

Apress®



奥松机器人
www.alsrobot.cn



中国3D打印网
www.3Ddayin.net

爱上3D打印

3D Printing

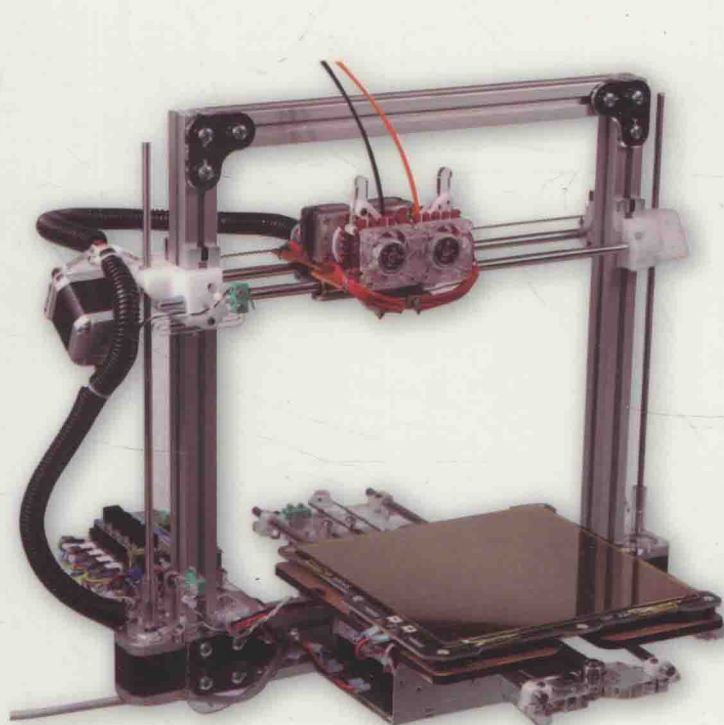
3D 打印 技术指南

Mastering
3D Printing

建模、原型设计与打印的实战技巧

[美] Joan Horvath 著

张佳进 张悦 谭雅青 陈立畅 孙超 杨彦鑫 阳厚森 译



中国工信出版集团



人民邮电出版社
POSTS & TELECOM PRESS

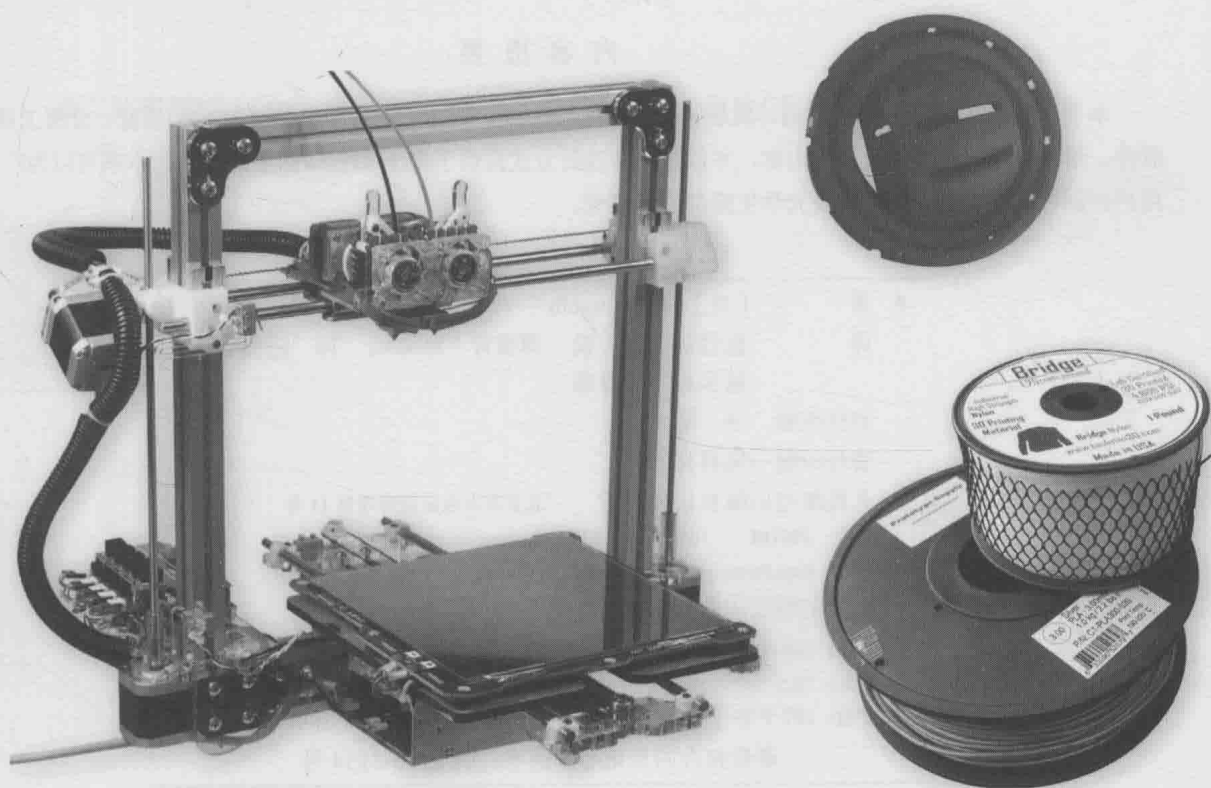
3D 打印 技术指南

Mastering
3D Printing

建模、原型设计与打印的实战技巧

[美] Joan Horvath 著

张佳进 张悦 谭雅青 陈立畅 孙超 杨彦鑫 阳厚森 译



人民邮电出版社
北京

图书在版编目(CIP)数据

3D打印技术指南：建模、原型设计与打印的实战技巧 / (美) 琼·霍瓦特 (Joan Horvath) 著；张佳进等译. — 北京：人民邮电出版社，2016.7

(爱上3D打印)

ISBN 978-7-115-42469-3

I. ①3… II. ①琼… ②张… III. ①立体印刷—印刷术—指南 IV. ①TS853-62

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第110301号

版权声明

Mastering 3D Printing By Joan Horvath, ISBN: 978-1-4842-0026-1.

Original English language edition published by Apress Media. Copyright © 2014 by Apress Media.

Simplified Chinese-language edition copyright ©2016 by Post & Telecom Press.

All rights reserved.

