

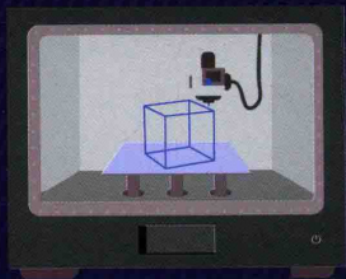


全国高等院校“十三五”规划教材

3D Printing Technology

3D 打印技术

李 博 张 勇 刘谷川 许向阳 编著



3D
PRINTING



中国轻工业出版社 | 全国百佳图书出版单位

3D Printing Technology

3D 打印技术

配套教学资源



向使用本书的教师
免费提供教学课件

上架建议：轻工业/印刷工业

了解更多...



中国轻工业出版社二维码

ISBN 978-7-5184-1519-9



9 787518 415199 >

定价：38.00元

全国高等院校“十三五”规划教材

3D 打印技术

李 博 张 勇 刘谷川 许向阳 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

3D 打印技术/李博等编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2017. 8

全国高等院校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5184-1519-9

I. ①3… II. ①李… III. ①立体印刷-印刷术-高等学校-教材 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 173930 号

责任编辑: 杜宇芳

策划编辑: 杜宇芳

责任终审: 劳国强

封面设计: 锋尚设计

版式设计: 锋尚设计

责任校对: 吴大鹏

责任监印: 张可

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

印刷: 三河市万龙印装有限公司

经销: 各地新华书店

版次: 2017 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 12.5

字数: 280 千字

书号: ISBN 978-7-5184-1519-9 定价: 38.00 元

邮购电话: 010-65241695 传真: 65128352

发行电话: 010-85119835 85119793 传真: 85113293

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

Email: club@chlip.com.cn

如发现图书残缺请直接与我社邮购联系调换

170578J1X101ZBW

前言

3D 打印（也称增材制造）技术是一种非传统加工工艺，是近 30 年来兴起的一项集光、机电、计算机、数控及新材料于一体的先进制造技术。3D 打印改变了传统加工技术里以切削材料为主的制造方式，通过将粉末、液体或片状、丝状等离散材料逐层堆积，直接生成三维实体。理论上，只需要在计算机上设计出结构模型，就可以利用该技术绕过传统制造里复杂的生产工艺，快速地将设计变成实物，这符合现代和未来制造业对产品个性化、定制化、特殊化需求的发展趋势，因此，可以说，3D 打印使得制造技术取得革命性的进步。

本书从 3D 打印的基础知识出发，分别介绍了 3D 打印的技术原理、3D 打印的技术分类与优缺点、3D 打印的应用领域、3D 打印与 3D 建模、3D 打印材料、3D 扫描的知识。通过这些基础知识，让读者逐渐走进 3D 打印的世界，对这门新兴的制造技术有一个清晰的了解，为下阶段深入学习打下坚实的基础。

对于初学者来说，完全掌握并熟练运用一项新技术还需要经历一个艰难的学习过程，学习内容的难易度影响了学习的速度，这点编者也是深有体会。因此，在编写本书时，编者查阅整理了大量文献资料，力求达到知识内容的完整性，并选取目前最新的公认的研究成果予以展现，保证知识体系的新颖性和正确性。在构建知识体系时，编者按照自己多年的学习实践经验，将纷繁复杂的内容整合归类，分成六大章节进行阐述，尽量采取通俗易懂的语言，降低学习者的难度。第 7 章介绍了开源 3D 打印项目，涉及机械结构、电路框架等内容，学习者在掌握前面内容后，可参照此章内容进行实践尝试。在编写此书的过程中，编者采集众家之说，参考颇多，有些资料已无法查明出处，在此向原作者付出的辛勤劳动表示感谢，本书的内容结构设计吸取了企业的宝贵经验和建议，在此特别感谢北京易速普瑞科技股份有限公司（魔候网）的支持，在本书编辑过程中公司张勇博士、刘谷川先生、李亚男先生给予大量宝贵建议。

