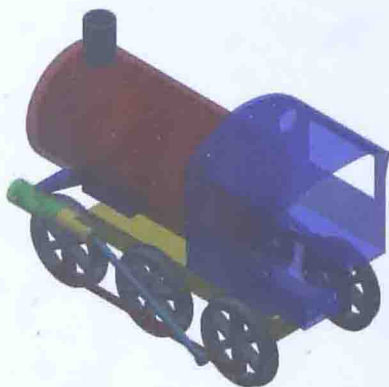




资深3D产品工程师多年经验结晶，全方位讲解3D打印的基本概念、方法和最佳实践  
包含大量典型案例分析，全面覆盖Autodesk 123D、AutoCAD与Inventor常用3D打印技巧



3D打印  
技术丛书



*3D Printing with Autodesk*

*Create and Print 3D Objects with 123D,  
AutoCAD and Inventor*

# 3D打印

## 应用Autodesk 123D、 AutoCAD和Inventor创建和 打印3D模型

[加] John Biehler Bill Fane 著  
陈启成 译



机械工业出版社  
China Machine Press

*3D Printing with Autodesk*

*Create and Print 3D Objects with 123D,  
AutoCAD and Inventor*

# 3D打印

## 应用Autodesk 123D、 AutoCAD和Inventor创建 和打印3D模型

[加] John Biehler Bill Fane 著

陈启成 译



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

3D 打印: 应用 Autodesk 123D、AutoCAD 和 Inventor 创建和打印 3D 模型 / (加) 比勒 (Biehler, J.) 等著; 陈启成译. —北京: 机械工业出版社, 2015.1

(3D 打印技术丛书)

书名原文: 3D Printing with Autodesk: Create and Print 3D Objects with 123D, AutoCAD and Inventor

ISBN 978-7-111-48987-0

I. 3… II. ①比… ②陈… III. 立体印刷-印刷术 IV. TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 303276 号

本书版权登记号: 图字: 01-2014-4446

Authorized translation from the English language edition entitled 3D Printing with Autodesk: Create and Print 3D Objects with 123D, AutoCAD and Inventor by John Biehler and Bill Fane, published by Pearson Education, Inc, publishing as Que, Copyright © 2014 by Que Publishing.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced or transmitted in any form or by any means, electronic or mechanic, including photocopying, recording, or by any information storage retrieval system, without permission of Pearson Education, Inc.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2015 by China Machine Press.

本书中文简体字版由美国 Pearson Education 培生教育出版集团授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

## 3D 打印

### 应用 Autodesk 123D、AutoCAD 和 Inventor 创建和打印 3D 模型

出版发行: 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: 秦 健

责任校对: 殷 虹

印 刷: 中国电影出版社印刷厂

版 次: 2015 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm × 240mm 1/16

印 张: 11.25

书 号: ISBN 978-7-111-48987-0

定 价: 69.00 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

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

最近3年来,“3D打印”这个名词逐渐进入了公众视野。经过媒体推介,人们对于这个原本应用于工业领域中的快速成型生产方式已渐渐熟悉和接受了。3D打印有多种成型方式,目前,人们能够接触到的主要是FDM和SLA,这要归功于桌面型机器不断涌现,机器价格和耗材价格不断走低。而SLS仍是工业领域中的主要成型方式,其他类型的成型方式目前还不普及。

3D打印能颠覆制造业么?这个问题不好预测,我个人认为在今后的一段时间内,它主要还是应用于设计环节,是整个生产环节的一部分。它能够大大缩短产品的设计周期,同时改变部分领域的设计流程。在普及应用3D打印的进程中,很多行业的软件开发都有新的突破,简单易用的3D可视化是大的趋势,如工业设计、服装设计、珠宝设计等。