本书简体中文版由 Apress Media 授权人民邮电出版社出版发行，未经出版社书面许可，不得以任何形式重制本书内容。版权所有，侵权必究。

内 容 提 要

本书介绍了3D打印技术的起源、发展和现状，详细讲解了桌面级3D打印机的结构、3D模型、分层工具、应用软件、熔丝材料以及使用技巧等内容，并以图文并茂的方式提供了多个3D打印的实战案例。本书可以为广大普通用户、创客、制作达人以及高校大学生提供一些参考。

-
- ◆ 著 [美] Joan Horvath
译 张佳进 张悦 谭雅青 陈立畅 孙超
杨彦鑫 阳厚森
责任编辑 马涵
责任印制 周昇亮
- ◆ 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>
三河市海波印务有限公司印刷
- ◆ 开本：800×1000 1/16
印张：12.5 2016年7月第1版
字数：297千字 2016年7月河北第1次印刷
- 著作权合同登记号 图字：01-2015-3954号
-

定价：59.00元

读者服务热线：(010)81055339 印装质量热线：(010)81055316

反盗版热线：(010)81055315

广告经营许可证：京东工商广字第8052号

关于作者



谨以此书献给 MacCalla 和 Jacqueline Caesar，是他们让我懂得了教育的真谛。

关于作者



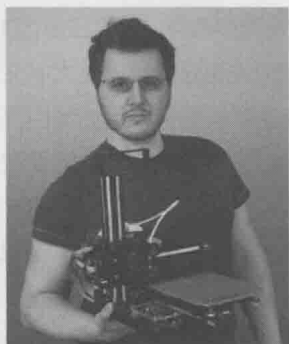
Joan Horvath 是一位工程师、教育工作者以及管理顾问。她曾经是 3D 打印机创业公司 Deezmaker 的管理团队成员。同时她也是美国国立大学文学和科学学院的核心客座教师，她在线教授的是交叉学科研究项目。她也在南加州和网上为一些机构讲授大学层次的课程，同时也参与一些企业的投资活动。

在成为企业家之前，在美国航天局/加州理工学院喷气推进实验室度过了她职业生涯的第一个 16 年。期间，她的工作涉及多个项目，包括技术转化办公室、麦哲伦金星飞行器、Topex/Poseidon 海洋地理测量卫星，并在一个项目中，承担了技术开发工作，探索木星的卫星木卫二上冰雪覆盖的海洋的情况。