本书从整体内容设计上来说适用于国内高等院校和职业院校的学习者，其应用范围覆盖大多数与 3D 打印技术相关的专业，如机械设计、模具制造、建筑、医疗、文化创意等，可作为一门基础入门教材使用。由于编者水平有限，时间仓促，书中难免存在疏漏与不妥之处，敬请读者批评指正，以便在本书修订时进行完善。

编著者

2017 年 6 月 6 日

目 录

1 | 第 1 章 | 走进 3D 打印

1 | 1.1 什么是 3D 打印

3 | 1.2 3D 打印的历史

7 | 第 2 章 | 3D 打印分类

7 | 2.1 立体光刻成型 SLA

7 | 2.1.1 技术原理

8 | 2.1.2 工艺流程

9 | 2.1.3 技术特点

10 | 2.1.4 典型设备

10 | 2.1.5 光固化立体成型技术

16 | 2.2 叠层堆积成型 LOM

16 | 2.2.1 技术概述

16 | 2.2.2 技术原理

17 | 2.2.3 工艺过程

18 | 2.2.4 技术特点

19 | 2.2.5 典型设备

19 | 2.2.6 常见叠层实体快速成型的材料与设备

21 | 2.2.7 提高叠层实体快速成型制作质量的措施

22 | 2.2.8 叠层实体制造工艺后置处理中的表面涂覆

23 | 2.2.9 新型叠层实体快速成型工艺方法

25 | 2.2.10 案例：蒸蛋机制作

40 | 2.3 熔融堆积成型 FDM

40 | 2.3.1 机械结构

41 | 2.3.2 工艺参数控制

42 | 2.3.3 工艺特点

43 | 2.3.4 产品发展及技术研究现状

45 | 2.3.5 应用方向

46 | 2.3.6 主要问题与发展方向

47 | 2.3.7 熔融沉积快速成型材料及设备

50 | 2.3.8 熔融沉积快速成型工艺因素分析

52 | 2.3.9 气压式熔融沉积快速成型系统

53 | 2.3.10 熔融沉积快速原型实例

53 | 2.3.11 案例：扳手制作

57 | 2.4 立体喷墨打印法 3DP

- 59 | 2.4.1 基本原理及成型流程
- 59 | 2.4.2 关键技术
- 62 | 2.4.3 成型特点
- 63 | 2.4.4 成型材料及应用

64 | 2.5 激光选区烧结 SLS

- 64 | 2.5.1 技术概述
- 65 | 2.5.2 选择性激光烧结工艺的基本原理
- 65 | 2.5.3 选择性激光烧结快速成型材料及设备
- 69 | 2.5.4 选择性激光烧结的工艺过程
- 70 | 2.5.5 选择性激光烧结工艺参数
- 72 | 2.5.6 选择性激光烧结的特点及应用
- 72 | 2.5.7 案例：球的制作

76 | 2.6 激光选区融化 SLM

- 76 | 2.6.1 SLM 基本原理
- 79 | 2.6.2 SLM 研究现状
- 81 | 2.6.3 SLM 技术的应用
- 82 | 2.6.4 SLM 技术发展展望

84 | 第3章 | 多才多艺的 3D 打印

84 | 3.1 3D 打印的优点

86 | 3.2 3D 打印的局限

88 | 3.3 3D 打印的应用实例：带来的变化以及发展

- 88 | 3.3.1 设计领域
- 89 | 3.3.2 汽车领域
- 90 | 3.3.3 医疗领域
- 92 | 3.3.4 建筑领域
- 93 | 3.3.5 时尚领域
- 94 | 3.3.6 航天
- 97 | 3.3.7 武器

