

轻松掌握3D打印系列丛书

新增Ultimaker2组装全过程



第2版

3D打印机 轻松DIY

编著



详细、清晰的3D打印机组装过程，
零基础学组装不是梦，
带你走进神奇的3D打印机世界！



含2DVD

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

Prusa i3 / Kossel Mini/Ultimaker2
组装调试全视频讲解

轻松掌握 3D 打印系列丛书

3D 打印机轻松 DIY

第 2 版

张 统 宋 闯 编著



机械工业出版社

本书共分 8 章,介绍了 3D 打印现状和 3D 打印机种类,3D 打印机组装硬件及软件入门知识;详解 3D 打印机的组装过程、调试及故障排除,同时提供 3D 打印机组装的全过程视频光盘。附录部分提供了 3D 打印机的一些故障排除和维修、国内部分 3D 打印机厂家及网址、国内部分 3D 打印行业网站及论坛网址,以及国内外部分 3D 打印模型下载链接。

本书适合 3D 打印爱好者,或有自动化或机械等专业背景的学生,创客以及从事快速成型相关研究的人员阅读、参考,可按部就班地成功组装 3D 打印机并掌握 3D 打印模型技巧,同时可进行 3D 打印机的功能拓展与开发。

图书在版编目(CIP)数据

3D 打印机轻松 DIY/张统,宋闯编著. —2 版. —北京:机械工业出版社,2017.9

(轻松掌握 3D 打印系列丛书)

ISBN 978-7-111-57519-1

I. ①3… II. ①张… ②宋… III. ①立体印刷—印刷术—基本知识
IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 177898 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍

责任校对:佟瑞鑫 封面设计:路恩中

责任印制:李 昂

三河市宏达印刷有限公司印刷

2017 年 9 月第 2 版第 1 次印刷

169mm×239mm·17.25 印张·198 千字

0 001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-57519-1

ISBN 978-7-88709-963-1(光盘)

定价:69.00 元(含 2DVD)

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88361066

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-68326294

机工官博:weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网:www.golden-book.com

封面防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

前 言

3D 打印技术 (也称为增材制造技术, 区别传统的减材技术), 是以数字化、人工智能化及新型材料应用为特征的生产制造方式, 改变了传统的工业生产制造模式, 被称为是第三次工业革命的标志。

世界各国在争先恐后地发展和推动 3D 打印技术, 美国率先在国家层面上建立了战略规划, 以强力推动本土 3D 打印技术的统一协调发展。一方面, 通过政府资金投入的牵引, 突破现有技术瓶颈; 另一方面, 通过商业合作、媒体宣传、人才培养等多种方式, 拓展 3D 打印技术在各领域的应用和商业推广。

我国围绕落实《中国制造 2025》, 支持开发工业大数据解决方案, 利用大数据培育发展制造业新业态, 开展工业大数据创新应用试点。同时, 促进大数据、云计算、工业互联网、3D 打印、个性化定制等的融合集成, 推动制造模式变革和工业转型升级。

3D 打印作为智能制造的组成部分, 创新创业的重要工具, 头脑中创意的实现手段, 应该被大众所了解和掌握。目前, 大众还主要是从媒体和热点中了解 3D 打印, 比如打印枪支、打印房屋等新闻, 还没有真正介入其中。因此, 受机械工业出版社的委托, 写一本有关组装和调试 3D 打印机的教程, 于是本书应运而生。

本书第 1 版出版后, 受到读者欢迎。不少初学者依据书中内容组装出了第一台 3D 打印机; 获得了 3D 打印界的一些良好反馈, 一些企业参考本书内容开发了新的机器; 最远影响到西藏那曲地区, 当地学校用本书来指导 3D 打印实验室的建设; 3D 打印爱好者根据本书的信息进行了新型 3D 打印机的设计; 不少中职和高校将本书用作