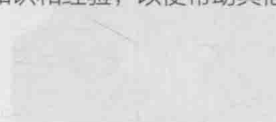
Joan 分别持有麻省理工学院的宇航工程本科文凭和加州大学洛杉矶分校的工学硕士学位。她与人合著了一本与土星有关的图书，并撰写了一部科学家实际上应该做什么的作品。同时她单独或与人合作发表了一系列的技术文章。她参与了许多志愿者活动，常常扮演发起人的角色。她目前和过去的一些职位包括：MIT Class of 1981 学生援助基金的负责人、南加州 MIT 俱乐部的联络副主席、第一个南加州地区机器人竞赛的裁判、加州理工学院的企业家论坛的执行委员会成员、Huntington 图书馆的园林讲解员以及位于圣马力诺的艺术品收藏和植物园的植物志愿者委员会成员。她和宇航员的丈夫住在帕萨迪纳，家里拥有大量藏书。

关于技术审定者

关于技术



Rich Cameron (网名“Whosawhatsis”)是Deezmaker公司3D打印机领域负责研发的副总裁,同时还是Bukito便携式3D打印机的设计师。Rich是一位经验丰富的开源系统研发人员,在RepRap打印机开发社区是多年的核心成员。Rich个人搭建了一些初级的、经典的3D打印机,并从早期的机器中发掘出惊人的性能。当他不忙于提升自己的3D打印机各方面(从切片软件到固件和硬件)的性能时,他喜欢分享知识和经验,以便帮助其他人改进他们的打印机。



概述

3D 打印机已经存在将近 30 年了，但你可能从来不会想到 3D 打印机及其使用会像现在这样火爆。虽然一些领域的极端炒作在适当的时候会自动逝去，但 3D 打印技术确实能够采用新的思维方式来创造产品，特别是在个性化定制方面。与此前不同的是，可以利用低成本的 3D 打印机（价格从几百美元到几千美元不等），这些成本较低的打印机保证了前面的产品开发过程更加高效，同时能实现分布式制造。本书着重于这些桌面级打印机和它们的应用软件，尤其是那些软硬件设计免费在线共享的开源 3D 打印机。

3D 打印技术可以这样进行简单定义：逐层来构建物体，而不是加工它，也不是以你的方式用木料来设计物品或往模具中灌入液态物质来获得注射成型塑料零件。

从无到有的造物方式以其灵活性和绝对魔力给人们留下了足够的想象空间，且很显然这种令人感到神奇的用途将会继续流行若干年。

本书适合以下读者。首先，它是一部针对运行开源软件的桌面级 3D 打印机的自学教程。因为该领域的发展速度较快，所以，本书介绍的这些你所期望的软硬件细节内容已经不是最新的了。在本书中，你会多次见到这样的比喻，即把 3D 打印隐喻成烹饪。从烹饪的角度而言，你会发现本书倾向尽量不提供可以完全参照的食谱，而是从长远的角度教您如何烹饪。

本书也被打算用作教科书来完成一个学期的授课计划，或作为大学拓展系列证书的教材，这些证书涵盖了 3D 打印技术及应用，还有其在制造业中的创新应用。它也适合深入型 3D CAD 软件课程，其面向对工程和工业或产品设计感兴趣的学生。

同样，对于需要在 3D 动画或美术领域拓展技术的学生，本书也适合作为雕塑 3D 建模程序的深入学习的教材。

本书的第一部分（第 1 章至第 3 章）给出这些 3D 打印机的历史背景，讨论了硬件的工作原理并分享了一些关于开源和 DIY 运动培育了桌面级 3D 打印机产业市场的见解。

第二部分（第 4 章至第 8 章）是 3D 打印机的使用工作流程的详细教程：开发 3D 模型，使其切片分层，让打印机每次构建一层。同时第二部分也回顾了可用的材料以及一些案例。

第三部分（第 9 章至第 11 章）回顾了如何使用 3D 打印机和进行后处理来改善表面光洁度、创建较大的项目，或者甚至用其来铸造金属部件。第三部分包括了故障排除，或许你从中可以获得一些自信心来使用打印机。

