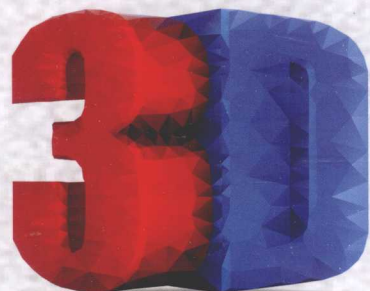


开源



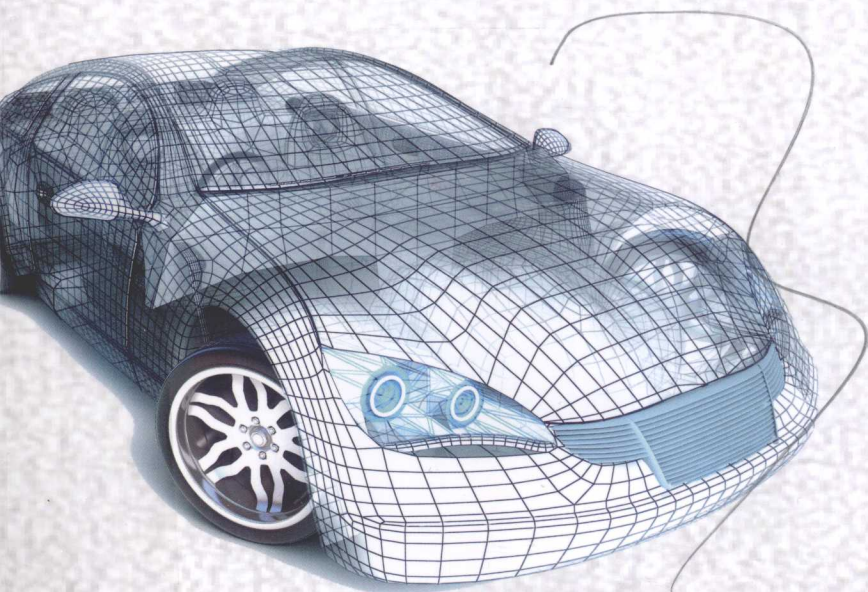
打印技术 原理及应用

Open Source 3D Printing Technology
Theory and Applications

徐光柱 何鹏 杨继全 雷帮军 编著



教学资源库
<http://www.ndip.cn/>



国防工业出版社
National Defense Industry Press

开源 3D 打印技术 原理及应用

徐光柱 何 鹏 杨继全 雷帮军 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书从桌面开源 3D 打印技术原理及应用这一角度出发,全面阐述了开源 3D 打印技术的发展过程,3D 打印技术的基本原理,开源 3D 打印机软硬件系统的配置及构成,3D 模型的建模方法,实际打印过程中可能遇到的问题及解决方案;以开源 3D 打印机 RepRap 系列中的 Prusa Mendel I3 为例重点讨论了 3D 打印机的硬件构成、固件程序配置、切片软件的参数选择及上位机使用方法,同时给出了整机安装调试的过程对 3D 打印中的切片算法原理、STL 文件格式、G-code 代码的构成等给出了较为深入的分析与说明;对目前市场上存在的开源 3D 打印软件产品进行了详细介绍,并给出了使用样例。

本书内容丰富、案例典型,讨论由浅入深、重点突出,内容安排合理,可读性强。本书配套了相应光盘,光盘中给出了本书全部的彩图,及相关打印视频有助于读者更加方便地理解本书内容。

本书适合于 3D 打印相关专业的研究生和本科生、3D 打印爱好者及相关科研工作者阅读,同时也可以作为 3D 打印培训人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

开源 3D 打印技术原理及应用/徐光柱等编著. —北京:国防工业出版社, 2015.12
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-118-10584-1

I. ①开... II. ①徐... 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 296138 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

三河市腾飞印务有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 10³/₄ 字数 240 千字

2015 年 12 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—3000 册 定价 48.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)88540777

发行邮购: (010)88540776

发行传真: (010)88540755

发行业务: (010)88540717

该书由国家自然科学基金项目(61402259,61273243,51407095), 江苏省科技基础设施重点项目(BM2013006), 江苏省科技支撑计划(工业)重点项目(BE2012201, BE2014009-3, BE2013012-2), 江苏省高校自然科学研究项目(13KJB460011), 江苏省三维打印装备与制造重点实验室开放基金项目(L20140713-03,L20140713-04), 湖北省水电工程智能视觉监测重点实验室开放基金项目(2014KLA10), 湖北省自然科学基金创新群体基金项目(2015CFA025), 三峡大学青年拔尖人才培养计划项目(KJ2014H001), 三峡库区生态环境教育部工程研究中心开放基金项目(KF2015-10)联合资助!