3D 打印创新创业中心（双创中心）的参考书籍。在第 1 版的编写过程中，由于当时可以参考的专业资料不是太多，3D 打印爱好者的规模也没有现在这么庞大，随着时间的推移，一些设计和结构面临更新，越来越多新的硬件诞生，因此需要增加新的 DIY 机型，附录中的一些 3D 打印机厂家和网址也发生了变更，有必要对第 1 版进行修订。

3D 打印的精髓其实在于其天马行空、不受限制的想象创意能力。因此，首先让大家知道 3D 打印的来龙去脉尤为重要。

本书的第 1 章为 3D 打印的起源部分，讲述了 3D 打印的历史渊源，其目的是让大家了解 3D 打印这种技术是如何发展起来的；介绍了 3D 打印的定义与原理，用图解的形式让大家认识 3D 打印的基本概念和特点；接下来介绍了当今最常见的 3D 打印机技术分类和技术特点，同时对未来 3D 打印在生活中的应用做了简略的描述。当然 3D 打印的应用开发仅为冰山一角，更多的还希望读者关注其发展，并终将受益。

第 2 章介绍了 Reprap 开源 3D 打印机的历史轨迹，其目的是让大家了解开源硬件在推动 3D 打印机发展中所起的作用；回顾了各个时期的主要 3D 打印机机型和特点，让大家受到启发，今后也可以在其基础上改进开发适合自己的 3D 打印机机型；同时给大家选择不同机型的建议；本章还增添了关于 3D 打印材料的内容，介绍了各种材料的特性，以及不同技术原理打印机所用的打印材料，还对新型材料做了展望，让大家对 3D 打印机所用材料有个初步的认识；最后部分是准备工具方面的经验之谈。

第 3 章进入 3D 打印机组装的硬件介绍部分，系统地介绍了 Prusa i3、Kossel Mini 以及 Ultimaker2 三种主要 3D 打印机机型硬件部分的知识，详细说明选择的依据，使 3D 打印爱好者可以轻松选择组装 3D 打印机的硬件。

第4章为3D打印机软件方面知识的详细介绍，介绍了3D打印机控制板固件设置的知识，以及常用的3D打印机上位机控制软件，更加完整地讲解了两种主要3D打印模型文件切片软件，和后面的3D打印技巧遥相呼应，为以后章节的打印机操作和打印完美模型埋下了伏笔。让懂软件的技术人员迅速进入3D打印相关软件领域，让不懂软件的3D打印爱好者按图索骥，迅速掌握其软件知识。

第5章进入3D打印机组装实战，本章提供了Prusa i3、Kossel Mini和Ultimaker2三种应用最广的3D打印机机型组装过程，第一部分为Prusa i3，按从下到上、从外到内的顺序组装；第二部分、第三部分为Kossel Mini和Ultimaker2，也按照从外部框架到内部的顺序安装。三个组装实例均有图解，按照图示和文字说明，以及本书所附的组装视频讲解，可以轻松完成三种机型的组装，并了解三种不同机型的特点。

第6章演示组装后的3D打印机如何进行调试，让大家学习一些基本的调试技巧，将最终影响打印成品质量的机器因素减小到最小。

第7章3D打印机打印技巧部分，完全根据编者的经验总结，甚至有一些日常操作3D打印机的好办法，配合第4章软件的设置部分，让大家对如何设置一些打印参数、如何打印出高质量的模型有清晰的认识。

第8章的3D打印机改进和功能开发部分，完全为那些不满足于现有的机器功能，有志于新机器功能开发的读者提供。本章整理了最新的一些3D打印机的改进和功能拓展，仅作抛砖引玉，让大家在此基础上发挥出想象力和创造力，开发出更新颖、更有创意的3D打印机。