最后，在第四部分（第 12 章至第 14 章）你将了解到教育工作者、科学家和其他人如何使用 3D 打印机，以及该领域的未来走向。

如果你是初次探索该领域，欢迎你的到来，希望本书能作为你的引路人。学习完本书后你要准备好接受挑战，和我们一起抒写 3D 打印的崭新篇章。

致谢

本书的完成离不开许多人的帮助、耐心和知识。尽管如此，我在这里要尝试，对那些没有提到的人致以诚挚的歉意。

首先，我要感谢 Deezmaker 3D 打印在加利福尼亚州帕萨迪纳市的全体人员。在这里，我第一次在他们的零售商店闲逛时了解到了 3D 打印机的魅力，后来我成为了团队的一员。Deezmaker 的总裁 Diego Porqueras 很慷慨地允许我使用这个团队开发的以及他自己创造的作品（封面照片中包含由 Diego 设计的一台 Deezmaker Bukito 3D 打印机以及支架）。在我绞尽脑汁思考如何解释一些概念的时候，Diego 也是一个很棒的头脑风暴伙伴。Deezmaker 的同事 Rich Cameron（本书技术审定者）也为本书贡献了宝贵的资源，他对这份手稿进行了彻底的审阅，并为我提供了与重要开源社区领导人的接触机会。Deezmaker 的 Metalnat Hayes 提供了一些创建 3D 建模的专业知识，并传授我用这句有用的习语“测试用例”来形容事情才刚开始就遇到了麻烦事。

如果没有开源社区，这个领域不会是现在的状态。我感谢 Kevin Pope 和其他 MatterHackers 的支持。他们提供了在第 8 章使用的 MatterControl 软件的早期版本，以及在本书封面上的屏幕截图。Marius Kintel，OpenSCAD 软件的主要开发人员和维护人员，提供了慷慨的帮助。

许多人同意 3D 打印他们的设计或照片；这些都在使用的地方进行了致谢。许多人通过展示他们如何使用 3D 打印来提出好的意见和建议，我感激他们的支持，以及展示他们作品的许可。

国立大学的 Thomas MacCalla 和 Jacqueline Caesar 在早期鼓励我对 3D 打印的探索。如果没有那次探索，随后的冒险将不会发生。我还要感谢 Agid 艺术的 Nick Agid 与圣路易斯大学的 Michael Swartwout 让我对制造业感兴趣，以及帕萨迪纳城市学院的 Salomon Davila 提出了通过让学生制造物件以鼓励学生学习的观点。Mosa，Nancy 和 Coco Kaleel 以及 Ethan Etnyr、Karen Mikuni 和 Quin Etnyre 无意中给了我很多关于 3D 打印和其他技术将如何影响未来的年轻发明家的想法。

Press Production 团队让写作过程尽可能地舒服。我大部分时间直接与 Kevin Walter、Michelle Lowman、Anne Marie Walker、Douglas Pundick、Corbin Collins 和 Dhaneesh Kumar 打交道，但是我知道他们都站在我没见到的巨人的肩膀上。

最后，我要感谢所有听我倾诉挫折的朋友，特别是 Margo Kidushim、Paul Orlando 和 Lee Schwing。第一位要感谢的是我坚忍的丈夫 Steve Unwin，他容忍我追求完美的 3D 打印。谢谢大家！

——Joan Horvath

美国加利福尼亚州帕萨迪纳市

2014 年 8 月

目 录

第一部分 开源 3D 打印机

第 1 章 3D 打印简史	3
什么是 3D 打印	3
3D 打印机的类型	5
早期的自动 3D 打印机	6
实现技术	9
3D 打印机发展研究案例	9
总结	11
第 2 章 桌面级 3D 打印机	12
谁来使用桌面级 3D 打印机?	12
桌面级熔丝打印机的种类	14
组件 V.S.整机	17
3D 打印机的设计考量	17
机械工具或者计算机外围设备?	20
安全和通风	21
总结	21
第 3 章 开源	22
开源的基础	22
了解开源 3D 打印社区	26
为开源社区贡献自己的力量	30
总结	30