前 言

作为一门新兴的生产技术，3D 打印正在逐渐进入公众的视野，并改变着人类的生活。3D 打印是一种以数字模型为基础，运用粉末状金属或塑料等材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。与传统的制造业相比，3D 打印技术能够更加高效地构建出具有复杂结构的物体，并且更加节约原材料。

随着 RepRap 等开源项目的快速发展，桌面开源 3D 打印机的价格也越来越低，相应的开源软件及配套服务也日趋完善，3D 打印的技术市场正在以极快的速度增长，越来越多的 3D 打印机开始进入普通家庭。对 3D 打印技术发展具有重大促进作用的开源 3D 打印项目 RepRap 最早源于英国，它是世界上第一台多功能、能自我复制的机器，也是一种能够打印塑料实物的 3D 打印机，目前该技术发展主要集中在国外的几个发达国家，相应的中文介绍开源 3D 打印技术的书籍还比较少。另外，开源 3D 打印技术的中文书籍侧重点主要集中在已有的应用上，而对于开源 3D 打印软件的使用和开源 3D 打印硬件的组装及实际打印过程的介绍则更少。

针对上述问题，本书以开源 3D 打印技术为切入点，深入浅出地介绍了 3D 打印的基本原理，开源软硬件系统的配置及构成，3D 模型的构建方法以及实际打印过程中可能遇到的问题，帮助读者快速梳理出一个关于 3D 打印技术的清晰概念。

和其他同类书籍相比，本书更加侧重于介绍桌面开源 3D 打印技术的发展，并从实际应用出发介绍 3D 打印技术中包含的成型原理。第 1 章为 3D 打印技术的绪论，为读者深入了解 3D 打印技术作铺垫，这些技术包括 3D 打印技术的概念，3D 打印技术的技术分类，3D 打印材料范畴，以及 3D 打印技术与传统制造业相比的优势与不足，最后以 3D 打印技术的发展历史为结尾回顾其发展过程。第 2 章介绍了桌面开源 3D 打印技术，以 Arduino 为切入点，介绍其对开源 3D 打印技术发展的贡献，随后引入其他常用的打印机控制板。在控制板介绍之后，本书还穿插进了现在市场上流行的几种 3D 打印机类型及 3D 打印机品牌，最后以 Prusa Mendel I3 的组装实例为结尾帮助读者从硬件上了解 3D 打印机的相关知识。第 3 章着重介绍了 3D 打印技术中常用的文件格式——STL 文件格式，详细讲述了文件规则，以及生成过程中的常见错误，引入了比较流行的几种 STL 文件分层（切片）处理的算法，为后面章节理解切片软件及上位机软件提供基础支撑。在这之后，本书还简单介绍了在工作时 3D 打印机开源软件的应用以及开源软件和开源硬件通信的过程，以及打印机固件翻译 G-code 代码的管道式处理过程，同时在附录里给出了常用的 G-code 代码及含义，方便读者查阅。第 4 章为开源 3D 打印技术的应用，从开源桌面 3D 打印技术软件的实际应用出发，介绍了模型的修补与转换的实际操作，切片软件的实际操作及切片软件



的实际配置参数。随后详细介绍了功能强大的 Repetier-Host 的使用以及其中许多功能,包括内嵌的切片软件使用、Repetier 手动的参数控制功能、G-code 代码的编辑与插入功能等。第 5 章介绍了目前比较流行的 3D 模型网站,以及常见的建模软件,最后以 SketchUp 和 3ds Max 为例讲解了字牌的制作过程。第 6 章汇总了开源桌面 3D 打印机在使用过程经常出现的问题以及解决办法,最后简单讲解了打印材料的选择以及后续模型的抛光问题,最后讨论了 3D 打印技术还没有很好解决的大型模型快速有效分割的问题,并以普林斯顿大学与中国科技大学提出的两种模型分解算法进行了说明。

本书适用于想要理解或学习 3D 打印技术的朋友,同时也可作为相关领域研究人员和参考资料。参与本书编写与校稿的有余迪、宁力、熊丹丘、李迪、彭曼、李欣羽、黄业辉等同学,在编写过程中还得到了国防工业出版社责任编辑的大力帮助,在此对这些编著者表示深深的谢意。同时感谢家人的大力支持和理解!