对于普通人来说,专业设计软件太复杂。那么,这个群体该如何体验3D打印的乐趣呢?软件行业巨头Autodesk顺应时代潮流,于2012年推出了Autodesk 123D系列软件,Autodesk 123D系列有6个应用程序,包括123D Catch、123D Creature、123D Design、123D Make、123D Sculpt以及Tinkercad。该系列软件为用户提供生成3D模型的多种方式:用最简单直接的拖曳3D模型并进行编辑的方式进行建模;或者直接将拍摄好的数码照片在云端处理为3D模型;如果喜欢自己动手制作,123D系列软件同样为爱动手的用户提供了多种方式来发挥自己的创造力。不需要复杂的专业知识,任何人都可以轻松使用123D系列产品(稍微遗憾的是,该系列产品目前还只有英文版)。

本书主要讲解了Autodesk 123D系列软件中的3个软件:123D Creature、123D Catch和123D Design,还用到了专业设计软件Autodesk Inventor。至于后者,国内应用的人不多,与SolidWorks类似,如果是专业的需求,SolidWorks应用更广泛一些。就普通玩家而言,123D Design基本上能够满足设计需求。

本书作者有二十多年的教学实践经验,他们用非常巧妙的思路清晰地解释3D打印这样一件如此复杂的事情。软件操作部分写得非常有条理,很容易让人接受。这是本很好的3D打印入门读物。实践出真知,跟随着本书作者的讲解,逐步操作,你将会对3D打印有个全面的认识。3D打印其实并不神秘,它就在你身边。

本书翻译时间有限,不足之处在所难免,希望广大读者提出宝贵意见,以帮助完善本书。

## 作者简介 *About the Author*

John Biehler 自 1999 年以来，他就在网上撰写有关技术方面的文章。他是一个狂热的摄影师和普通的极客，数年前，他开始探索 3D 打印领域。此后不久，他制作出了自己的第一台 3D 打印机。从那时起，他通过电视、广播、自己的网站，以及在加拿大西部和太平洋西北地区参加各种活动和会议，一直积极地与成千上万的人分享有关技术方面的知识。他与人合伙创办了一个 3D 打印机制作者和发烧友的温哥华区域组织，从成立至今成员已成倍增长，他也成为主流的技术带头人。

Bill Fane 是英属哥伦比亚省温哥华市的 Weiser Lock 公司的一名产品工程师，然后担任产品工程经理。他在该公司工作了 27 年，拥有 12 项美国专利。他将 AutoCAD 2.17g (1986) 和 Inventor 1.0 测试版 (1996) 及其后续版本用于设计工作。他是一位退休的专业工程师，也是欧特克授权培训中心 (ATC) 认证的讲师。从 1996 年开始，他在温哥华的哥伦比亚理工学院 (BCIT) 教授机械设计，课程包含如 AutoCAD、Mechanical Desktop、Inventor、SolidWorks、机械设计、学期设计、机械制造工艺和设计程序。2008 年，他从这个学院退休。他从 1995 年开始在 Autodesk 大学就各种各样的 AutoCAD 和 Inventor 主题做演讲，从 2003 年开始在 Destination Desktop，他也开始举办类似演讲。他是 AUGI CAD 训练营制造跟踪方面的国家队教练。自 1986 年以来，他为 CADalyst 杂志的 AutoCAD 教程栏目撰写了超过 220 篇“学习曲线”。他现在是《AutoCAD for Dummies》的作者。他还为《CADalyst》、《Design Product News》和《Machine Design》杂志撰写软件产品评论。他还是温哥华 AutoCAD 用户协会的活跃成员。在业余时间，他爱好滑雪、滑水、风帆冲浪、斯库巴潜水、驾驶霍比海猫帆船航行、骑越野摩托车、驾驶他的 '37 劳斯莱斯豪华轿车或妻子的 '89 宾利 Turbo R，同妻子一起到处旅游，有时和他的孙子辈一起玩耍。

## *Acknowledgements* 致 辞

John Biehler：我想把本书献给 Kelli Smith，当我在餐桌上制作第一台 3D 打印机时，她耐心地在旁边观看。自从我使用打印机打出第一个打印模型后，她一直支持我在 3D 打印领域的努力。