98 | 第4章 | 3D 建模

98 | 4.1 认识 3D 建模

- 98 | 4.1.1 3D 建模基础知识
- 99 | 4.1.2 3D 模型的计算机表示

100 | 4.2 3D 建模软件

- 101 | 4.2.1 Autodesk 123D
- 102 | 4.2.2 Tinker CAD
- 103 | 4.2.3 Blender

- 104 4.2.4 Sketch Up
- 105 4.2.5 3DTin
- 105 4.2.6 Free CAD
- 106 4.2.7 3DS MAX
- 106 4.2.8 Rhinoceros (Rhino)
- 107 4.2.9 Solidworks
- 108 4.2.10 Pro/E
- 109 4.2.11 UG (Unigraphics)
- 109 4.2.12 中望 3D

111 4.3 文件输出

- 111 4.3.1 STL 文件格式的 ASC II 码格式
- 112 4.3.2 STL 文件的二进制格式
- 112 4.3.3 二进制 STL 文件中的色彩描述

113 4.4 模型中需要注意的地方

- 113 4.4.1 注意地方
- 115 4.4.2 纠错软件

116 4.5 3D 建模的特点：自由

- 116 4.5.1 3D 打印技术对设计产业的影响
- 117 4.5.2 展望

118 第 5 章 3D 打印材料

118 5.1 3D 打印材料的要求

- 118 5.1.1 烧结
- 119 5.1.2 沉积
- 119 5.1.3 光固化

120 5.2 常用的材料

- 120 5.2.1 塑料
- 120 5.2.2 光敏树脂
- 121 5.2.3 金属材料
- 123 5.2.4 其他材料

125 第 6 章 3D 扫描

125 6.1 3D 扫描介绍：概念、目的

126 6.2 3D 扫描原理

- 126 6.2.1 被动式接触测量
- 127 6.2.2 激光三角扫描
- 127 6.2.3 激光脉冲
- 128 6.2.4 激光相移
- 129 6.2.5 结构光

130	6.3	3D 扫描的应用实例
140	第 7 章	开源 3D 打印项目 REPRAP
140	7.1	项目介绍
142	7.2	基本架构
143	7.2.1	机械框架
144	7.2.2	电子部件
145	7.2.3	配套软件
147	7.3	工作步骤
147	7.3.1	组装三角支架
150	7.3.2	组装前侧螺纹杆
153	7.3.3	组装后侧螺纹杆
155	7.3.4	组装顶部螺纹杆
157	7.3.5	紧固支架
160	7.3.6	组装 Y 轴框架
165	7.3.7	组装 X 轴框架
168	7.3.8	组装 Z 轴框架
174	7.3.9	安装打印喷头及打印台
180	7.3.10	安装电路控制
186	7.3.11	安装驱动并打印测试
189	第 8 章	3D 打印的未来
191		参考文献

第1章

走进3D打印



什么是 3D
打印

1.1 什么是 3D 打印

3D 打印并非一夜之间冒出来的新技术，这个技术起源于 19 世纪末的美国，并在 20 世纪 80 年代主要在模具加工行业得以发展和推广，在国内叫做“快速成形（Rapid Prototyping, RP）”技术。随着信息和材料技术的进步，快速成形设备已能做到小型化供大家放在办公桌面上使用，其操作并不比传统的纸张激光打印机复杂，所以为了便于向普通民众推广此产品，小型化的快速成形设备被称为“3D 打印机”。虽然 3D 打印机目前很时髦，但此项技术实际上是“19 世纪的思想，20 世纪的技术，21 世纪的市场”。欧美国家正在重整制造业，这个时候老的传统制造方式已没有优势可言，正好 3D 打印技术相比传统制造技术具有革命性变化，3D 打印技术成为欧美国家振兴制造业的新手段。

企业或研究机构普遍喜欢用 Additive Manufacture (AM) 来表示 3D 打印技术，国内专业术语称为“增材制造”。2009 年美国材料实验协会 ASTM (American Society of Testing Material) 将 AM 定义为“Process of joining materials to make objects from 3D model data, usually layer upon layer, as opposed to subtractive manufacturing methodologies.”即与传统的去除材料加工方法完全相反，通过三维模型数据来实现增材成形，通常用逐层添加材料的方式直接制造产品。