附录A和B部分提供了3D打印机的一些故障排除和维修方法，在3D打印机组装的过程中也有所涉及。附录C提供了国内的一些

3D 打印机厂家及网址。附录 D 为国内部分 3D 打印行业网站及论坛网址，让读者可以随时在网站上面了解最新 3D 打印资讯。附录 E 提供了国内外的一些 3D 打印模型下载链接地址。

本书的第 3、4、5、6 章 3D 打印机软件、硬件和组装调试方面的知识，附录 A 和 B 部分由张统老师编写。我编写了第 1、2、7、8 章，附录 C、D、E 部分。还有一些地方为共同润色。本书 3D 打印机组装的全过程视频由张统老师讲解，由我负责录制、剪辑和后期制作。

《3D 打印机轻松 DIY》适合想了解 3D 打印，并紧跟 3D 打印趋势的人群，图文并茂，让 3D 打印爱好者或有自动化、机械等专业背景的学生，以及从事快速成型相关研究的人员、创客等人群，迅速熟悉整个 3D 打印流程，能按部就班地成功组装打印机并掌握 3D 打印模型技巧，可进行 3D 打印机的功能拓展开发，迅速进入 3D 打印行业。在 3D 打印的大浪潮来临之际，希望大家抓住这个机会，实现自己的创意与创业梦，木每 3D 打印培训网必将竭尽所能，为大家提供 3D 打印的培训便利。

本书在成书过程中，获得了不少单位的无私支持，感谢机械工业出版社对作者的信任，感谢大连多维空间在拍摄 Ultimaker2 组装过程中提供的机器和技术支持，感谢大连各 3D 打印企业在信息方面提供的支持，更要感谢大连人社局创业服务中心提供的场地支持。

然而，我们还处于 3D 打印行业的拓荒阶段，缺少相关经验加以借鉴，本书存在的一些错误和偏颇之处，希望读者给予谅解。



木每 3D 打印培训网 www.mdnb.cn

大连木每三维打印有限公司

总经理 宋闯

目 录

前言

第 1 章 走进 3D 打印	1
1.1 3D 打印起源、原理及优点.....	1
1.1.1 3D 打印的起源.....	1
1.1.2 3D 打印的基本原理.....	3
1.1.3 3D 打印的优点.....	5
1.2 3D 打印机分类及常见的 3D 打印机.....	6
1.3 未来 3D 打印应用趋势.....	12
第 2 章 3D 打印机组装前的准备	19
2.1 了解 Reprap 3D 打印机.....	19
2.1.1 发展历史.....	19
2.1.2 工作原理.....	27
2.1.3 数学坐标系.....	28
2.2 选择机型.....	30
2.3 3D 打印材料选择.....	32
2.3.1 常见 3D 打印材料.....	32
2.3.2 材料的选择.....	36
2.4 准备工具.....	37
2.4.1 五金工具.....	37
2.4.2 电子及其相关工具.....	38
第 3 章 3D 打印机的硬件准备	39
3.1 框架.....	39
3.2 步进电动机.....	44
3.3 步进电动机驱动器.....	49
3.4 传动部件.....	52
3.5 限位开关.....	56
3.6 挤出部件.....	58
3.7 加热床.....	62
3.8 FSR 压力传感器.....	68
3.9 温度传感器.....	68
3.10 电源.....	70
3.11 控制电路板.....	72
3.12 液晶显示屏.....	73