由于知识水平和经验的局限性,书中难免存在错误或不妥之处,敬请广大读者给予批评指正,联系邮箱 E-mail: xugzhu@163.com。

2015 年 12 月 25 日

于三峡大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 3D 打印的概念	1
1.2 3D 打印的技术流程	2
1.2.1 实物成型方法概述	2
1.2.2 自然界的 3D 打印技术	3
1.2.3 增材制造技术	4
1.2.4 3D 打印技术分类	4
1.3 3D 打印的原材料	6
1.4 3D 打印与人们的生活	9
1.4.1 令人惊叹的服装	9
1.4.2 不可思议的食物	11
1.4.3 异想天开的房屋	11
1.4.4 疯狂奔驰的汽车	12
1.5 3D 打印与传统制造业的比较	13
1.5.1 更高的灵活性	13
1.5.2 无限可能的材料来源	14
1.5.3 更强大的构造能力	15
1.5.4 综述	16
1.6 3D 打印技术的发展史	17
1.7 RepRap 的发展史	18
1.8 开源 3D 打印技术存在的相关争议问题	20
第 2 章 开源 3D 打印硬件构成及组装	22
2.1 开源 3D 打印中的 Arduino	22
2.1.1 Arduino 的介绍	22
2.1.2 Arduino 系列介绍	24
2.1.3 常见开源打印机的硬件电路	27
2.2 主流 3D 打印机控制板对比	28
2.2.1 RAMPS 系列控制板	29



2.2.2	Melzi 系列控制板	30
2.2.3	Sanguinololu 系列控制板	30
2.2.4	Printboard 系列控制板	31
2.3	桌面开源 3D 打印机的分类	32
2.3.1	开源社区 RepRap 的介绍	32
2.3.2	笛卡尔式 3D 打印机	33
2.3.3	并联臂式 3D 打印机	34
2.3.4	旋转平台 3D 打印机	35
2.4	市面常见桌面 3D 打印机介绍	36
2.4.1	MakerBot 系列	36
2.4.2	Ultimaker 系列	37
2.4.3	Prusa Mendel 系列	37
2.5	RepRap 开源硬件及组装	39
2.5.1	Prusa Mendel I3 材料清单	40
2.5.2	Prusa Mendel I3 的组装过程	43
2.5.3	固件的组装和烧录	55
2.5.4	电路板测试	58
第 3 章	3D 打印中的切片原理与 G-code	60
3.1	STL 文件简介	60
3.1.1	ASCII 码格式	61
3.1.2	二进制格式	61
3.2	STL 格式遵循的规则及常见错误	62
3.2.1	STL 模型文件遵循的一般规则	62
3.2.2	STL 模型文件常见的错误	63
3.3	切片算法	64
3.3.1	基于 STL 模型的切片算法	64
3.3.2	基于几何模型拓扑信息的 STL 切片算法	65
3.3.3	基于三角形面片几何特征的 STL 切片算法	66
3.4	打印过程	67
3.4.1	打印系统	67
3.4.2	上位机部分	68
3.4.3	固件的定义	72
3.4.4	通信协议	73
3.4.5	G-code 与 G-code 翻译器	74
3.4.6	G-code 处理管道	75
3.4.7	G-code 代码的读取过程	75

第 4 章 常用 3D 打印软件.....	77
4.1 模型的转换与修补.....	77
4.1.1 将其他格式转换成 STL 文件格式	77
4.1.2 利用 Netfabb Basic 对模型进行修补.....	79
4.2 切片.....	83
4.2.1 模型预览与修改	83
4.2.2 模型调整	86
4.2.3 切片设置	88
4.2.4 高级设置	90
4.3 上位机软件的作用及定义.....	91
4.4 打印机的配置.....	94
4.4.1 单位设置	98
4.4.2 模型文件的导入	98
4.4.3 模型的浏览	99
4.4.4 模型放置	100
4.4.5 选择和移动模型	102
4.5 设置切片软件.....	102
4.6 手动控制.....	107
4.7 G-code 编辑器	110
4.7.1 编辑器的元素	110
4.7.2 G-code 起始代码与结束代码.....	111
4.7.3 中止/暂停任务后继续运行	111
4.8 使用 Repetier 过程中常见问题	111
4.8.1 打印机的连接问题	111
4.8.2 上位机在启动开始的时候崩溃	112
4.8.3 上位机设置	112
第 5 章 3D 打印模型网站与软件建模.....	113
5.1 3D 打印模型网站.....	113
5.1.1 Thingiverse	113
5.1.2 Youmagine.....	114
5.1.3 Myminifactory	115
5.1.4 打印虎	116
5.1.5 523DP	117
5.2 STL 文件模型建模.....	118
5.2.1 参数化建模软件	118
5.2.2 CG 建模软件.....	120

5.3 构建模型实例.....	122
第 6 章 3D 打印技巧杂项说明.....	131
6.1 打印机平台的校准.....	131
6.1.1 校准前准备工作	131
6.1.2 校准步进电机	132
6.1.3 挤出头和热床的相对位置粗调	133
6.1.4 挤出头的水平调节	134
6.1.5 挤出头和热床的相对位置细调与热床的调平.....	135
6.1.6 打印测试 3D 模型	137
6.2 3D 打印机的保养与维护.....	139
6.2.1 开机前的检查	139
6.2.2 打印过程中的检查	139
6.2.3 打印完成后的维护	141
6.3 丝料无法附着在热床上.....	141
6.4 模型错位及产生的原因.....	142
6.5 3D 打印作品抛光.....	143
6.5.1 ABS 材料作品的抛光.....	143
6.5.2 PLA 材料作品的抛光.....	144
6.6 3D 打印材料的选择.....	145
6.6.1 ABS 材料	145
6.6.2 PLA 材料.....	146
6.7 3D 模型的分解.....	147
附录 G-code 代码含义注解.....	151
参考文献.....	161