3D 打印是增材制造 (Additive Manufacture) 的主要实现形式。“增材制造”的理念区别于传统的“去除型”制造。传统机械制造是在原材料基础上，借助工装模具使用切削、磨削、腐蚀、熔融等办法去除多余部分得到最终零件，然后用装配拼装、焊接等方法组成最终产品。而“增材制造”与之不同，无需毛坯和工装模具，就能直接根据计算机建模数据对材料进行层层叠加生成任何形状的物体。

增材制造技术是由 CAD 模型直接驱动快速制造任意复杂形状三维实体零件或模型的技术总称，其基本过程如图 1-1 所示。首先在计算机中生成符合零件设计要求的三维

CAD 数字模型，然后根据工艺要求，按照一定的规律将该模型在 Z 方向离散为一系列有序的片层，通常在 Z 向将其按一定厚度进行分层，把原来的三维 CAD 模型变成一系列的层片；再根据每个层片的轮廓信息，输入加工参数，自动生成数控代码；最后由成形机喷头在 CNC 程序控制下沿轮廓路径做 2.5 轴运动，喷头经过的路径会形成新的材料层，上下相邻层片会自己黏结起来，最后得到一个三维物理实体。这样就将一个复杂的三维加工转变成一系列二维层片的加工，大大降低了加工难度，这也是所谓的“降维制造”。

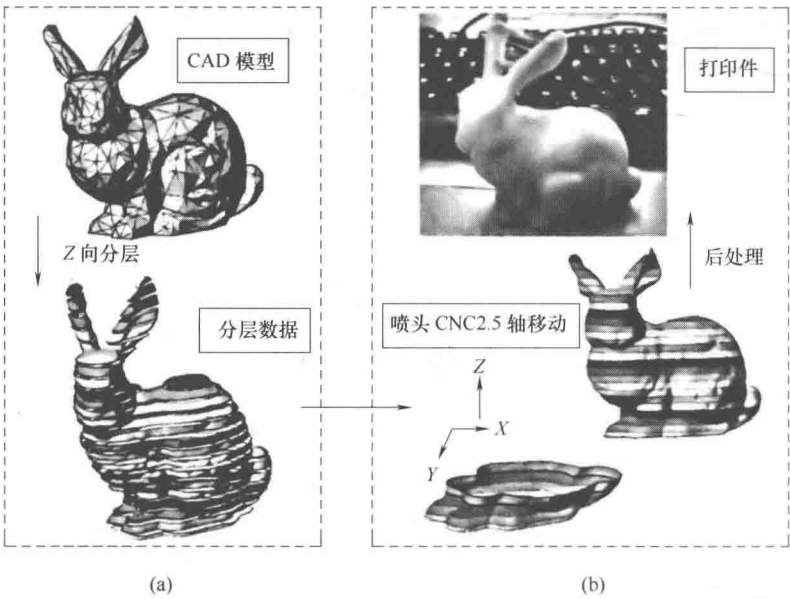


图 1-1 增材制造基本原理（用颜色表示分层）
(a) 分层过程，软件处理 (b) 叠层过程，成形及实现

3D 打印技术，是以计算机三维设计模型为蓝本，通过软件分层离散和计算机数字控制系统，利用激光束、热熔喷嘴等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料、细胞组织等特殊材料进行逐层堆积黏结，最终叠加成形，制造出实体产品。与传统制造业通过模具、车床等机械加工方式对原材料进行定型、切削并最终生产出成品不同，3D 打印将三维实体变为若干个二维平面，通过对材料处理并逐层叠加进行生产，大大降低了制造的复杂度。这种数字化制造模式不需要复杂的工序，不需要庞大的机床，不需要众多的人力，直接从计算机图形数据便可生成任何形状的零件，使生产制造的中间环节降到最小限度。