第 4 章	3D 打印机的软件配置	75
4.1	常用固件	75
4.2	固件基本设置	78
4.2.1	固件详细设置	78
4.2.2	机械设置	81
4.2.3	固件上传	85
4.3	常用上位机控制软件	85
4.3.1	Pronterface 控制软件	86
4.3.2	Repetier 控制软件	88
4.4	切片软件设置	93
4.4.1	切片软件 Slic3r	93
4.4.2	切片软件 Cura	102
第 5 章	3D 打印机的组装过程	107
5.1	Prusa i3 3D 打印机组装	107
5.1.1	打印机特点和性能指标	107
5.1.2	组装流程	108
5.1.2.1	框架组装	108
5.1.2.2	Y 轴平台组装	110
5.1.2.3	Y 轴加热平台与传动组装	112
5.1.2.4	X 轴平台组装与安装	116
5.1.2.5	挤出机组装	119
5.1.2.6	电子设备安装	122
5.1.2.7	组装电路图	125
5.2	Kossel Mini 3D 打印机组装	125
5.2.1	打印机特点和性能指标	125
5.2.2	组装流程	126
5.2.2.1	型材框架组装	126
5.2.2.2	线性导轨安装	131
5.2.2.3	步进电动机安装	139
5.2.2.4	同步带安装	140
5.2.2.5	联动臂组装	142
5.2.2.6	挤出头安装	145
5.2.2.7	挤出机组装	150
5.2.2.8	加热平台安装	154
5.2.2.9	电子设备安装	155
5.2.2.10	组装电路图	157
5.3	Ultimaker2 3D 打印机组装	158

5.3.1	打印机特点和性能指标.....	158
5.3.2	组装流程.....	158
5.3.2.1	框架组装.....	158
5.3.2.2	X、Y 轴安装.....	168
5.3.2.3	Z 轴平台安装.....	177
5.3.2.4	挤出机安装.....	187
5.3.2.5	挤出头安装.....	190
5.3.2.6	电子设备安装.....	192
5.3.2.7	组装电路图.....	196
第 6 章	3D 打印机的调试.....	198
6.1	Prusa i3 3D 打印机的调试.....	198
6.1.1	打印平台的基本调试.....	198
6.1.2	限位开关的调试.....	201
6.1.2.1	限位开关位置的调试.....	201
6.1.2.2	限位开关触发的调试.....	203
6.1.3	步进电动机驱动电流的调试.....	204
6.1.4	步进电动机移动方向的校准.....	205
6.1.5	平台移动距离的校准.....	205
6.1.6	加热平台相对水平的调试.....	207
6.1.7	挤出头与加热床之间间距的调试.....	208
6.1.8	加热温度的校准.....	208
6.1.8.1	挤出头温度的校准.....	208
6.1.8.2	加热床温度的校准.....	209
6.2	Kossel Mini 3D 打印机的调试.....	209
6.2.1	框架和传动部分的调试.....	209
6.2.2	限位开关的调试.....	210
6.2.3	加热平台相对水平的自动调试.....	210
6.2.4	FSR 的触发校准.....	211
6.2.5	加热喷头和加热床距离的调试.....	211
6.3	Ultimaker2 3D 打印机的调试.....	213
6.3.1	框架结构调试.....	213
6.3.2	X、Y 轴结构调试.....	213
6.3.3	Z 轴结构调试.....	213
6.3.4	加热平台水平调试.....	214
第 7 章	3D 打印机打印技巧.....	215
7.1	3D 打印 STL 文件技巧.....	215
7.2	选择合适的打印参数.....	219

7.2.1	打印壁厚	219
7.2.2	打印层高	220
7.2.3	打印速度	221
7.2.4	填充密度	222
7.2.5	填充方式	223
7.3	选择合适的打印位置	223
7.4	合理添加支撑	224
7.5	使用智能风扇	225
7.6	适宜的环境温度	226
7.7	选择打印平台表面固定材料	226
7.8	打印过程中的问题解决技巧	229
7.8.1	打印物体翘边	229
7.8.2	堵头	230
7.8.3	打印断层	231
7.8.4	打印漂移	232
7.9	打印后模型处理	233
7.9.1	模型取下	233
7.9.2	支撑拆除	233
7.9.3	模型表面后处理	234
第 8 章	3D 打印机改进和功能开发	237
8.1	框架的改进	237
8.2	机械结构的改进	240
8.2.1	SCARA 机械臂结构 3D 打印机	240
8.2.2	小型化可折叠 3D 打印机	243
8.2.3	一机多用平台	245
8.2.4	传动结构	247
8.3	控制电路板的改进	248
8.4	挤出机的改进	249
附录		253
附录 A	故障排除	253
附录 B	维护升级	255
附录 C	国内部分 3D 打印机厂家及网址	256
附录 D	国内部分 3D 打印行业网站及论坛网址	260
附录 E	国内外部分 3D 打印模型下载链接	263
参考文献		265

