 打印机来打印物品。

找一台充满乐趣的 3D 打印机，让我们来看看如何使用它。

关于这本书

这本书大致分为三个部分：硬件、软件和升级。前 3 章主要介绍的是硬件知识，从介绍 3D 打印机如何工作的一张大图开始，深入剖析了 3D 打印机的部件及工作链，在完成第一次打印之后还总结了校准 3D 打印机的一些技巧。软件部分是本书介绍较多的部分，介绍了各种建模及应用软件，并用它们完成了多个项目，包括 3D 文字、模型混搭、机器人和 3D 纪念品。升级部分介绍了一些实用的升级方案，以改善 3D 打印机的操作以及提高 3D 打印的质量。

本书既可以作为 3D 打印机的指导手册，也可以作为一本参考手册。如果作为指导手册，那么从第 1 章开始，我们会告诉你如何购买一台打印机，如何使用它，如何校准它，如何设计一个模型来打印，以及改善现有的打印机。如果你对 3D 打印机或设计已经有了一定的了解，那么这本书可以作为一本参考手册，包括将绘制的图形转成 3D 模型，参数化的计算机辅助设计（CAD）以及如何处理和准备 3D 模型以进行打印。

这本书并不是一本关于具体某台 3D 打印机的说明书，如果是这样的一本书，那么当本书出版时，会因为 3D 打印机的更新而过时。相反，这是一本介绍打印机来龙去脉的书，我们假定你购入了一台 3D 打印机后，非常想弄清楚它是怎么工作的。我们把重点放在这里，并告诉你如何让 3D 打印机带来全新的体验。3D 打印机爱好者是一群非常活跃的创客，他们依靠论坛、维基、博客和其他在线方式交流和分享信息。附录 B 中列出了很多的网络资源。

书中的项目集中在第 4 章到第 9 章，每一章是一个主题，我们的项目中使用了很多种软件。这样做的目的是让你更多地了解 3D 打印机以及模型设计制作的相关知识。我们会介绍一些适用于各种 3D 建模的软件。没有一个能解决所有建模问题的 3D 软件，各种各样的软件让 3D 打印变得非常有趣。每一位读者都会有自己的风格、自己的喜好。如果这本书写得不错，那么每个人都会有他自己喜欢的那一部分。

动手

我教给我的学生最好的一节课就是“动手去学习知识”。本书中的项目看起来都很简单，有些甚至有点搞笑，但是我们所做的一切都是为了传授基本知识，之后你可以利用这些基本知识去做你想做的任何模型，到时候限制你的就只有你的想象力。但首先，我们要从这些书中的例子开始，尝试一些改变，看看会发生什么，这些会让你之后的模型制作更顺利。

我们不仅要动手去学习，同时还要勇于尝试、勇于犯错，犯错在学习过程中也是很重要的。设计个模型，看看是什么效果，哪里好，哪里不好，然后再设计一个新的版本，看看有什么改善，之后再设计一个版本。这个过程中学习到的很多内容和经验是通过书本学不到的。通过你的“桌面工厂”（差不多能这么称呼），你能不停地进行各种尝试，这样你就会不断地积累经验，然后与大家分享。

分享

分享对于整个 3D 打印社区来说是一件非常重要的事情，书中所有的设计都是基于 Creative Commons Attribution-ShareAlike license (www.creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/) 许可共享，国内称作“知识共享、署名相同”方式分享许可。每一种设计都可以轻松地在模型共享网站 Thingiverse (www.thingiverse.com) 上下载。我希望每个拿到这本书的人都能够制作这些模型，甚至是利用从书中学到的知识设计新的模型。

我非常想看到你们制作这些模型，所以当你们完成模型的打印后，一定要使用“我打了一个”(I Made One) 按钮，将照片贴到 Thingiverse 上，具体内容参照第 3 章和第 4 章。如果你改进了本书中的某个模型，那么一定要在 Thingiverse 上使用“改进模型”(I Made a Derivative) 的按钮，同时

最好添加 **Practical 3D Printers** 标签，以便其他人能够找到你的改进型设计，包括我在内。我希望能在网站上看到每一位阅读这本书的读者的作品。