用日常生活中的普通打印机可以打印计算机设计的平面图形，而 3D 打印机与普通打印机工作原理很相似，只是打印材料不同。普通打印机的打印耗材是墨水（或墨粉）和纸张，而 3D 打印机消耗的是金属、陶瓷、塑料等不同的“打印材料”，是实实在在的原材料。打印机与计算机连接后，通过计算机控制可以把“打印材料”一层层地叠加起来，最终把计算机上的蓝图变成实物。通俗地说，3D 打印机是可以“打印”出真实 3D 物体的一种设备，比如打印一个机器人、玩具车、各种模型，甚至是食物或人体器官等。之所以通俗地称其为“打印机”，是参照了普通打印机的技术原理，因为分层加工的过程与通常的打印十分相似，这项打印技术也可称为 3D 立体打印技术。

桌面型 3D 打印机源于 2008 年英国 RepRap 开源项。RepRap 是 3D 桌面打印机发展的基石，直接催生了包括 Makerbot 在内的一大批廉价的普及型 3D 打印机，价格从几千到几万元人民币不等。3D 打印技术目前面临着几个主要问题亟待解决：首先，与传统切削加工技术相比，产品尺寸精度和表面质量相差较大，产品性能还达不到许多高端金属构件的要求；其次是大批量生产效率还比较低，不能完全满足工业领域的需求；最后，3D 打印的设备和耗材成本仍然较高，如基于金属粉末的打印成本远高于传统制造。由此可见，3D 打印技术虽然是对传统制造技术的一次革命性突破，但目前它却不可能完全取代切削、铸锻等传统制造技术，两者之间应是一种相互支持与补充，共同完善与发展的良性合作关系。



3D 打印历史

1.2 3D 打印的历史

人们将 3D 打印技术称作“19 世纪的思想，20 世纪的技术，21 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 REP-PRAP 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，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：

(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，以便下一个涂层堆叠上来。

(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结剂进行固化。

(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 Aream 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。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 1-2 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。

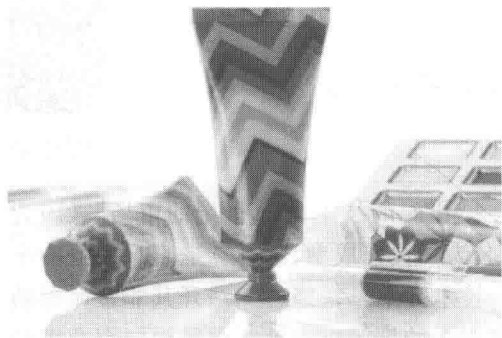


图 1-2 多种材料混合打印的物品

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幅二维图像。而使用 3D 打印也是一样,只需要点击控制软件中的“打印”按钮,控制软件通过切片引擎完成一系列数

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主体模型的技术被美国发明家 Charles Hull 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)。在不久后的 1988 年,3D Systems 公司便生产出了第一台其自主研发的 3D 打印机 SLA-25D,如图 1-3 所示。SLA-25D 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。

1988 年,一位来自于美国康涅狄格州 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 Strata-



图 1-3 第一台 3D 打印机 SLA-25D

sys。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，美国得克萨斯大学的 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，创造了三维印刷技术（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 Bredt 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 ZCorporation。

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、ZCorporation 分别推出了型号为 Actua2100、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 ZCorporation 推出了世界上第一台高精度彩色 3D 打印机——Spectrum251D，如图 1-4 所示。

同一年，开源 3D 打印机项目 RE-PRAR 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 RE-PRAP 的 3D 打印机正式发布，代号为“Darwin”，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。

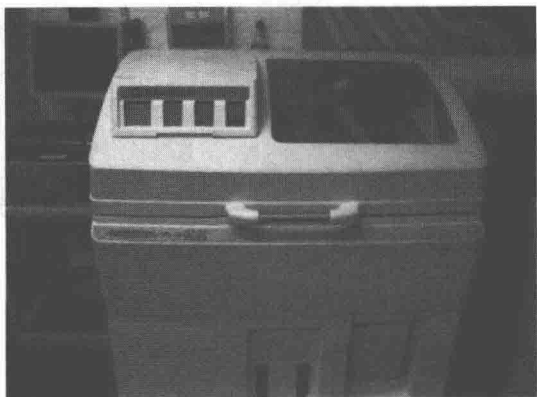


图 1-4 第一台高精度彩色 3D 打印机 Spectrum251D

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 Dimension3D 打印机，以及由 Stratasys 公司数字生产服务项目 Red Eyeon 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，这架飞机由英国商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 1.5kg (图 1-5), 价格预计约 1200 欧元。