第 1 章 走进 3D 打印

1.1 3D 打印起源、原理及优点

1.1.1 3D 打印的起源

长久以来，科学家和技术工作者一直有着一个用机器制作立体模型的设想，科幻电影中也常出现这样的镜头，成龙的《十二生肖》中制作生肖头像的神奇技术让大家大为惊奇。这个神奇的技术思想来源就是 3D 打印，3D 打印技术的核心制造思想在美国早已经出现。

1892 年，J. E. Blather 在其美国专利中建议用分层构造法构建立体地形图，首创了叠层制造原理。

1902 年，Carlo Baese 的专利提出了用光敏聚合物制造塑料件的原理。

1904 年，Perera 提出了将硬纸板切割出轮廓线，再将这些纸板粘接成三维地形图的方法。

20 世纪 50 年代后，出现了几百个有关 3D 打印的专利。尤其在 80 年代后期，3D 打印技术有了根本性的发展，出现的专利更多，仅在 1986—1998 年间注册的美国专利就有 24 个。1982 年，日本名古屋市

工业研究所首次公开实现实体模型的印制；1986年，查尔斯·W. 赫尔（Chuck Hull）发明的立体光刻成型技术（Stereolithography Appearance, SLA，也被称为光固化成型）被授予了专利，所以我们认为发明“现代”3D打印机的人是查尔斯·W. 赫尔；1988年，Feygin发明了分层实体制造；1989年，美国得克萨斯州大学奥斯汀分校的Deckard博士发明了选择性激光烧结技术（Selective Laser Sintering, SLS），其实在1979年，类似的过程已经由RF Housholder得到专利，但没有被商业化；1992年，Crump发明了熔融沉积制造技术（Fused Deposition Modeling, FDM），随后美国麻省理工学院（MIT）的E. M. Scars和M. J. Cima等首先提出了3D打印技术的概念，并创建了3D打印企业Z Corp。

随着3D打印专利技术的不断发明，相应地用于生产的设备也被研发出来。

1988年，美国的3D Systems公司根据查尔斯·W. 赫尔的专利，生产出了第一台现代3D打印设备——SLA-250（光固化成型机），开创了3D打印技术发展的新纪元。

在此后的十年中，3D打印技术蓬勃发展，涌现出了十余种新工艺和相应的3D打印设备。

1991年，Stratasys公司的FDM设备、Cubital的实体平面固化（Solid Ground Curing, SGC）设备和Helisys的LOM（Laminated Object Manufacturing，分层实体制造）设备都实现了商业化。

1992年，DTM（现在属于3D Systems公司）的SLS技术研发成功。

1994年，德国公司EOS推出了EOSINT选择性激光烧结设备。

1996年，3D Systems公司使用喷墨打印技术制造出其第一台3D打印机——Actua 2100。同年，Z Corp也发布了Z402 3D打印机。

近年来,随着3D打印技术的推广和媒体的广泛报道,除了军工、工业制造等传统领域,3D打印机开始走向民用,国内外出现了巧克力、陶瓷、黏土、纸张等多种材料、小型化的3D打印机,甚至连面向教育界的儿童3D打印机都已经问世,如图1-1、图1-2所示。