第 1 章 绪论

1.1 3D 打印的概念

从来没有有什么能像科技一样如此深刻地影响人类的历史和生活。从蒸汽火车到汽车再到飞机，从电话的发明到万维网的出现再到今天智能手机的普及，科技的进步总是在不经意间改变人们的生活方式，并给人类带来了更广阔的视野和无限的可能，3D 打印技术很有可能成为下一个改变世界的新兴技术。

3D 打印技术，也称为增材制造技术（Additive Manufacturing，AM），如今逐渐进入人们的视野。有观察者认为，3D 打印技术将会引发人类历史上下一次工业革命，并对人类的社会经济、环境、地缘政治甚至安全问题带来深远影响（图 1-1 和图 1-2）。

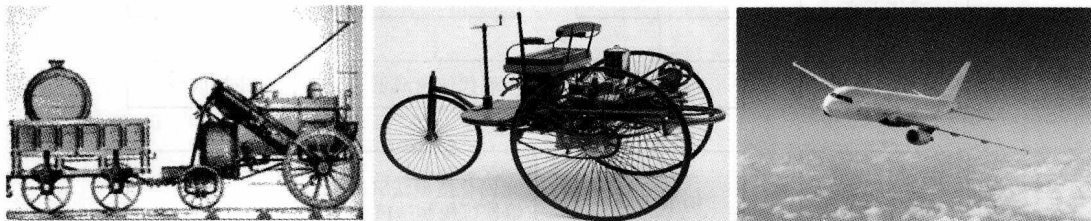


图 1-1 科技进步对人类出行的影响（图片来源：网络）



图 1-2 科技进步对人类通信的影响（图片来源：网络）

如果人们想象中的未来是一部天马行空的科幻电影，3D 打印技术最有可能将对未来的所有憧憬转化为人看得见摸得着的真实世界。3D 打印技术的神奇之处在于它可以根据 3D 模型的信息一层一层地将材料粘合起来得到实物模型，也就是说人们可以任意生产、修复自己的一个即将成型的实物；只需要一台计算机、一个模型创意和一台 3D 打印机，在简单的操作后就可以在商店、工厂、医院、学校甚至是自己的家里构建出想要的东西。

在互联网广泛覆盖的今天，人们可以轻易地从网上下载到某个产品的模型文件，并将它们打印出来；人们也可以利用深度扫描仪（如微软 Kinect 系列和华硕 XtionPro Live 系列）甚至手机以及平板将现实生活中的物体（如使用 Autodesk 公司的 123D Catch 软件）转换成数字模型进而进一步加工造型，得到想要的实物。从某种意义上讲，利用 3D 打印

技术,用户无论何时何地都可以创造所想要的一切,所想与所得之间的距离将会大大缩小。相信随着 3D 打印技术的普及发展,人们对已经熟知的世界的看法将会发生改变。

1.2 3D 打印的技术流程

1.2.1 实物成型方法概述

人类对于实物成型方法的研究和应用有着十分悠久的历史,早在 4000 年前,中国人就已经学会了将丝、麻固定在漆器上使之成型的方法;传统的金属锻造工艺中,铁匠通过使用锤炼、采用淬火等方法使金属成型。发展到现代,人们要得到一个实物模型的方法可以划分为以下几种(图 1-3)。