Bill Fane：献给我的妻子 Bev，在我们结婚 48 年后，她仍然能够包容我。

### 致谢

John Biehler：我想要致意并感谢 3D604.org、温哥华的骇客空间，还有西雅图的 Metrix Create:Space 中的朋友和成员。没有他们的帮助、友谊和愿意分享他们的知识，我是不可能参与到本书的编写之中的。

# 目 录 Contents

译者序  
作者简介  
致辞

## 第一部分 3D 打印入门

第 1 章 3D 打印的兴起	2
第 2 章 3D 打印的基本原理	5
2.1 3D 打印的工作原理	5
2.1.1 用于 3D 打印的分层方法	6
2.1.2 每一层的打印时间	10
2.2 3D 打印机的两种基本类型	12
2.2.1 沉积型——沉淀这个物体	12
2.2.2 熔融型——使用这种材料， 把它们粘接起来	13
2.2.3 叠加起来：3D 打印的 第三种过程	13
2.3 3D 打印工艺的优缺点	13
2.3.1 沉积型打印机的优缺点	14
2.3.2 熔融型打印机的优缺点	15
2.4 总结	15

## 第二部分 使用 123D 工具

### 第 3 章 iPad 版 3D 建模工具 123D

**Creature**..... 18

3.1 创建生物模型	18
3.1.1 添加骨骼和关节	20
3.1.2 雕刻生物模型	21
3.2 使用控制选项进行工作	23
3.3 总结	28

### 第 4 章 使用数码相机和 123D Catch   创建 3D 模型

4.1 拍摄物体	30
4.2 修正模型	32
4.2.1 重定向模型	34
4.2.2 修复模型	35
4.3 总结	37

### 第 5 章 123D Design iPad 版

5.1 123D Design 的界面	40
5.1.1 基本几何体	40
5.1.2 零件套件库	41

5.1.3 对象编辑工具 .....	50	8.4 总结 .....	93
5.2 项目 / 文件菜单选项 .....	51	<b>第 9 章 准备用于打印的 3D 模型</b> .....	94
5.2.1 项目和画廊 .....	52	9.1 打印 3D 模型所用的代码 .....	94
5.2.2 其他支持 .....	52	9.2 比例和尺寸 .....	97
5.2.3 保存到云端 .....	53	9.3 流形几何体 .....	98
5.2.4 摄像机视图 .....	53	9.4 定向 .....	100
5.3 总结 .....	54	9.4.1 添加支撑材料 .....	100
<b>第 6 章 123D Design iPad 版设计练习</b> .....	55	9.4.2 将模型恰当的面放置到 打印床上 .....	101
6.1 创建新项目 .....	55	9.4.3 确认打印方向 .....	102
6.1.1 缩放和平滑边缘 .....	57	9.5 总结 .....	102
6.1.2 应用倒角工具 .....	59		
6.2 操作现有项目 .....	61	<b>第三部分 使用 AutoCAD 和 Inventor 进行 3D 打印</b>	
6.2.1 对齐模型 .....	64		
6.2.2 完成模型 .....	66	<b>第 10 章 曲面模型与实体模型之间 的差异</b> .....	104
6.3 发送文件到 3D 打印机 .....	67	10.1 关于 CAD 实体模型的实质 .....	104
6.4 总结 .....	68	10.2 动画 3D CAD 模型 .....	106
<b>第 7 章 123D Design Mac 和 PC 版的 工作区基础</b> .....	69	10.3 展示一些表面模型 .....	108
7.1 123D Design 模板 .....	70	10.4 AutoCAD 与 Inventor .....	110
7.2 启动一个新项目 .....	71	10.5 总结 .....	110
7.2.1 工具栏控制选项 .....	72	<b>第 11 章 使用 3D 打印的原因及方法</b> .....	111
7.2.2 菜单选项 .....	72	11.1 可能会出错地方 .....	111
7.3 总结 .....	77	11.2 使用 3D 打印进行小批量生产 .....	115
<b>第 8 章 123D Design Mac 和 PC 版 设计练习</b> .....	78	11.3 使用 3D 打印制造金属零件 .....	115
8.1 设计练习: 创建咖啡杯 .....	78	11.4 允许收缩 .....	116
8.2 制作杯手柄 .....	82	11.5 总结 .....	116
8.3 练习: 创建一个名片盒 .....	88		