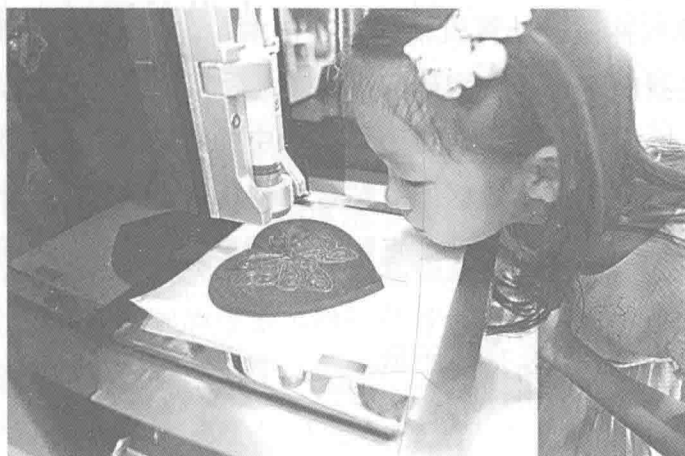


图 1-1 巧克力 3D 打印机



图 1-2 儿童 3D 打印机

1.1.2 3D 打印的基本原理

3D 打印(3D Printing),又称为增材制造(Additive Manufacturing,

AM), 目前国内习惯把快速成型技术形象地称为“3D 打印”或者“三维打印”, 但实际上“3D 打印”或者“三维打印”只是快速成型的一个分支。简而言之, 3D 打印是一种以数字模型文件为基础的直接制造技术, 基本分为软件建模—切片—选材料—累加打印 4 个主要过程。

首先用软件通过计算机辅助设计技术 (CAD) 完成一系列数字切片, 也就是我们常说的数字建模; 建模之后将这些切片的信息传送到 3D 打印机上; 3D 打印机通过读取文件中的横截面信息, 根据实际需要选用液体状、粉状或片状的可粘合材料将这些截面逐层打印, 并将各层截面以各种方式粘起来, 直到一个固态物体成型, 从而累加制造出一个实体。

3D 打印过程如图 1-3 所示。

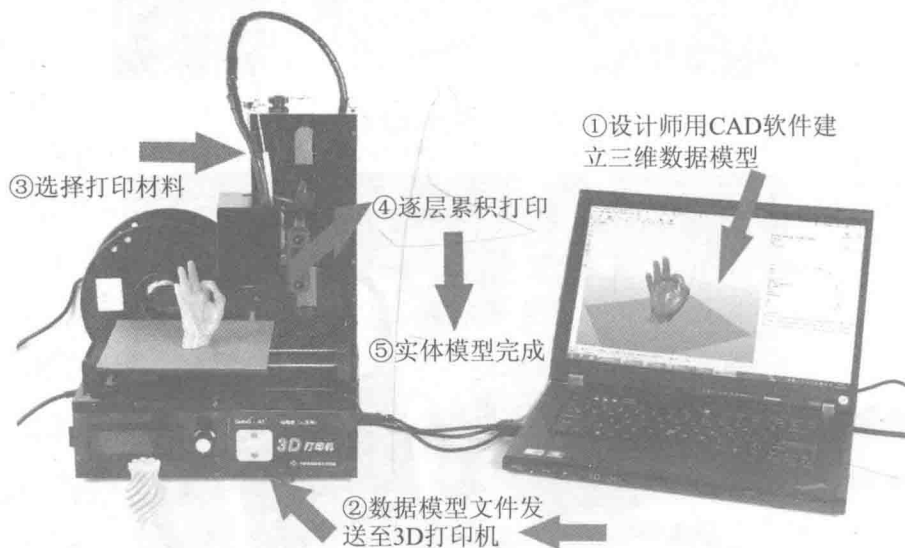


图 1-3 3D 打印过程

从图 1-3 可以看出, 3D 打印, 以采用计算机, 满足快速柔性化需求为主要目标, 必须有几何模型的计算机设计和对其进行分层解析的软件技术, 还要有能够控制激光束 (或电子束、电弧等高能束) 按任意设定轨迹运动的振镜技术、数控机床或机械手。3D 打印需要依