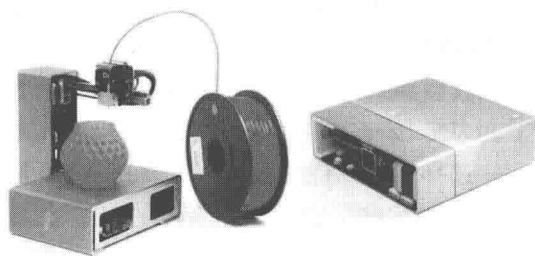


图 1-5 超便携的 3D 打印机

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 0.3mm 的赛车模型, 如图 1-6。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 140km/h。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, 成本逐渐降低。在 1999 年, 3D Systems 发布的 SLA7000 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, 如图 1-7 所示。

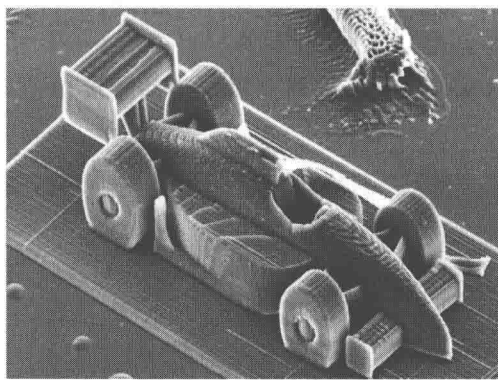


图 1-6 显微镜下的 3D 打印赛车模型

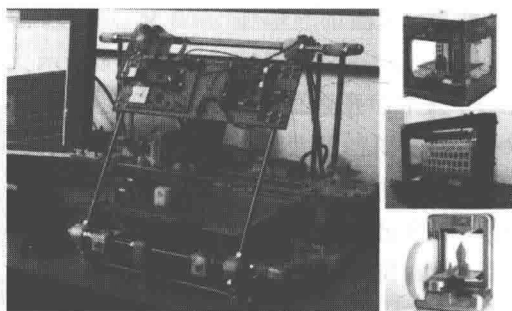


图 1-7 面向消费者的桌面 3D 打印机

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 打印技术不断的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。

第2章

3D打印分类



光固化立体
成型

2.1 立体光刻成型 SLA

光固化成型（Stereo Lithography Apparatus, SLA）也被称为立体光刻成型，属于快速成型技术中的一种，简称为 SLA，有时也称为 SL。该技术是最早发展起来的快速成型技术，也是目前研究最深入、技术最成熟、应用最广泛的快速成型技术之一。

光固化成型技术主要是使用光敏树脂作为原材料，通过特定波长与强度的激光（紫外光）聚焦到光固化材料表面，使之由点到线、由线到面的顺序凝固，从而完成一个层截面的绘制工作。然后在垂直方向上升打印台一个层厚单位的高度，接着再照射固化下一个层面。这样循环完成固化、移动的过程，从而层层叠加完成一个三维实体的打印工作。

2.1.1 技术原理

光固化成型技术最早由美国麻省理工学院的 Charles Hull 在 1986 年研制成功，并于 1987 年获得专利，是最早出现的、技术最成熟和应用最广泛的 3D 打印技术。主要以光敏树脂为原材料，通过计算机控制紫外激光发射装置逐层凝固成型。SLA 工艺能简洁快速并全自动地打印出表面质量和尺寸精度较高、几何形状复杂的原型。