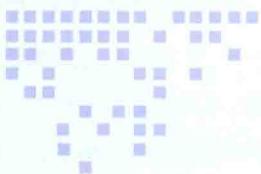


<b>第 12 章 设计易于打印的零件</b> .....	117	14.2.2 使用 STL 文件转换 CAD 模型	141
12.1 设计与制造：了解工艺.....	117	14.3 一些事情完全是呆板的.....	141
12.1.1 我们可以用复杂的方法来解决.....	118	14.3.1 STL 文件格式说明.....	141
12.1.2 或者我们可以用简单的方法 完成这件事.....	119	14.3.2 使用 G-Code 传递 STL 文件.....	144
12.2 有用的提示，以尽量减少问题.....	120	14.4 总结.....	145
12.2.1 细节的尺寸.....	120		
12.2.2 没有有形的支撑.....	120		
12.3 创建实用的可 3D 打印的螺纹.....	123		
12.4 大对象的 3D 打印解决方案.....	124		
12.5 总结.....	125		
<b>第 13 章 为打印预装配组件设计   组合模型</b> .....	126		
13.1 打印机分辨率对零件的影响.....	126		
13.2 解决干涉问题.....	129		
13.2.1 AutoCAD 独有的问题.....	129		
13.2.2 滚珠轴承和滚柱轴承的问题.....	130		
13.3 应用 3D 打印零件之前的注意 事项.....	131		
13.4 总结.....	133		
<b>第 14 章 输出模型到 3D 打印机</b> .....	134		
14.1 输出 STL 文件.....	134		
14.1.1 使用 Inventor 来输出文件.....	134		
14.1.2 使用 AutoCAD 来输出文件.....	136		
14.1.3 缩放.....	136		
14.1.4 可选项.....	137		
14.2 查看 STL 文件.....	139		
14.2.1 Inventor 2013 用户，不要在 家中尝试做这件事.....	140		
		<b>第四部分 使用第三方 3D 打印服务</b>	
		<b>第 15 章 利用 Inventor 直接到第三方   3D 打印服务商处打印</b> .....	148
		15.1 连接到第三方打印服务商.....	148
		15.2 更多 Inventor 的 STL 输出选项.....	151
		15.2.1 3D 打印预览的按钮栏选项.....	153
		15.2.2 使用装配体一体文件的选项.....	155
		15.3 总结.....	157
		<b>第 16 章 利用第三方 3D 打印服务商</b> .....	158
		16.1 使用第三方服务商的原因.....	158
		16.1.1 服务商设备的性能.....	159
		16.1.2 第三方服务行业中的玩家.....	159
		16.2 上传 3D 打印项目到第三方 服务商.....	159
		16.3 价格和材料选项.....	164
		16.4 总结.....	167
		<b>第 17 章 3D 打印的未来</b> .....	168
		17.1 Bill 预测的未来趋势.....	168
		17.2 John 预测的未来趋势.....	170
		<b>后记</b> .....	171

