

轻松掌握3D打印系列丛书

# 3D打印

建模·打印·上色实现与技巧

## 3ds Max<sup>篇</sup>

宋闯 贾乔◎编著



手把手教你3D打印建模、打印3D产品  
带你走进神奇的3D打印世界  
成就你的3D打印梦想



**赠送** 超长视频讲解  
书中实例的建模草图、  
建模文件和打印模型文件

光盘视频时长约7个小时，包括3D打印模型建模的过程讲解视频，3D打印机的使用和模型打印过程视频，3D打印模型的上色等后期整理视频

 **机械工业出版社**  
CHINA MACHINE PRESS

轻松掌握 3D 打印系列丛书

# 3D 打印建模 · 打印 · 上色实现与技巧——3ds Max 篇

宋 闯 贾 乔 编 著



机械工业出版社

本书共分5章，第1章为3D打印的基础知识，第2章为3D打印模型建立的不同方式，第3章为专业3D打印软件3ds Max的建模过程精讲，第4章为3D打印模型打印的相关知识，第5章为3D打印模型打磨、上色等后期修整的相关知识。本书配有光盘，内容包括3D打印模型建模的过程讲解视频（6个模型，共约6h），3D打印机的使用和模型打印过程视频（23min），3D打印模型的上色等后期修整视频（31min），以及书中实例的建模草图、建模文件和打印模型文件，读者可以参考光盘，直观了解3D打印模型的建模过程、模型打印和上色的全过程。

本书适合3D打印爱好者使用。

### 图书在版编目（CIP）数据

3D打印建模·打印·上色实现与技巧. 3ds Max篇/宋闯, 贾乔编著.  
—北京: 机械工业出版社, 2015.3  
(轻松掌握3D打印系列丛书)  
ISBN 978-7-111-52726-8

I. ①3… II. ①宋… ②贾… 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（2016）第011989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：刘秀芝 封面设计：鞠杨  
责任印制：李洋

三河市国英印务有限公司印刷

2016年3月第1版第1次印刷  
169mm×239mm·16.75印张·315千字  
0 001—3 000册  
标准书号：ISBN 978-7-111-52726-8

ISBN 978-7-89405-966-6（光盘）

定价：69.00元（含1DVD）

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](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线：010-68326294

机工官博：[weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

010-88379203

金书网：[www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：[www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

# 前 言

蒸汽机的发明，将人类带入了高速发展的工业时代，飞机、火车、轮船等发明层出不穷，人类上可九天揽月，下可五洋捉鳖。而今天，3D 打印技术则被认为是一项改变世界的新技术，一种给人类带来新的福音的革命性发明，已经进入我们的视野。

3D 打印是一种不需要传统工具和机床就能打造出任意形状、根据物体的三维模型数据制成实物模型的技术，将工业制造业的设计、制造、存储、运输、维修等传统流程变成一种创造性的打印工作。对大众来说，3D 打印还处于刚刚认识的萌芽期，但是它已经成为制造业中的新兴战略领域。

据预测，3D 打印将在 2016 年前在全球范围内创造 31 亿美金的产值，到 2020 年，这个数字将达到 52 亿美金。

早在 2012 年 8 月，美国总统奥巴马拨款 3000 万美元，在俄亥俄州建立了国家级 3D 打印工业研究中心，并计划第一步投入 5 亿美元用于 3D 打印，以确保美国制造业不继续转移到中国和印度。

在海外 3D 打印产业链逐渐形成、各巨头攻占全球市场的同时，我国本土公司也频频试水，争夺制造业新生产力的高地。

我国政府对 3D 打印非常重视，对 3D 打印的前景非常看好，目标于 2017 年初步建立 3D 打印创新体系，培育 10 家以上产值达到 5 亿元的 3D 打印企业。

但是现阶段我们也看到，企业购置 3D 打印设备的数量非常有限，应用范围狭窄；而在教育教学方面，也缺少对 3D 打印技术的启蒙和科普教育，机械、材料、信息技术等工程学科的教学课程体系，缺乏与 3D 打印相关的必修环节，3D 打印停留在部分学生的课外兴趣研究层面，得不到深入研究。

因此，3D 打印作为最前沿的科技、最创新的工具，值得我们抓住全球的趋势和浪潮，去投入精力大力研究。在机械工业出版社的统筹安排下，我们希望通过出版有关 3D 打印基础知识、建模和打印上色的书籍，来为宣传和普及 3D 打印尽一点微薄之力。