致谢

这里我要感谢很多人，没有他们这本书就不会出版。不过我最想感谢的还是我的妻子 **Susan**，在完成书稿的漫长时间里，她一直陪着我。还有我的女儿 **Kori**，感谢她无条件的爱和支持。还要感谢其他家人的不断鼓励。

这里尤其要感谢我在丹佛大都会州立学院的朋友和同事，他们对这本书投入了极大的热情，感谢他们在最后一学期对我的包容。我保证今后更加通情达理。深深地感谢艺术系的主任，勇敢的 **Greg Watts**，只是因为我觉得 **MakerBot Cupcake** 很酷，就在 2009 年投资为部门配备了一台。**Greg** 是这本书出版的最大原因。这里同样要感谢丹佛大都会州立学院刻苦学习并且总是给我启发的学生，他们让我作为他们的开源艺术和设计的指导，尤其是 **Oliver** 和 **Rachel**，他们当时是我最好的助教。

技术审校 **Tony Buser**，我不知道能为你做些什么表示我对你的感谢。有 **Thingiverse** 作为这本书的支持让我感到荣幸和骄傲。我同样很感激 **Apress** 团队：**Michelle**、**James**、**Jessica**、**Brigid**、**Kim** 以及其他人员，与你们合作真的是一件很愉快的事情。

最后我要感谢广大的艺术家、设计师、工程师、匠人以及创客对 3D 打印机社区所做的贡献，本书借鉴了社区中不少的内容和图片，我要感谢为 3D 打印机做出贡献的每个人，感谢大家。

目 录

译者序

前言

第 1 章 3D 打印机的世界 1

- 1.1 格雷伯爵茶，热的 1
- 1.2 3D 打印机如何工作 2
 - 1.2.1 笛卡儿机械 3
 - 1.2.2 热熔塑料进料头 3
 - 1.2.3 打印托盘 4
 - 1.2.4 直线运动导轨 4
 - 1.2.5 挡块 5
 - 1.2.6 框架 6
- 1.3 现有的 3D 打印机 7
 - 1.3.1 RepRap 类型 7
 - 1.3.2 Box Bot 类型 9
 - 1.3.3 RepStrap 类型 12
 - 1.3.4 Upstart 类型 13
- 1.4 选择合适的 3D 打印机 15
 - 1.4.1 3D 打印机汇总 16
 - 1.4.2 打印区域比较 16
 - 1.4.3 购买套件或者自己组装 17
- 1.5 选择正确的材料 18
 - 1.5.1 热熔丝材料 19
 - 1.5.2 热熔丝的直径 19
 - 1.5.3 购买热熔丝 20

- 1.6 基本工具 20
 - 1.6.1 手工工具 20
 - 1.6.2 电子工具 21
 - 1.6.3 打印辅助材料 22
- 1.7 小结 23

第 2 章 3D 打印机的工作链 24

- 2.1 从 3D 模型到 3D 实物 24
 - 2.1.1 3D 模型 25
 - 2.1.2 分层和路径文件 25
 - 2.1.3 打印控制软件简介 26
- 2.2 什么是工作链 26
- 2.3 电子器件 27
 - 2.3.1 RepRap Arduino Mega Pololu 扩展板 29
 - 2.3.2 Sanguinololu 30
 - 2.3.3 Printboard 31
- 2.4 固件 32
 - 2.4.1 Sprinter 33
 - 2.4.2 Marlin 33
 - 2.4.3 SJFW 34
 - 2.4.4 MakerBot 34
- 2.5 分层软件 34
 - 2.5.1 Skeinforge 36
 - 2.5.2 SFACT 36