## 第一部分 Part 1

# 3D 打印入门

- 第1章 3D 打印的兴起
- 第2章 3D 打印的基本原理



Chapter 1

第 1 章

## 3D 打印的兴起

18 世纪晚期一直到 19 世纪中叶的工业革命，造成了社会和经济结构的彻底改变，这是一场如此彻底的变革，分析人士甚至在这几十年前，也没有看出它即将到来。


在此之前，农业占据了超过 90% 的人口，个体制造了几乎所有的人造物体。事实上，在大多数情况下，谁制造了产品，谁就是该产品的最终用户。

工业革命开始了从手工制作产品向机器生产产品的转变，并使用煤炭代替了木材，采用了化工新工艺，还有精炼铁和炼钢新工艺。

这一直持续到 21 世纪的早期，当阅读这本书时，看看你的周围有多少种物品，如果有，你能否看出它们是否是手工制作的？有多少，如果有，是你制作的吗？

在制造业这场革命意味着今天生活在工业化国家里的普通民众，要比不到一个半世纪前的帝王生活得更好。如果你正坐在马桶上读这本书，请注意抽水马桶也只有 150 年的历史。

---

 维多利亚女王拥有了第一个抽水马桶。她的水暖工是 Thomas (后期的“Sir Thomas”) Crapper，因此有了“拉大便”（不受牵制，不受利用；不替人收拾残局等）这句话的由来。

---

1984 年，Charles Hull 发明了 stereolithography (立体光刻，又称为光固化) 技术，源自希腊词语 stereo (实体)、litho (石头) 和 graphien (写) 的组合。光固化实际上是一个比 3D 打印更科学的术语。在相当短的时间内，光固化逐步成为像工业革命一样的革命——而且，不，与流行的看法相反，并不是 Jay Leno 发明了光固化技术，虽然在电视剧《Jay Leno's Garage》中展示了他使用这种技术复制他所收藏的多辆汽车之一的零件。

光固化仅是曾经用来描述 3D 打印的一个术语。在它逐渐演变的短短时间内，也曾使用了几个命名，包括快速成型制造（rapid prototyping）、增材制造（additive manufacturing）和快速制造（rapid manufacturing）。就个人而言，我更喜欢 Captain Kirk 和他的公司的命名，称为“物质复制机”（matter replicator），不过对于本书，我们会沿用 3D 打印（3D printing）这个术语。

## 3D 打印将改变世界

那就是似曾相识的事情重演一遍。像其他革命一样，3D 打印将要彻底改变生活方式，比想象的更快。不再需要去商店，只需要上网，购买一个文件，将它下载到你的打印机中，就会打印出来想要的物体。如果找不到特别喜欢的东西？没有问题，只需要自己设计一个并将它打印出来。需要婚礼、周年纪念、生日聚会或公司事件的个性化纪念品？当然也没有问题。正在修复的老爷车需要一部分配件吗？只要拍摄 20 ~ 30 张数码照片，并把它们上传到一个免费的网站，不到一分钟，你就会收到一个 3D 模型的文件，把这个文件发送给 3D 打印机就可以打印出来。

➡ 浏览第 4 章，看看用 3D 打印创建出的零件的一些照片。

即使我们并没有源于《Star Trek》（星际迷航）系列中的物质复制机，但拥有移动“传播者”，我们称为手机（cell phone）。用手机能够看到其他人员，在几年前还是科幻小说，而今天我们经常能在洲际之间 Skype（免费通话）。

我出生在 20 世纪 40 年代初，从那时起，科技变化的速度相当惊人。在当时，并不存在或者还没有大规模应用的发明如下：

- 喷气发动机
- 大多数塑料制品
- 彩色电视
- 晶体管、集成电路和计算机芯片
- 计算机
- 人造卫星
- 信用卡
- 电子手表
- 有线电视
- 录音带
- VCR、CD、DVD
- 传真
- 手机

□ 因特网

□ 数码相机

许多人的年龄可能不够大，不会记得还没有上面所列的一些项目的世界。当身处其中时，就会看到它们当中的一些项目是如何产生和消亡的。如果还认为从3D打印到《Star Trek》中的复制机的跨越是不着边际的，这里有一些小花絮，有助于从变化速率的角度来观察：