本书第 1 章为 3D 打印的基础知识，包括 3D 打印的定义、特点和一些行业应用案例，让读者对 3D 打印在各行业的应用有个初步的认识，起到抛砖引玉的作用；书中首次提出 3D 打印提高“创造性智商”的概念，

并结合当下最为流行的创客概念,对 3D 打印的未来提出了一些前瞻的展望,比如 3D 打印分散众包这种新形式。

第 2 章是 3D 打印模型建立的不同方式介绍,让读者了解 3D 打印模型的几种来源,有哪些形式,推荐了一些简单上手的建模软件,使不同行业、不同水平的读者可以根据自身情况进行学习。

第 3 章是专业 3D 打印软件 3ds Max 的建模过程精讲,从玩具摆件、生活类模型、卡通模型、工业设计几个方面的常见案例来进行详尽的建模讲解,让读者不仅可以了解 3D 打印软件建模的详细流程和思路,还可以举一反三,为自己灵活建模打下基础。

第 4 章为 3D 打印模型打印的相关知识,结合了作者在 3D 打印宣传推广过程中的一些经验总结,包括 3D 打印常用材料、3D 打印软件界面和功能、3D 打印模型文件知识,并以常见的 3D 打印机为例,讲解了 3D 模型打印的顺序和全部过程。按照书中的操作,初学者可以掌握全部流程。

第 5 章为 3D 打印模型打磨、上色等后期修整的相关知识,介绍了包括 3D 打印模型拼接、打磨、上色等简便易行的方法和其他后期整理方法,适合对 3D 打印上色等后期修整感兴趣的读者,更适合一些模型爱好者和手工爱好者迅速掌握 3D 打印的后期整理知识。

附录部分:附录 A 收集了国内外部分 3D 打印模型下载网站,读者可以直接下载模型并进行打印;附录 B 收集了国内部分 3D 打印网站和相关论坛,读者可以了解 3D 打印行业相关知识;附录 C 收集了国内部分 3D 打印机厂家,读者可以选择合适的打印机进行学习和研究,如有需求,作者也可以推荐一些性能优良的 3D 打印机供选择。附录 D 列举了打印过程中的故障处理和维护保养知识。

本书配有光盘,包括 3D 打印模型建模的过程讲解视频(6 个模型,共约 6h),3D 打印机的使用和模型打印过程视频(23min),3D 打印模型的上色等后期修整视频(31min),以及书中实例的建模草图、建模文件和打印模型文件,读者可以参考光盘,直观了解 3D 打印模型的建模过程、模型打印和上色的全过程。

本书第 3 章由贾乔负责编写,并进行了视频录制和讲解;其他部分由大连木每三维有限公司宋闯负责编写和视频录制。

本书在成书的过程中,得到了来自各方面的支持和帮助。首先感谢机械工业出版社的信任和指导;感谢大连理工大学谭晓梅给我提供的 3D 打印行业信息,得以克服成书过程中的困难;感谢大连瑞朗科技提供的设备和技术支持,张延全牺牲周末时间进行打印和录制工作;感谢小虎军事模型工作室

于寅虎提供的 3D 打印模型后期上色全程讲解和操作。

由于 3D 打印为新兴行业，属于机械、计算机图形设计、材料科学等多学科的综合学科，木每三维打印还仅仅是 3D 打印行业的拓荒者，书中一些 3D 打印的经验和知识若有偏颇和疏漏，还望更多投身 3D 打印的有志之士给予指正。