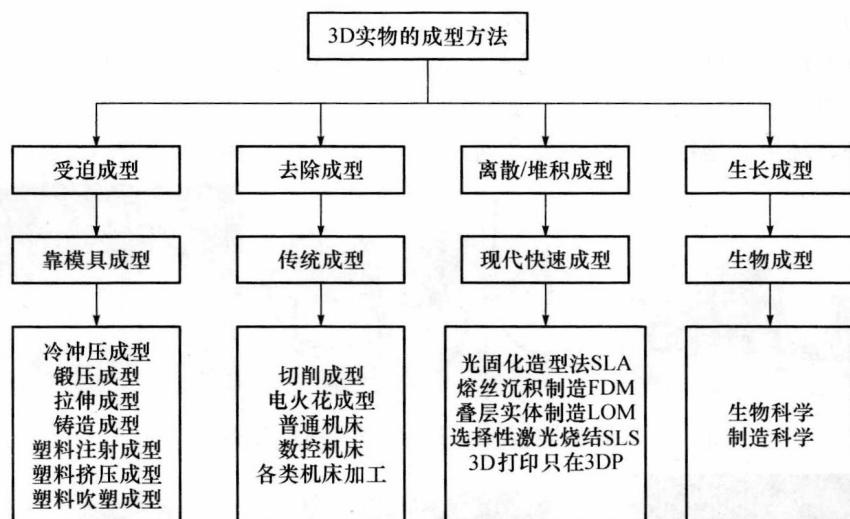


图 1-3 3D 实物成型方法分类

1. 从整体中去除多余部分的成型方法

这种成型方法是人类从石器时代到信息时代延续使用的成型方法。无论是原始人打磨狩猎用的石刃,还是现代社会通过使用刀具切削金属块得到零部件,只要是把一个毛坯上不需要的部分去除掉,留下所需要部分的成型方法,都属于从整体中去除多余部分的成型方法。该成型方法在大规模生产特定零部件时能够发挥最大生产效率,是现代生活不可缺少的一部分。

2. 通过外力压迫使材料成型的方法

古埃及人早在公元前就已经发现,将木材切成薄板后重新铺叠,并用外力长时间压合可以使材料成型。这样的成型过程类似于中国民间用布和浆糊制作鞋垫内底,通过使用粘合剂和长时间压合,迫使布与布之间粘合的方法。现代工艺中金属的拉伸成型、锻造成型、挤压成型以及铸造成型等都属于通过外力压迫使材料成型的方法,该类方法需要根据特定的生产需要设计特定的模具或者成型生产流程。由于模具的制作成本相当高,因此模具成型的方法更适用于大批量、大规模地生产某种特定实物。

3. 生长成型的方法

生长成型的方法类似于自然界生物的生长过程，它是一项生物科学和现代工业制造科学相结合的杰作。它通过生物体的生长和细胞分化来组建模型，并通过将生长和成型融为一体来构建一个具有特定目的的三维实体。

4. 层叠成型的方法

层叠成型又称为堆积成型或者离散成型，区别于传统制造方法，这种类似小孩堆积木的增材制造技术看似幼稚却包含着不同凡响的威力。它以实物的 3D 模型为基础，通过使用软件控制数控加工系统，用层层叠加的方法将成型材料（如塑料和金属粉末等）累积成一个实物零件。这种三维制造的过程实际上将模型成型过程转化成了每一层平面的二维成型问题，不需要使用任何外部工具进行切削第二次加工，且可以根据需要对模型进行一系列的调整，这在一定程度上提高了生产的灵活性和实物的柔韧性。与传统的制造方式相比，这种成型方法更适用于生产数量较小且高度定制的产品，不适合大规模生产特定实体。

想要一句话介绍 3D 打印是件很困难的事情，这不仅仅是因为 3D 打印技术涵盖的范围很广，还在于强行给一个正在发展的技术赋予特定含义会使这项技术丧失所蕴含的意义，下面我们将以简单的类比来说一说什么是 3D 打印。

1.2.2 自然界的 3D 打印技术

严格来说，3D 打印真正的玩家并不是某个公司或个人，而是大自然。平常生活中许多生物已经做了关于 3D 打印技术的应用示范，如贝壳（图 1-4）。

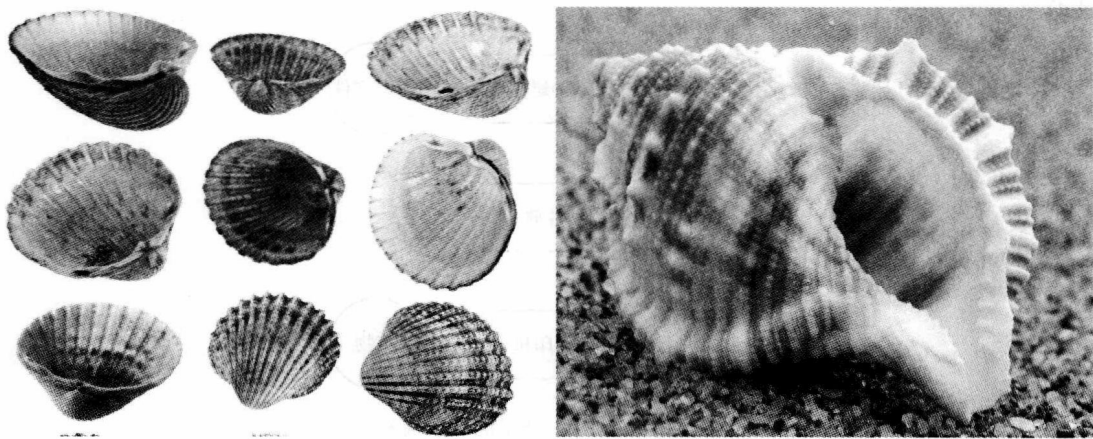


图 1-4 自然界的贝壳（图片来源：昵图网）

软体动物的外壳膜上有一种特殊的腺细胞，它的分泌物可形成保护身体的一层钙化物，而人们习惯于将这层钙化物称为贝壳。有人说贝壳上色彩斑斓的纹路是它的一年又一年时光积累的生命线，作者觉得深浅交错的曲线更像是自然造物留下的痕迹。如图 1-5 所示，岩石在风沙的腐蚀下形成的神奇地貌就是自然演化的过程，不过与 3D 打印技术不同的是，它更像是首先建立起整块的实物，再一层一层地进行剔减造型。敦煌雅安地貌是大自然鬼斧神工、奇妙无穷的天然杰作，堪称天然雕塑博物馆。