□ 在莱特兄弟试验飞行前20年出生的人，可能会活着看到人类在月球上行走。

□ 与美国航空航天局（NASA）把人类送上月球时所拥有的计算能力相比，手机拥有更强大的计算能力。

□ Xbox 游戏机引入后，它比那时最大的军用超级计算机拥有更强的计算能力。

依我之见，科幻小说作家今天所面临的最大问题，是要如何保持领先于技术变革。

考虑到这些变化，就很容易想象到3D打印将会如何改变我们的世界，这是迟早的事情。

在接下来的几个章节中，我们将会简要介绍关于3D打印的一些基本原理，随后是面向家庭爱好者的章节，然后是面向专业（AutoCAD 和 Inventor）人士的章节，最后提及了未来哪些事情将要变为现实。

1927年的电影《The Jazz Singer》是一部一夜之间改变了好莱坞的影片，其中 Al Jolsen 以“你还什么也没听到”开头。好了，紧紧跟随我吧，因为你还什么也没看到呢！

## 3D 打印的基本原理

所有 3D 打印都遵循相同的基本原理，不过，也有一些变种和亚变种。在本章，我们会讲解基本原理，随后会讨论一些变种。

### 2.1 3D 打印的工作原理

在能够进行 3D 打印物体之前，需要有物体的三维计算机模型。许多程序都可以用来制作合适的模型，例如，可以使用工程和设计软件，如 Autodesk 公司的 AutoCAD 或 Inventor、Dassault Systemes 公司的 SolidWorks 或者 Siemens PLM Systemes 公司的 Solid Edge 软件进行设计。

好了，可能买不起价值数千美元的工程设计软件，没有问题，可以在线使用 Autodesk 公司提供的免费软件，网址是 [www.123dapp.com](http://www.123dapp.com)。在这里，甚至有一个杀手级应用程序，叫做 123D Catch，它能够使用普通数码相机、平板电脑、手机等拍摄的 20 ~ 30 张数码照片来制作 3D 模型。

**注意**

你也可以从一些网站下载成千上万的现有模型。如果仅仅想立刻测试一台新打印机的性能，这可能是最简单的方法。另一方面，甚至不需要拥有 3D 打印机，因为现在有一些在线打印服务商。可以上传自己的模型，这很简单，就像在设计软件中点击一下“3D Print”（3D 打印）按钮一样，随后它们就会寄给你这个打印模型（当然会象征性地收费）。在后面的章节中，我们会探讨工程软件和 123D 软件。

## 2.1.1 用于3D打印的分层方法

3D建模软件的一个功能是，它能够创建3D模型的2D平面绘图，如图2-1所示。

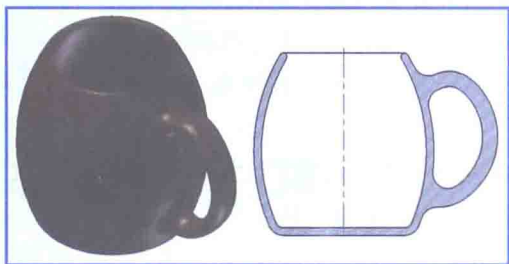


图 2-1 从3D模型得到的截面图

简单地说，这就是3D打印的本质，因为所有3D打印机基本上都用同样的方式工作。它们的软件利用在设计软件中设计好的3D模型，从模型的底部开始，创建一个只有一根头发丝厚的截面，然后使用固体材料，以一张纸的厚度，在平台上把模型打印出来。当打印头来回移动时，它会放下（吐出）一条非常窄的丝料，在每个往复之间也会有一个微小的侧移。



**注意** 所有品牌和型号打印机之间的唯一区别在于所用材料的类型以及打印方式的差异。在本章的后面会给出更多关于这方面的解释。

由于图2-1展示的杯子的打印序列过于复杂，因此我们将使用一个简单的字母H的模型进行说明。

图2-2中，用蓝色显示了第一层的前三条熔丝，同时黄色的打印头正在打印第四条熔丝，用绿色表示。在现实中，所有熔丝都是同样的颜色，且没有黑边。添加黑边和绿色是为了使熔丝更加突出。