第二部分 3D 打印流程

第 4 章 制作 3D 模型	33
如何创建一个可以用 3D 打印机打印的模型?	33
扫描模型	34
下载和修改现有模型	36
创建一个新模型	37
设计考虑	44
总结	46
第 5 章 切分 3D 模型	47
什么是“切片”?	47
工具和技术	48
开始: 如何将物体切片	59
总结	62
第 6 章 打印机的驱动: G 代码	63
控制 3D 打印机	63
理解 G 代码	64
使用主机程序	65
开始打印	68
打印过程	69
正常结束打印	69
手动控制打印机	70
从 SD 卡运行	73
总结	74
第 7 章 材料的考量	75
熔丝质量控制	76
熔丝材料	81
多挤出机	84
总结	86

第 8 章 案例研究	87
简单打印	87
打印花瓶	96
打印一个复杂的对象的巧妙细节	98
在打印过程中使用支架	101
双挤出机	105
速度设置	108
总结	108

第三部分 3D 打印与传统原型设计

第 9 章 改用金属	111
砂模铸造流程	111
提前准备, 更好铸造	120
熔模铸造	123
熔模铸造 V.S. 金属打印	125
寻找铸造服务	125
总结	125

第 10 章 大型打印和后期处理	126
打印计算复杂的对象	126
打印大型物体	127
砂光、化学平滑、绘制、染色	129
总结	132

第 11 章 故障排除	133
敲击或摩擦的噪声	133
环境问题	134
打印机内部水平问题	136
完成不需要粘贴打印平台的打印品	137
喷嘴堵塞的解决方案	138
消除拉丝	141

软件升级	142
总结	142

第四部分 使用打印机

第 12 章 课堂内的打印机

教学设计、工程和艺术	145
动手历史	148
有特殊需要的学生	155
课后活动	156
早期使用者的经验	158
总结	158

第 13 章 科学可视化

可视化的分子生物学	159
可视化数学抽象	161
3D 打印的其他科学用途	166
总结	166

第 14 章 未来

技术发展趋势	167
新兴的 3D 打印应用	170
发展中的世界	173
3D 打印业务	174
总结	175

附录 A 典型的打印机设置

Slic3r 的典型设置	176
Cura 设置的差异	181

附录 B 链接和资源

第 1 章 3D 打印简史	182
第 2 章 桌面级 3D 打印机	182

第3章 开源.....	182
第4章 制作3D模型.....	183
第5章 切分3D模型.....	183
第6章 打印机的驱动: G 代码	184
第7章 材料的考量	184
第8章 案例研究.....	184
第9章 改用金属.....	184
第10章 大型打印和后期处理.....	184
第11章 故障排除	184
第12章 课堂内的打印机.....	185
第13章 科学可视化.....	185
第14章 未来	185
聚焦3D打印的媒体网站	186

第一部分



开源 3D 打印机

本书第一部分将会为你介绍开源 3D 打印机。用户选择一款开源、可控制设计的诸多考量以及这些考量背后的设计原理是开篇 3 章的主旨。

第 1 章介绍了 3D 打印简史，着重于桌面级 3D 打印。第 2 章讨论了这些打印机的工作方式以及该技术出现多点突破的原因。第 3 章则是从开源精神展开，讲到如果成为 3D 打印机社区的一员会有什么利弊。

3D 打印简史

3D 打印技术正在被铺天盖地的宣传包裹着，因为未来极有可能在美国（或者说全世界）引领一次制造业的文艺复兴，也是因为这门技术使得每个人都突然有能力在他们自己的作坊里运行自己制造的设备。在很多领域中，3D 打印技术正在真正地创造革命性的变化，特别在设计与新产品原型开发、艺术品创作，以及抽象概念可视化等方面。

但是，3D 打印依然是相当复杂的技术，而且很多使用者还处在入门阶段。在本书中，我们将会尝试尽可能地以一种简单的方式构建 3D 打印机，同时依然会给予你足够的思路去创建复杂的项目。

本章将会简略回顾 3D 打印技术的历史，当然重点主要集中在开源消费型 3D 打印机技术上。在第 2 章，我们将会深入探讨消费型 3D 打印技术与其实现的细节。在第 3 章，我们将会讨论开源软件环境和文化，以及这个领域的发展趋势。

什么是 3D 打印

从概念上来讲，3D 打印技术是非常容易理解的。一个打印物品的创建是从零开始通过每轮打印添加一层材料的方式实现的，直到你的作品完成。这个过程有很多自然界的示例，在上千年的发展过程中，很多初级技术都使用了新名称，例如堆砌砖墙。