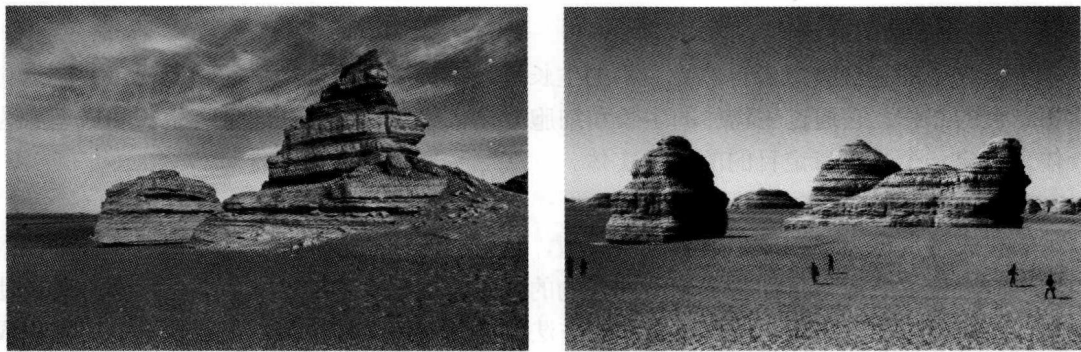


图 1-5 敦煌雅安地貌（图片来源：《江西日报》，太平洋计算机网）

1.2.3 增材制造技术

如果把 3D 打印技术当作是从零开始作加法运算，那么现在传统的制造方式则更像是在作减法运算：即将原材料进行切削等加工，从一个完整的实物中去掉多余的部分得到想要模型，而 3D 打印技术是增材制造技术的一种表达形式，正如前面所介绍的，它是一层一层地将材料在平台上进行堆叠累积，从无到有构建一个实物的过程，类似于人们口中常说的“积少成多，积沙成塔”。

3D 打印技术的一般流程如图 1-6 所示，要得到一个实物，必须先利用软件将自己的创意转化成数字文件（通常是 3D 模型文件），由计算机利用切片软件将每一层的模型信息读取出来，并生成指导打印机工作的 G-code 代码，之后由 3D 打印机自动地完成所有的造型工作。

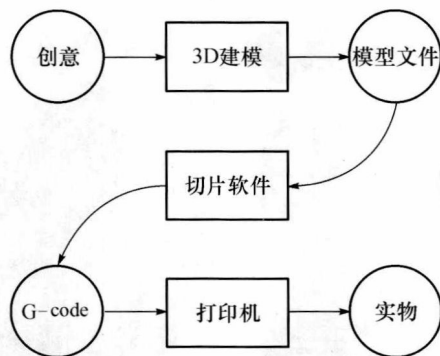


图 1-6 3D 打印技术的一般流程

从某种意义上说，增材制造技术就像建筑工人建造房屋一样，工人们按照预定的建筑图纸将砖块水泥粘结在一起，完成一层后继续下一层粘结，直到建筑完成。如图 1-6 所示，在这个过程中“模型文件”扮演着建筑图纸的角色，“G-code”代码扮演着指挥工人搬砖后确认放置位置的包工头角色，“打印机”当然就是勤劳的建筑工人，完成整个实物的造型工作。

1.2.4 3D 打印技术分类

人类在 3D 打印技术实现过程中花费了近 120 年（1860—1988 年）的时间，从最基础

的多照相机实体雕塑技术开始到 3D Systems 公司设计出世界上第一台基于立体光刻的工业级 3D 打印机，人类一直没有放弃过对 3D 打印技术发展进步的追求。3D 打印技术发展到现在已经演化出了许多的分支，宽泛地讲可分为三类，分别是选择性粘合技术、选择性固化技术和选择性沉积技术，它们的英文缩写分别是 SLS、SLA 和 DLP。下面简单地介绍这几类打印技术。

1. 选择性粘合技术

如图 1-7 所示，选择性粘合技术通常是将石膏或者金属等粉末采用粘合剂粘合，或者热熔断技术构造实物的一种方法。这种技术最典型的运用就是选择性激光烧结技术 (Selective Laser Sintering, SLS)，该技术使用激光将粉末烧结成实物的一层，其中第一层烧结在 3D 打印机的平台上，在第一层构建完成后其他层依次逐层烧结，直到完成整个模型的构建任务。