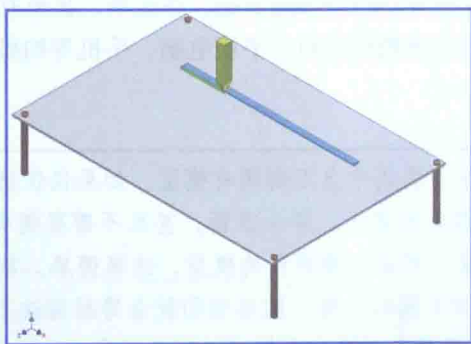


图 2-2 正在打印第四条熔丝

图 2-3 显示了第一层完成一半时的情形。打印头正在从右向左打印绿色熔丝。继续往下解释，图 2-4 显示了已打印完的第一层。

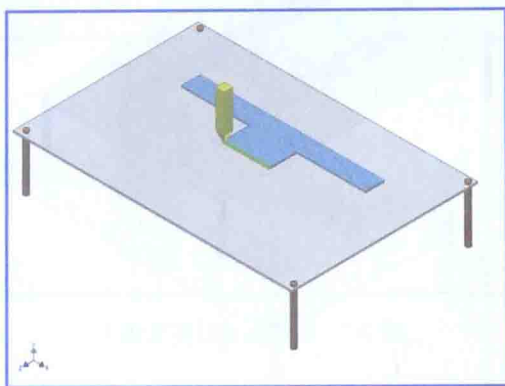


图 2-3 第一层已完成一半

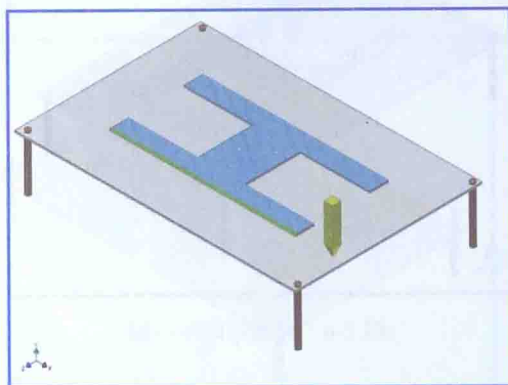


图 2-4 比斑马条纹还多的熔丝！第一层已打印完成

打印机降下平台，连同在它上面的第一层，降下的量等于第一层的厚度，同时使用同样的值，向上移动 3D 模型中的切片 (cutting plane)。然后，在之前的层上面开始打印新的截面，如图 2-5 所示。