大连木每三维打印有限公司 宋闯

2015 年 8 月



微信号：dl3dda

# 目 录

## 前言

|  |    |
|--|----|
| 第 1 章 3D 打印简介 .....                    | 1  |
| 1.1 3D 打印的定义和特点 .....                  | 1  |
| 1.1.1 3D 打印的定义 .....                   | 2  |
| 1.1.2 3D 打印的特点 .....                   | 2  |
| 1.2 3D 打印机分类 .....                     | 4  |
| 1.2.1 从技术原理上分类 .....                   | 4  |
| 1.2.2 从打印精度和适用范围分类 .....               | 7  |
| 1.3 3D 打印应用行业 .....                    | 8  |
| 1.3.1 汽车制造业 .....                      | 9  |
| 1.3.2 考古与古生物学 .....                    | 9  |
| 1.3.3 建筑行业 .....                       | 10 |
| 1.3.4 医学和生物科学 .....                    | 11 |
| 1.3.5 航空航天领域 .....                     | 12 |
| 1.3.6 娱乐艺术领域 .....                     | 12 |
| 1.3.7 食品行业 .....                       | 14 |
| 1.4 3D 打印未来所带来的变革 .....                | 15 |
| 1.4.1 3D 打印与创造性智商 .....                | 15 |
| 1.4.2 3D 打印创业与创客 .....                 | 16 |
| 第 2 章 3D 打印建模方式 .....                  | 18 |
| 2.1 照片建模 .....                         | 18 |
| 2.1.1 照片建模软件 Autodesk 123D Catch ..... | 18 |
| 2.1.2 使用照片建模软件的注意事项 .....              | 21 |
| 2.1.3 照片建模手机版本 .....                   | 22 |
| 2.2 扫描建模 .....                         | 23 |
| 2.2.1 3D 扫描仪 .....                     | 23 |
| 2.2.2 其他 3D 扫描方法 .....                 | 24 |
| 2.3 软件建模 .....                         | 25 |
| 2.3.1 三维建模专业软件 .....                   | 25 |
| 2.3.2 免费开源的 3D 模型设计软件 .....            | 25 |
| 2.4 模型下载和网页在线建模 .....                  | 27 |
| 2.4.1 模型下载 .....                       | 27 |

|  |            |
|--|------------|
| 2.4.2 网页在线的 3D 模型设计软件.....             | 28         |
| <b>第 3 章 3ds Max 软件 3D 打印建模详解.....</b> | <b>30</b>  |
| 3.1 3ds Max 建模软件界面.....                | 30         |
| 3.2 二维样条线面板与建模.....                    | 33         |
| 3.2.1 应用二维样条线制作高脚杯.....                | 34         |
| 3.2.2 艺术字体的制作.....                     | 38         |
| 3.2.3 复合对象建模与布尔运算.....                 | 40         |
| 3.2.4 制作家庭艺术品小摆件.....                  | 47         |
| 3.3 主建模工具的使用.....                      | 51         |
| 3.3.1 poly 面板.....                     | 52         |
| 3.3.2 选择（编辑顶点、边线、边界、多边形）.....          | 52         |
| 3.3.3 软选择.....                         | 53         |
| 3.3.4 编辑顶点、边、多边形以及几何体.....             | 55         |
| 3.3.5 细分曲面.....                        | 63         |
| 3.3.6 绘制变形.....                        | 64         |
| 3.4 修改器.....                           | 65         |
| 3.4.1 常用修改器.....                       | 65         |
| 3.4.2 修改器应用案例.....                     | 68         |
| 3.5 生活类模型几何体建模.....                    | 73         |
| 3.5.1 创建模型前的准备.....                    | 74         |
| 3.5.2 “情侣杯”建模流程.....                   | 76         |
| 3.5.3 “萌猫”储物盒建模流程.....                 | 93         |
| 3.6 创建工业模型.....                        | 121        |
| 3.6.1 齿轮挂钟建模流程.....                    | 121        |
| 3.6.2 “概念摩托”建模流程.....                  | 138        |
| 3.7 创建玩具模型.....                        | 165        |
| 3.7.1 “Baymax 大白”模型创建.....             | 165        |
| 3.7.2 “哆啦 A 梦——美国队长”模型创建.....          | 180        |
| <b>第 4 章 3D 打印过程详解.....</b>            | <b>203</b> |
| 4.1 3D 打印材料.....                       | 203        |
| 4.1.1 多种多样的 3D 打印材料.....               | 203        |
| 4.1.2 常用 3D 打印材料选择.....                | 205        |
| 4.2 3D 打印文件相关知识.....                   | 208        |
| 4.2.1 3D 打印文件 STL 的导出.....             | 208        |
| 4.2.2 适合打印的 STL 文件.....                | 210        |