2.5.3 Slic3r	37	3.7 小结	66
2.6 打印控制软件	37	第 4 章 云端的 3D 模型	67
2.6.1 ReplicatorG	38	4.1 查找并共享 3D 模型	67
2.6.2 Pronterface	40	4.1.1 Thingiverse	67
2.6.3 RepSnapper	41	4.1.2 Google 3D 模型库	73
2.6.4 Repetier-Host	41	4.2 基于 Web 的实体建模软件介绍	77
2.6.5 netfabb Engine	42	4.2.1 3DTin	77
2.7 小结	43	4.2.2 Tinkercad	79
第 3 章 校准打印机	44	4.3 项目：外星侵略者	82
3.1 第一步	44	4.3.1 从像素块开始	82
3.1.1 连接设备	45	4.3.2 拉伸模型	83
3.1.2 让打印机动起来	45	4.3.3 保存并导出 STL 文件以 进行打印	84
3.1.3 初始位置	47	4.3.4 打印成实物	85
3.1.4 加热	47	4.4 小结	86
3.2 打印概述	49	第 5 章 3D 文字	87
3.2.1 下载模型	49	5.1 制作矢量图	87
3.2.2 模型分层	50	5.1.1 使用 Inkscape	87
3.2.3 打印模型	50	5.1.2 用 Inkscape 绘制图形	88
3.3 打印设置	50	5.1.3 Inkscape 中的路径操作	90
3.3.1 打印机和热熔丝	54	5.1.4 书写文字	92
3.3.2 打印速度	56	5.2 设计 3D 文字	93
3.4 打印兔子	57	5.2.1 准备矢量图	94
3.5 校准打印	58	5.2.2 准备文件	96
3.5.1 从打印托盘开始	58	5.3 拉伸矢量图	98
3.5.2 圆，圆，圆	60	5.3.1 使用 OpenSCAD	99
3.5.3 金字塔	61	5.3.2 在 OpenSCAD 中建立 模型	99
3.6 固件设置	62	5.3.3 模型的合并和消除	100
3.6.1 初始化设置	63	5.3.4 移动和旋转模型	101
3.6.2 轴运动校准	63		
3.6.3 机械设置	65		
3.6.4 更新固件	65		

5.4	2D 到 3D	103	7.2	OpenSCAD 中的基本混搭	136
5.4.1	有趣的变化	103	7.2.1	导入 STL 文件	136
5.4.2	打印成实物	108	7.2.2	操作 STL 文件	137
5.5	小结	108	7.2.3	简单的混搭	138
第 6 章	蒸汽朋克军舰	109	7.3	OpenSCAD 中的复杂混搭	139
6.1	中级 OpenSCAD 技术	109	7.3.1	开始在 OpenSCAD 中 混搭	139
6.1.1	变量	110	7.3.2	使用 MeshLab	139
6.1.2	特殊变量	110	7.3.3	在 OpenSCAD 中完成 混搭	141
6.1.3	字符串	111	7.3.4	增加支撑	143
6.1.4	修饰符	112	7.4	在 MeshMixer 中混搭	143
6.1.5	模块	113	7.4.1	制作部件	143
6.2	设计蒸汽朋克军舰	114	7.4.2	混搭模型	147
6.2.1	文件设置	115	7.5	更多的混搭	150
6.2.2	设置打印区域	116	7.5.1	在 MeshMixer 中制作 一个部件	151
6.2.3	创建模型	116	7.5.2	在 OpenSCAD 中完成 部件	152
6.3	船体	116	7.5.3	打印成实物	153
6.3.1	船体两侧	117	7.6	装配混搭模型	153
6.3.2	主甲板	118	7.7	小结	154
6.4	甲板上的建筑	120	第 8 章	迷你相扑机器人	155
6.4.1	船舷	120	8.1	什么是迷你相扑	155
6.4.2	船舱	122	8.2	使用 SketchUp	157
6.5	细节设计	123	8.2.1	SketchUp 的工作区和 模板	157
6.5.1	烟囱	123	8.2.2	制作简单的模型	158
6.5.2	通风口	124	8.2.3	制作复杂的模型	160
6.5.3	主炮塔	125	8.2.4	导航	161
6.6	完成模型	126	8.3	设计一个迷你相扑机器人	163
6.7	准备打印	131			
6.8	打印成实物	132			
6.9	小结	134			
第 7 章	模型的混搭	135			
7.1	混搭	135			