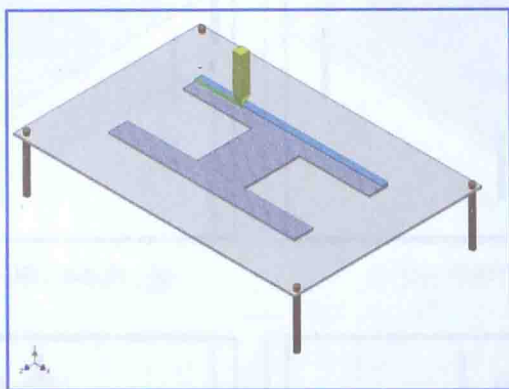


图 2-5 开始打印下一层

**提示** 为了清楚起见，我再一次改变了颜色。熔丝的边际保留了黑色，当前打印的熔丝保留了绿色，并且当前层保留了蓝色，但是先前的层改为浅灰色。

继续进行打印过程，图 2-6 显示了第二层完成一半的情形，图 2-7 显示了完成前两层的情形。



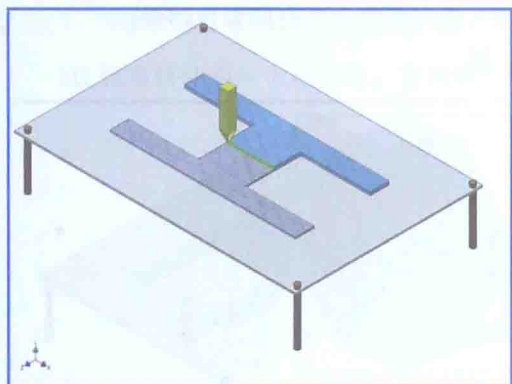


图 2-6 开始打印下一层

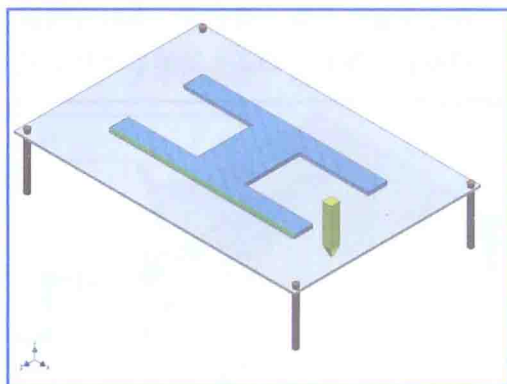


图 2-7 前两层已打印完成

一层接一层地重复执行打印过程，如图 2-8 ~ 图 2-19 所示，好像模型是在打印头下面向下生长一样。

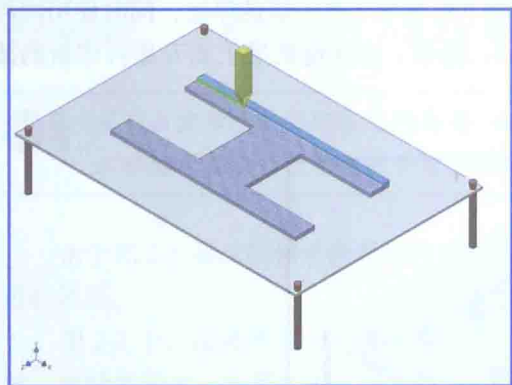


图 2-8 开始打印第三层

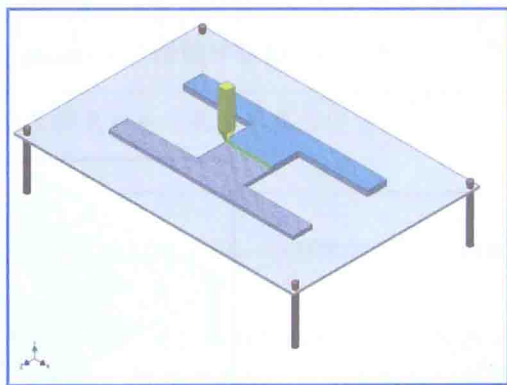


图 2-9 第三层已完成一半

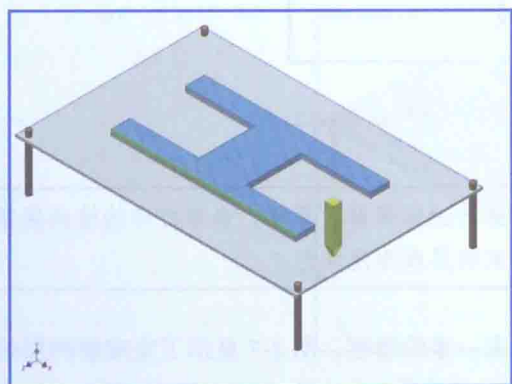


图 2-10 第三层已打印完成

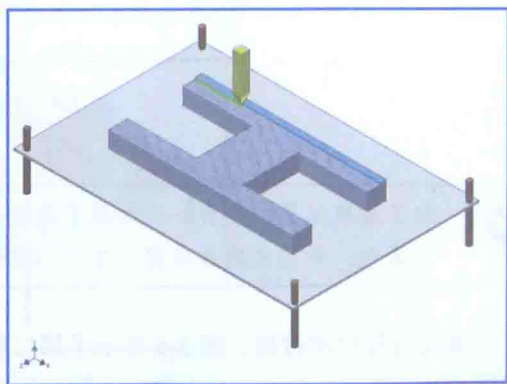


图 2-11 开始打印第十层