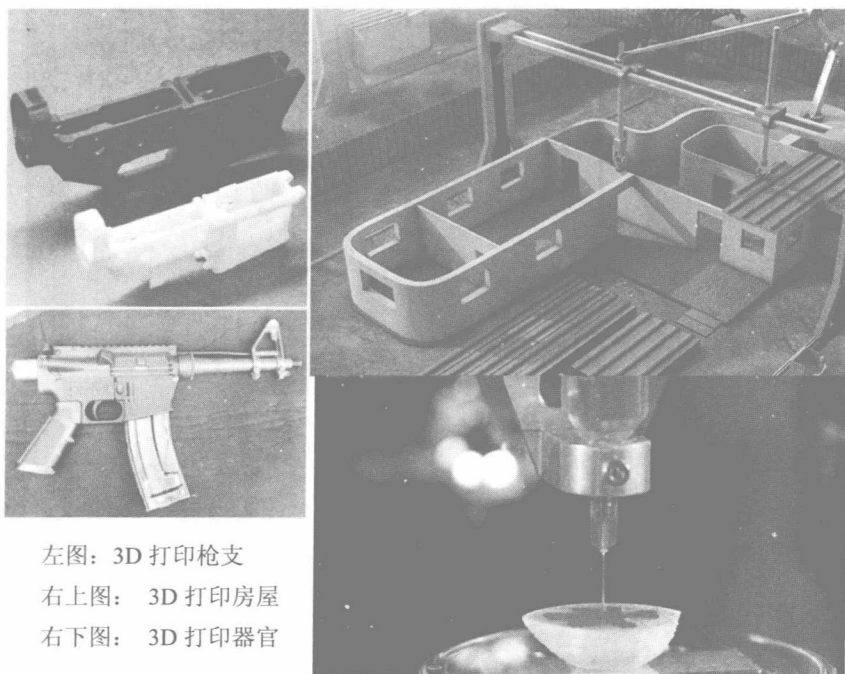
|   |            |
|---|------------|
| 4.3 3D 打印机软件设置 .....                    | 214        |
| 4.3.1 Cura 切片软件详解 .....                 | 214        |
| 4.3.2 切片软件 Longer 3D 设置实例——哆啦 A 梦 ..... | 220        |
| 4.4 3D 打印机操作经验汇总 .....                  | 224        |
| 4.4.1 打印平台调整 .....                      | 224        |
| 4.4.2 模型牢固黏结和防止翘边 .....                 | 225        |
| 4.4.3 3D 打印材料导入和更换 .....                | 226        |
| 4.4.4 打印模型参数控制 .....                    | 228        |
| 4.4.5 模型取下 .....                        | 231        |
| 4.5 3D 打印实例——“哆啦 A 梦”打印流程 .....         | 231        |
| <b>第 5 章 3D 打印模型后期修整 .....</b>          | <b>232</b> |
| 5.1 支撑去除和拼接 .....                       | 232        |
| 5.1.1 基面和支撑去除技巧 .....                   | 232        |
| 5.1.2 拼合黏结技巧 .....                      | 233        |
| 5.2 补土 .....                            | 236        |
| 5.2.1 补土种类 .....                        | 236        |
| 5.2.2 补土的技巧 .....                       | 237        |
| 5.3 打磨和表面处理 .....                       | 238        |
| 5.3.1 打磨 .....                          | 238        |
| 5.3.2 其他 3D 打印模型表面处理方法 .....            | 240        |
| 5.4 上色修饰 .....                          | 242        |
| 5.4.1 模拟上色效果 .....                      | 242        |
| 5.4.2 上色用工具和颜料 .....                    | 242        |
| 5.4.3 上色步骤 .....                        | 244        |
| 5.5 3D 打印模型后期修整实例——“哆啦 A 梦” .....       | 247        |
| <b>附录 .....</b>                         | <b>251</b> |
| 附录 A 国内外部分 3D 打印模型网站 .....              | 251        |
| 附录 B 国内 3D 打印行业网站/论坛 .....              | 252        |
| 附录 C 国内部分 3D 打印机厂家 .....                | 253        |
| 附录 D 3D 打印机常见故障排除和维护 .....              | 257        |
| <b>参考文献 .....</b>                       | <b>259</b> |

# 第 1 章 3D 打印简介

## 1.1 3D 打印的定义和特点

3D 打印词条一度成为网络上的热门词汇，超过 1000 万条搜索结果，3D 打印行业被美国《时代》周刊列为“美国十大增长最快的工业”，英国《经济学家》杂志则认为“它将与其他数字化生产模式一起推动实现第三次工业革命”。3D 打印作为工业化 4.0 的重要组成部分，除了在工业上用途广泛之外，越来越多的走向民用。3D 打印的话题在媒体上也非常火爆，打印枪支、房屋、人体器官等爆炸性新闻频频刷新着我们的想象力，如图 1-1 所示。