8.4	开始	164	9.2	项目：扭曲的花瓶	192
8.4.1	电池仓	164	9.2.1	画一些线	193
8.4.2	电机座	165	9.2.2	拉伸剖面图形	196
8.4.3	车架前端	168	9.2.3	在 MeshLab 重新网格化	196
8.5	轮子和支撑	169	9.2.4	清理花瓶模型	197
8.5.1	电机支撑	169	9.2.5	最后一件事	197
8.5.2	车轴支架	170	9.2.6	打印成实物	198
8.5.3	电池盒卡扣	171	9.3	小结	199
8.6	细节调整	172	第 10 章 升级	200	
8.6.1	清理模型	172	10.1	机械部件升级	200
8.6.2	安装孔	173	10.1.1	同步带和同步轮	201
8.6.3	推土铲	174	10.1.2	线性轴承	203
8.7	打印成实物	176	10.1.3	螺纹杆和联轴器	204
8.7.1	准备打印	176	10.2	电子器件升级	205
8.7.2	组装	176	10.2.1	电子挡块	205
8.7.3	添加控制电路	177	10.2.2	可加热的打印托盘	207
8.8	小结	178	10.2.3	制冷风扇	208
第 9 章 更多项目	179		10.2.4	SD 卡	209
9.1	项目：发条双足机器人	179	10.3	更多的升级	212
9.1.1	测量实物	180	10.3.1	成盘热熔丝的支架	212
9.1.2	设计发条双足机器人 模型	181	10.3.2	更换进料机构	213
9.1.3	行走的石像鬼	184	10.4	小结	215
9.1.4	行走的矮人	185	附录 A 打印技巧	216	
9.1.5	行走的机器人	187	附录 B 资源	226	
9.1.6	打印成实物	190			

第1章

3D 打印机的世界

如果你拿起这本书，那么你一定像我一样被 3D 打印机迷住了。也许你已经在媒体上看到过一款个人 3D 打印机，并且想要了解更多这方面的知识；也许你是一名艺术家、设计师、工程师、发明家或者创客，你想知道如何利用 3D 打印机完成你的设计；也许你已经购买了自己的个人 3D 打印机，现在只是想要寻找一些帮助来学习如何使用它。就从本章开始我们的 3D 打印机之旅吧，首先介绍一下一般 3D 打印机的工作原理，然后看看现在市场上 2000 美元以下的各种 DIY 3D 打印机的采购指南，或者只是简单地告诉你能用 3D 打印机干什么。最后在本章的小结中会说说完成本书中项目所需要的材料和用品。

在这一章，我们会学到以下内容：

- 什么是个人 3D 打印机，它是如何工作的
- 当前不同类型的多种 3D 打印机
- 用于打印的不同材料
- 成功使用 3D 打印机所需的各种工具和用品

我们从科幻小说的 3D 打印机开始吧！

1.1 格雷伯爵茶，热的

这句话大部分人都很熟悉，在电视剧版《星际迷航：下一代》^①中让 - 卢克·皮卡德舰长对着墙上的一个终端设备说出几句话，几秒钟之后，他选择的饮品就出现在面前。这个虚构的设备叫做“replicator”——一种响应即时请求、重组基本材料原子创造新事物的机器。这种 3D 打印机我们现在依然没有，创造出这种改变分子结构，凭空制造出物品的设备还需

① 《星际迷航》是 1966 年出现的一部电视系列剧，之后陆续制播了 5 部电视系列剧以及一部系列动画片，到 2005 年 5 月加起来总共播映了 725 集（不包括最初的未公开试播部分，试播部分之后收录在电视系列剧 DVD 当中发行）、30 个电视季。其中以 1987 ~ 1994 年的《下一代》评价最高，最为成功。——译者注

要走很长的路。

但是，今天的个人3D打印机利用一种称为熔积成型（Fused Filament Fabrication, FFF）的技术已能够用塑料制作很多东西。整个过程像是在一个微小而精致的热熔胶枪喷嘴内融化并挤出塑料，然后通过沉积塑料丝的方式按层绘制，逐层累积融合，最终冷却形成坚实而耐用的塑料部件。这项技术在设计与工程行业已经存在了大约25年，从汽车零件的制造到烤箱的设计都有应用。