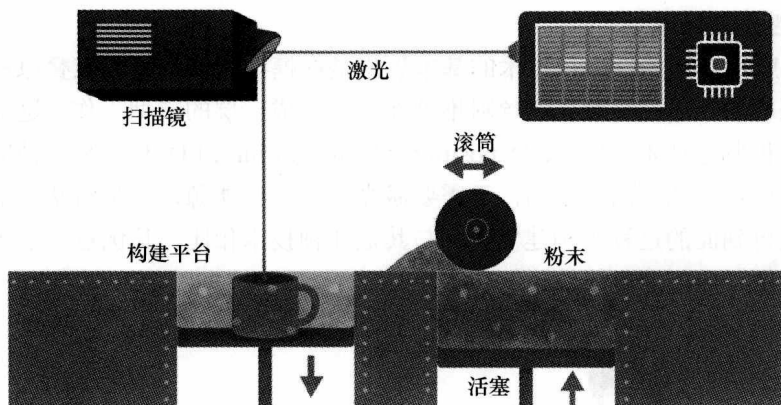


图 1-7 选择性激光烧结技术原理

(图片来源: THE FREE BEGINNER'S GUIDE TO 3D PRINTING)

在整个打印过程中，粉末起着支撑模型的“砖块”作用，因为“砖块”很小，所以使用激光烧结技术能够构造非常复杂的结构和极其微妙的图案。由于融化粉末材料需要很高的温度，该技术配套的硬件设施十分昂贵，导致这类技术的使用成本很高。

2. 选择性固化技术

选择性固化技术是对液体有选择地施加能量使其固化的过程，在固化一层后打印平台会上/下移动进行下一层的固化，平台每次移动只能完成实物的一层造型。与选择性粘合技术一样，模型的第一层往往构建在平台上，在一层构建完成后平台会移进/移出液体槽，直到完成所有层的固化成型。选择性固化技术的典型代表就是光固化成型技术 (stereolithography, SLA)，该技术利用紫外线将液态树脂固化得到实物，其原理图如图 1-8 所示。

由于树脂材料的高度黏性，模型在从平台取下后通常需要进行进一步的修补，而这个修补过程比较繁琐，但光固化成型技术生成的实物精度较高、质量可靠，适合制造形状特别复杂、特别精细的零件。

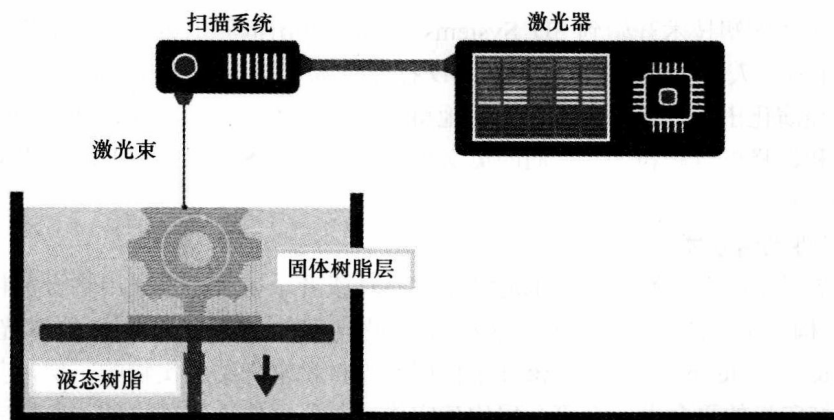


图 1-8 光固化成型技术原理图（图片来源：THE FREE BEGINNER'S GUIDE TO 3D PRINTING）

3. 选择性沉积技术

如图 1-9 所示，选择性沉积技术的基本思想是在模型需要的地方堆叠原料。该技术多使用塑料为原材料，通过将融化的丝料堆叠在一起完成一层的造型工作。这类技术的典型代表是熔融层积制造技术（Fused Deposition Manufacturing, FDM），是一种应用广泛的增材制造技术。这种工艺灵活性很高，不需要激光作为成型能源，而是将塑料融化后，挤出成丝由点到线再到面的过程来构建实物。与其他几种技术相比，其优点在于机器结构相对简单，维护方便，成型速度较快。