目前 3D 打印的繁荣景象确实是由许多技术与成熟工艺的融合与发展的结果，然而在本章也包含了一些重要的技术和商业环境创新，它们使得 3D 打印技术能够被公众使用。为了给读者直观地展示 3D 打印技术工作方式，我们将从与其非常相似的自然生物制造过程开始。

大自然的 3D 打印技术

3D 打印看起来是一种高大上的先进技术，但是很多微生物在亘古之前就已经在做着同样的事情。比如说许多天然的 3D 打印机包括了软体动物生成的贝壳（见图 1-1）。随着它们体型的增大，软体动物开始在它们贝壳的外部添加碳酸钙，以给予生长的生物更大的内部空间。如果你仔细观察海贝贝壳的话，你会看见其上的生长曲线。

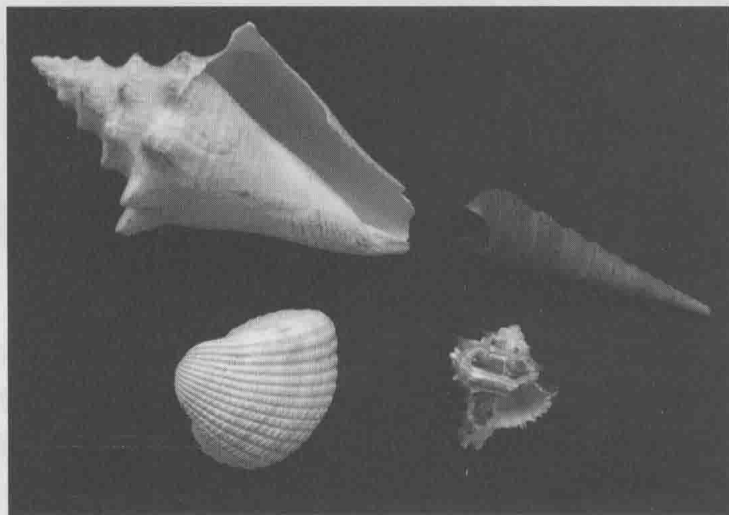


图 1-1 贝类为天然“3D 打印”出来的产品

当生长线变得越长和越宽，外壳就会变得更薄，外壳是由动物环境中的物质分泌和凝结形成的，而不是由类似本书将要提到的打印机的喷嘴喷射生成的，但其结果非常引人注目。详见 www.scientificamerican.com/article/how-are-seashells-created。

相似地，在美国南部，有很多岩石是通过古海洋淤泥累积之后形成的，最后我们看到的砂岩是已经被风雨侵蚀、被植被改造过的样子。图 1-2 所示的岩石就是经历过初期材料一层一层地积累，然后被自然因素进行了一定程度的侵蚀。

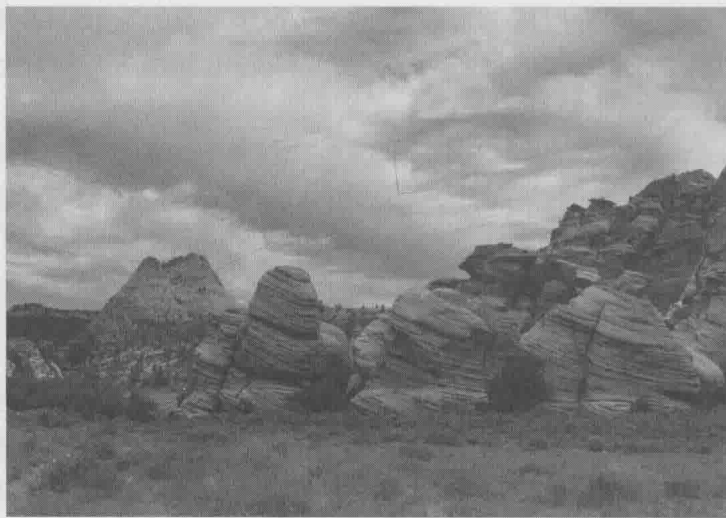


图 1-2 美国锡安山国家公园的另一个自然 3D 打印案例，该图已获得 Niles Ritter 授权

当人们观察自然形成过程的时候（就像图 1-1 所示的海贝或者像图 1-2 所示中的砂岩），有些读者