因为今天工业用3D打印机价格少则几万，多则超过几十万美元，所以一些勇敢的人提出了疑问：“制造一台自己的3D打印机有多难？”事实是，在最初的阶段，因为没有基础确实很困难，但是在过去的5年（自从第一台DIY 3D打印机面世），很多先进的技术已经在开发人员的共同努力下攻克了，并在世界范围内制造出成千上万的3D打印机。想要了解不断发展的3D打印机的分类，就一定要看看RepRap Family Tree (http://reprap.org/wiki/RepRap_Family_Tree)。现在，我们具体来看看这些3D打印机是如何工作的。

1.2 3D打印机如何工作

本章中出现的所有个人3D打印机彼此有许多相似之处，尽管它们可能有少许不同，但至少在原理上是相似的。我们通过图1-1来仔细看看这些3D打印机是如何工作的。

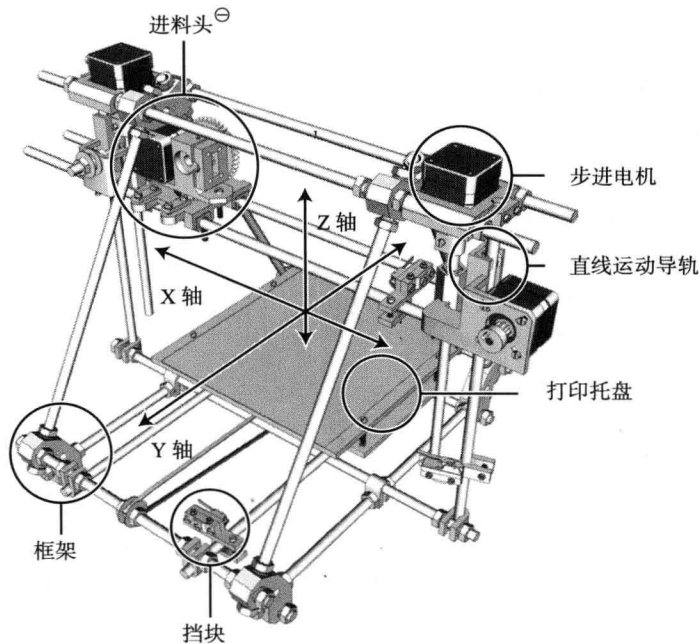


图 1-1 3D 打印机如何工作 (Gary Hodgson, 2011)

⊖ 原文为 EXTRUDER，包含了挤丝驱动器、加热头、喷头、温度传感器于一体，这里翻译为“进料头”。——译者注

1.2.1 笛卡儿机械

3D 打印机的核心灵感来源于笛卡儿机械，这种机械可以沿着三个直线方向移动，分别是 X 轴、Y 轴和 Z 轴，这种坐标系称为笛卡儿坐标系。要做到这一点，这些 3D 打印机必须使用具有较高精度和准度的小型步进电机，通常是每步 1.8 度，再通过细分控制步进电机使其精度达到 1 毫米。三轴机械像其他计算机数字控制（CNC）设备一样能够沿着线性轴运动，在指定的位置上让热熔塑料进料头挤出加热的塑料丝，然后通过沉积塑料丝的方式绘制 3D 物品的某一层形成薄层。本书中所有的 3D 打印机都是通过同步带和同步轮沿 X 轴和 Y 轴提供快速而精确的定位，Z 轴则大多数使用螺纹杆或丝杆来精准定位。

虽然这听起来很复杂，但事实真的没那么复杂，因为几乎所有厂家生产的 DIY 3D 打印机都是用这种标准化的组件组装而成的。在某种程度上，多年来艰苦的工作，从一无所知到今天制造出如此出色的 3D 打印机，我们要感谢开放和共享的社区，它们对设计和改进的自由共享进一步提高了 3D 打印机的技术。

1.2.2 热熔塑料进料头

笛卡儿坐标系统为 3D 打印机提供了精确的线性定位，而加上一个进料头我们就能够挤出细的热熔丝——一种加热后会变软呈半流体状的塑料。热熔塑料进料头如图 1-2 所示，可以说它是 3D 打印机中最复杂的部分了，而且现在还在不断地改进，这部分由两个关键的部分组成：挤丝驱动器和热熔加热头。