下面我们就来了解，什么是 3D 打印和 3D 打印的特点。



左图：3D 打印枪支

右上图：3D 打印房屋

右下图：3D 打印器官

图 1-1 3D 打印枪支、房屋和器官

### 1.1.1 3D 打印的定义

3D 打印 (3D Printing) 是快速成型技术 (Rapid Prototyping, 简称 RP) 中的一种, 是将 CAD 数据通过成型设备以材料堆积累加的方式制成实物模型的技术。

从原理上简单来说, 3D 打印采用分层加工、叠加成型、逐层增加材料的方式来“打印”, 这一点与生活中常见的喷墨打印机的工作方法十分类似, 3D 打印是打印完一层换另一层, 而喷墨打印机是在纸上打印若干的直线形成图像, 如图 1-2 所示。

由于 3D 打印的整个流程是打印机通过对计算机中三维软件的识别, 进行 STL (三角网格格式, 3D 打印机常用的格式) 转换, 再结合切层软件确定摆放方位和切层路径, 并进行切层工作和相关支撑材料的构造, 可以直接制作出三维立体模型, 也被形象地称为三维打印, 在我国的台湾地区还被称为三维列印。

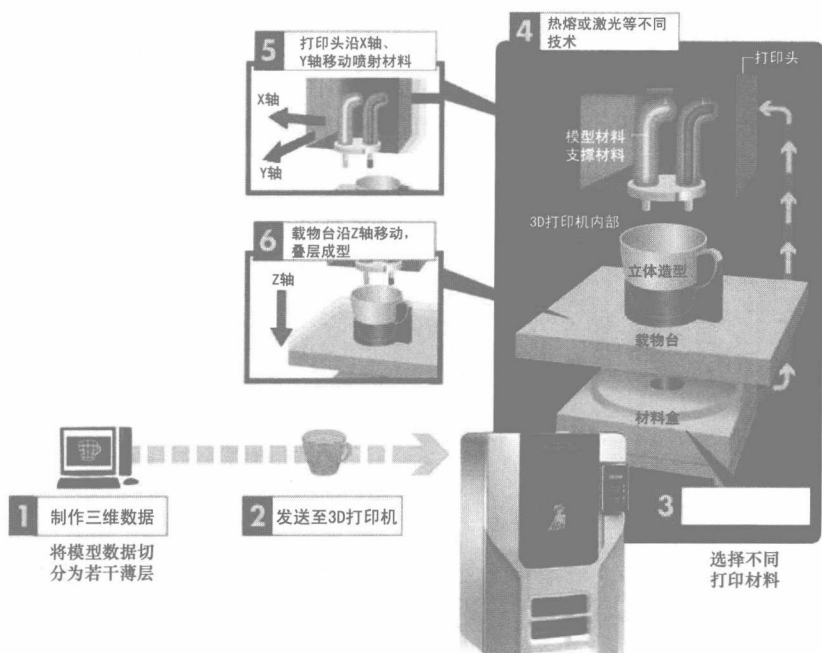


图 1-2 3D 打印原理图

### 1.1.2 3D 打印的特点

3D 打印又被称为增材制造 (区别于传统的减材加工) 和积层制造 (Additive Manufacturing, AM), 是目前最具有生命力的快速成型技术之一, 具有以下特点:

1) 3D 打印运用可黏合的材料,通过一层层打印方式来构造物体,这一成型过程不再需要传统的刀具、夹具和机床就可以打造出任意形状。3D 打印改变了通过对原材料进行切削、组装进行生产的加工模式,它可以自动、快速、直接和精确地将计算机中的设计转化为模型,实现了随时、随地、按不同需要进行生产制造。

2) 与传统的金属制造技术相比,3D 打印技术采用的是增料的加工方式,相对于数控机床的减料加工就避免了对原材料的浪费,制造时产生较少的副产品,随着打印材料的进步,“净成形”制造可能成为更环保的加工方式。同样的一个东西,它的用料只有原来的 $1/3\sim 1/2$ ,这就降低了加工材料成本。3D 打印机的制造速度相对较快,比数控机床快了近 $3\sim 4$ 倍,不需要工人值守,节省了人力,尤其是在打印复杂造型的时候,这种优势更加明显。