光固化打印效果除了受打印设备的影响，受光敏树脂材料性能的影响很大。供使用的打印材料必须具有合适的黏度，固化后需具备一定的强度，并且在固化时和固化后产生的收缩及扭曲变形较小。更重要的是，为了实现高速、精密的打印操作，需要供打印的光敏树脂具有合适的光敏性能，不仅要在较低的能量照射下完全固化，而且树脂的固化深度也应合适。

SLA 的工作原理如图 2-1 所示，在计算机控制下，紫外激光部件按设计模型分层截面得到的数据，对液态光敏树脂表面逐点扫描照射，使被照射区域的光敏树脂薄层发生聚合

反应而固化，从而形成一个薄层的固化打印操作。当完成一个截面的固化操作后，工作台沿 Z 轴下降一个层厚的高度。由于液体的流动特性，打印材料会在原先固化好的树脂表面自动再形成一层新的液态树脂，因此照射部件便可以直接进行下一层的固化操作。新固化的层将牢固地结合在上一层固化好的部件上，循环重复照射、下沉的操作，直到整个部件被打印完成。但在打印完成后，还必须将原型从树脂中取出再次进行固化后处理，通过强光、电镀、喷漆或着色等处理得到需要的最终产品。

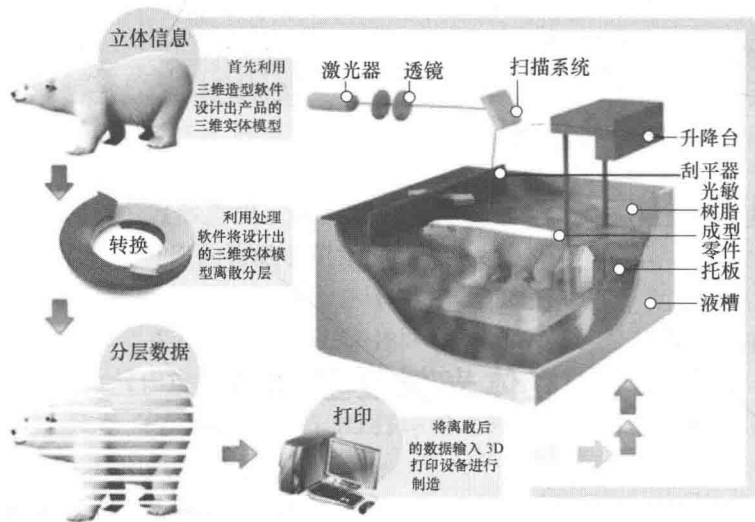


图 2-1 SLA 打印技术原理

需要特别注意的是，因为一些光敏树脂材料的结性非常高，使得在每层照射固化之后，液面都很难在短时间内迅速流平，这将会对打印模型的精度造成影响。因此，大部分 SLA 设备都配有刮刀部件，在打印台每次下降后都通过刮刀进行刮切操作，便可以将树脂十分均匀地涂敷在下一叠层上，这样经过光照固化后可以得到较高的精度，并使最终打印产品的表面更加光滑和平整。

SLA 技术的特点是精度高、表面质量好、原材料利用率几乎达到惊人的 100%，能用于打印制作形状特别复杂、特别精细的零件，非常适合于小尺寸零部件的快速成型，但缺点是设备及打印原材料的价格都相对比较昂贵。

目前 SLA 技术主要集中用于制造模具、模型等，同时还可以在原料中通过加入其他成分，用于代替熔模精密铸造中的蜡模。虽然 SLA 技术打印速度较快、精度较高，特别是一些基于该技术的改进版本，例如 DLP（Digital Light Processing，数字光处理）等，但由于打印材料必须基于光敏树脂，而光敏树脂在固化过程中又会不可避免地产生收缩，导致产生应力或引起形变。因此，该技术当前推广的一大难点便是寻找一种收缩小、固化快、强度高的光敏材料。

2.1.2 工艺流程

光固化成型 SLA 技术的工艺过程一般可分为前处理、原型制作、清理和固化处理四