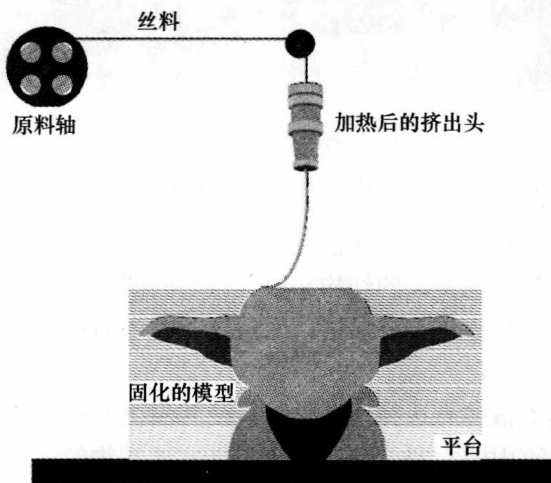


图 1-9 融层积制造技术原理图（图片来源：THE FREE BEGINNER'S GUIDE TO 3D PRINTING）

1.3 3D 打印的原材料

3D 打印技术的发展和其材料的发展是密不可分的，从这项技术诞生之日起，人类对于 3D 打印材料的探索就一直没有停止过。3D 打印技术发展到如今，已经可以使用多种原料进行打印，如金属、黏土、尼龙、食物、PLA/ABS 塑料和生物材料等（图 1-10）。

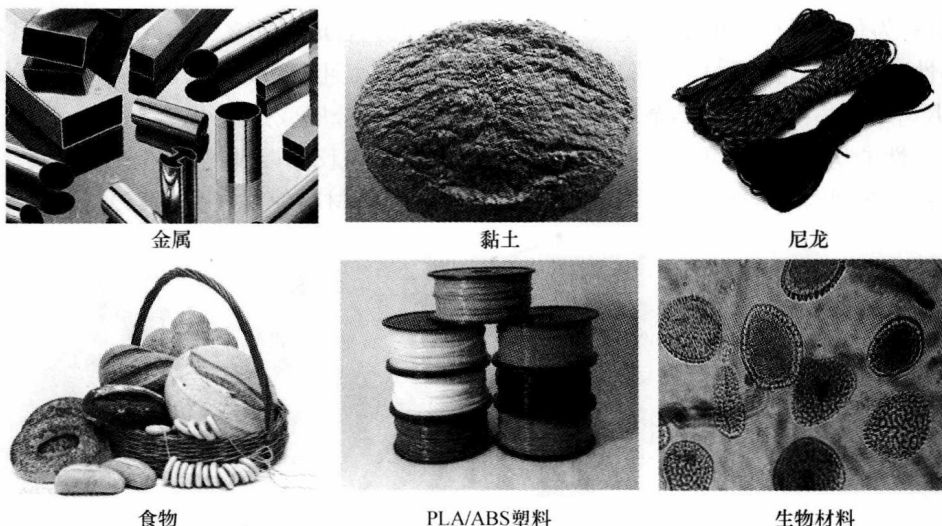


图 1-10 3D 打印技术可以使用的材料 (图片来源: 网络, 不代表真实打印原料)

材料的选取主要取决于特定的使用目的和平台, 例如如果想要将一个简单的想法转化成实物, 那么最佳的选择就是使用桌面级开源 3D 打印机并选择塑料为材料; 如果想要设计一个特定尺寸的金属齿轮, 那么最好的选择当然是使用金属打印机并选择特定的金属粉末为材料。下面简单介绍常见的几种材料。

1. 尼龙

尼龙又称聚酰胺纤维, 在其为粉末状态时利用烧结技术, 料丝状态下时利用熔融沉积成型工艺 (Fused Deposition Modeling, FDM) 进行 3D 打印即可将其制造成理想的形状。尼龙具有耐磨、抗腐蚀、韧性好、质量轻的特点, 被广泛用于工业、医疗等领域 (图 1-11)。

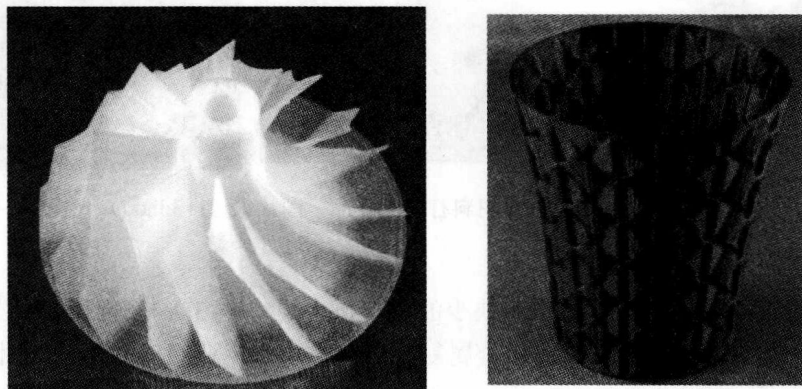


图 1-11 使用尼龙材料打印的作品之一 (图片来源: 中国 3D 打印网)

实践证明, 尼龙是 3D 打印的可靠材料。除此之外, 尼龙打印材料通常为白色, 并且在打印前或者打印后可以被染成其他颜色; 尼龙也可以和其他材料的粉末 (如铝粉) 结合, 混合的材料具有两种材料的优点, 并能显著提高打印成品的质量。

2. ABS 塑料

ABS 全称为 Acrylonitrile-Butadiene-Styrene copolymer, 即丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