托至少包括信息技术、精密机械和材料科学三大技术。因此，3D 打印技术应被称为“信息化增材制造技术”或“数字化增材制造技术”更准确。

1.1.3 3D 打印的优点

3D 打印的优点如下：

1) 传统的机械加工技术通常采用切削或钻孔技术（减材工艺）实现，而 3D 打印技术可以大幅度地节省材料，不仅大大降低了制造的复杂程度，而且使用快速成型技术和快速制造技术，是不需要开模具的，可使新产品研制的成本下降和周期缩短。再加上快速成型和快速制造设备大部分可以实现无人值守、24h 的不间断加工，也就为厂商节约了人工成本，提高了生产效率。

2) 3D 打印机与传统打印机最大的区别在于，它使用的“墨水”是实实在在的原材料。3D 打印技术的特点在于其几乎可以制造任意形状的三维实体，“打印”的产品是自然无缝连接的，一体成型，结构之间的稳固性和连接强度要远远高于传统方法，而且不受产品结构和形状的限制。任何复杂的造型和结构，只要有 CAD 数据，都可以打印完成，这样就给产品的个性化、定制化提供了可能性。

3) 由于采用 3D 打印快速成型和快速制造，后期辅助加工量大大大减小，避免了委托外界加工的数据泄密和时间跨度，尤其适合一些高保密性的行业，如军工、核电领域、新产品研发等。苹果、微软等公司在新产品的设计研发阶段，已经采用 3D 打印技术。

4) 3D 打印技术可以贯穿使用在产品的设计、开发、试制、小批量生产等环节，而且无论是工业制造领域、教育领域、医疗领域、文物保护领域还是其他领域，大至一架飞机，小到一枚戒指，只要需要进行实物打样或者试制，都可以使用 3D 打印技术，适用面非常广泛。

1.2 3D 打印机分类及常见的 3D 打印机

现阶段 3D 打印存在着许多不同的技术，因此出现了基于不同技术的 3D 打印机，它们的不同之处在于使用打印材料的方式，并以不同层来构建创建部件。每种技术都有各自的优缺点，有些技术利用熔化或软化可塑性材料的方法来制造打印的“墨水”，例如选择性激光烧结（SLS）和熔融沉积制造技术（FDM）；还有一些技术是用液体材料作为打印的“墨水”的，例如立体光刻成型（SLA）、数字光处理（DLP）。部分打印机采用的技术和材料见表 1-1。

表 1-1 部分打印机采用的技术和材料

3D 打印机采用的累积技术	基本打印材料
选择性激光烧结（Selective Laser Sintering, SLS）	热塑性塑料、金属粉末、陶瓷粉末
直接金属激光烧结（Direct Metal Laser Sintering, DMLS）	几乎任何合金
熔融挤压堆积成型（Fused Deposition Modeling, FDM）	热塑性塑料，可食用材料
立体光刻成型（Stereolithography Appearance, SLA）	光硬化树脂（光敏树脂）
数字光处理（Digital Light Processing, DLP）	液态树脂
熔丝制造（Fused Filament Fabrication, FFF）	聚乳酸、ABS 树脂
融化压模式（Melted and Extrusion Modeling, MEM）	金属线、塑料线
分层实体制造（Laminated Object Manufacturing, LOM）	纸、金属膜、塑料薄膜
电子束熔化成型（Electron Beam Melting, EBM）	钛合金
选择性热烧结（Selective Heat Sintering, SHS）	热塑性粉末
粉末层喷头 3D 打印（Powder bed and inkjet head 3D Printing, 3DP ^① ）	石膏粉末

① 又被称为 Three Dimensional Printing and Gluing（三维喷涂粘结成型）。

常见的 3D 打印机介绍如下：

1. FDM（熔融挤压堆积成型）3D 打印机（图 1-4）

FDM 3D 打印机工艺的关键是保持半流动成型材料刚好在熔点