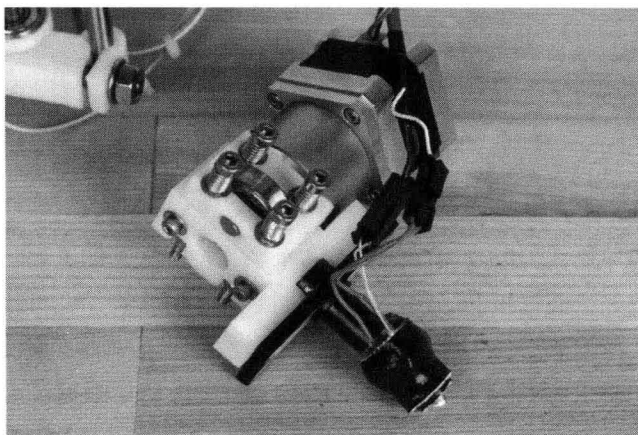


图 1-2 完整的热熔塑料进料头（带挤丝驱动器和加热头）

挤丝驱动器通过齿轮驱动机构拉动绕在线轴上的热熔丝，热熔丝的直径通常是 3 毫米或 1.75 毫米。大部分情况下，挤丝驱动器通过一个步进电机来控制进入加热头的流量，为了增加驱动力，这些电机通常连接一个打印的齿轮或者一个变速箱，如图 1-2 所示。

热熔丝由挤丝驱动器拉动进入进料头，然后送到加热头。加热头通常是与进料头的其余部分隔热的。它由一大块铝块、嵌入式加热器件或其他加热组件以及一个温度传感器构成，当热熔丝到达加热头，就会被加热到 $170 \sim 220^{\circ}\text{C}$ ，加热的温度取决于你使用的热熔丝种类。一旦热熔丝变成半流体状态，就会通过加热头下方 $0.35 \sim 0.5$ 毫米直径的开口流出，并在打印托盘上绘制当前所打印层的外围轮廓或者根据填充方式进行内部填充。

1.2.3 打印托盘

打印托盘是你用 3D 打印机打印东西的平台，每一种打印机的打印托盘大小可能都不一样，大小从 100 平方毫米到 200 平方毫米不等，介于 4 英寸到 8 英寸，或者更大。现在市场上大部分的个人 3D 打印机会提供一个能自加热的打印托盘（如图 1-3 所示），要么是标配要么是选配，如果你想自己做一个也不是什么难事。在 3D 打印机中，打印托盘用来防止打印物品在冷却时变形或开裂，同时保证物品的底部牢牢地粘在打印托盘上。

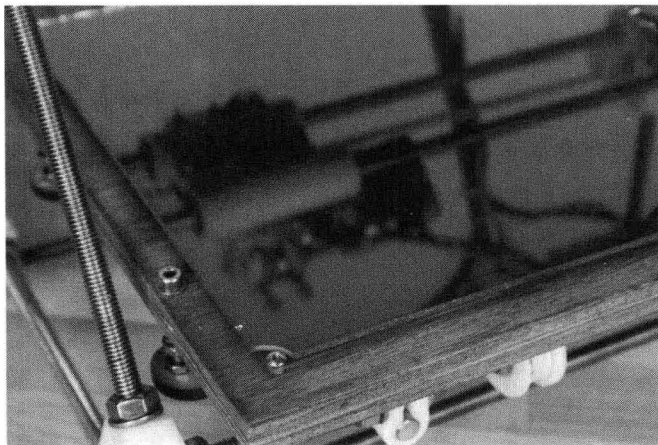


图 1-3 可加热的打印托盘

为了保证良好的导热性，以及表面的平滑和水平，打印托盘的上面一层通常是玻璃或铝板，玻璃的光滑性更好，而铝板的导热性更好。同时为了防止物品在打印过程中从托盘上掉下来，根据打印时使用的热熔丝不同，在托盘表面通常会贴一种价格便宜、可定期更换的胶带，胶带的材质包括 Kapton 类的聚酰亚胺胶带或 PET 类的聚酯胶带，甚至是在硬件商店里各种蓝色的纸胶带。

1.2.4 直线运动导轨

3D 打印机采用的直线运动导轨系统（或者说是允许各个轴运动的机械部件）决定了打印机的精度、速度以及设备长时间工作时的维护成本。大部分个人 3D 打印机每个轴向上都使