3) 3D 打印技术综合应用了CAD/CAM 技术、激光技术,光化学以及材料科学等诸多方面的技术和知识,让产品设计、建筑设计、工业设计、医疗用品设计等领域的设计者,第一时间方便、轻松地获得实物模型,便于重新修订CAD 设计模型,从而有效地缩短产品研发周期、提高产品质量并缩减生产成本。

4) 3D 打印能加工制作现有的加工工艺及技术无法实现的结构。很多做三维设计的设计师发现,在设计完图样进入开模具制作阶段时,部分设计结构无法进行模具制作,而对于3D 打印,只要能画得出三维零件,3D 打印机就能打印实现。另外,现有工艺上,比如有些产品的实心部分,因为工艺及技术所限,不需要实心的部位无法掏空内部。而3D 打印机就可以通过打印参数设计,实现对这部分结构的空心化处理。有些奇怪的结构,常规工艺需要多零件拼接成型,而3D 打印机可以一体打印成型。如图1-3所示的哨子,打印机可以一次性打印出哨子外壳和内部的球体,里面的球体是活动的。理论上只要是计算机可以设计出来的造型,3D 打印机都可以打印出来,消费者只需下载设计图,就可以在数小时内打印出自己想要的任何东西,满足了人们的个性化需求。

5) 3D 打印机打印精度高,除了可以表现出外形曲线上的设计以外,结构以及运动部件也不在话下。如果用来打印机械装配图,齿轮、轴承、拉杆等都可以正常活动,而腔体、沟槽等形态特征位置准确,甚至可以满足装配要求,打印出的实体还可通过打磨、钻孔、电镀等方式进一步加工,如图1-4所示。

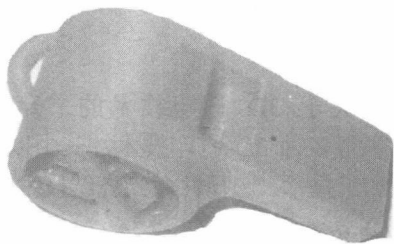


图 1-3 3D 打印的哨子

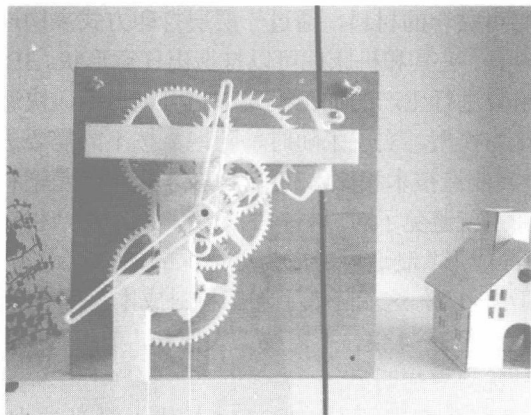


图 1-4 可正常活动的 3D 打印机械运动结构

6) 对当今的制造机器而言,在切割或模具成型过程中将多种原材料融合在一起,结合成单一产品是很困难的。随着多材料 3D 打印技术的发展,我们有能力将不同原材料融合在一起。以前无法混合的原料混合后将形成新的材料,这些材料色调种类繁多,具有独特的属性或功能。不限于砂型材料,还有弹性伸缩、高性能复合、熔模铸造等其他材料可供选择。

7) 3D 打印的数据文件可以远程传输,就像数字音乐文件一样,可以被无休止的复制,音频质量并不会下降。未来,3D 打印将数字精度扩展到实体世界,我们可以扫描、编辑和复制实体对象,创建精确的副本或优化原件。将数字文件通过网络远程传送的方式传送给世界上的任何一个角落,可以将大型的打印任务以众包的形式分散给各个拥有 3D 打印机的工厂或者个人,打印后再统一组装起来。比如,我国的一个 3D 打印行业网站发起的打印马云头像的众包任务和美国发起的一项全球协作打印富兰克林头像的任务(在 1.4 节“3D 打印带来的变革”中,将详细介绍这种众包形式)。

## 1.2 3D 打印机分类

### 1.2.1 从技术原理上分类

在 Andreas Gebhardt 关于 3D 打印技术的书籍《Understanding Additive Manufacturing》中,列举了很多种 3D 打印技术,其中以熔融沉积成型技术、激光立体印刷术、数字化光照加工技术、选择性激光烧结技术、三维打印技术较为常用。

#### 1. 以高分子聚合反应为基本原理

(1) 激光立体印刷术 (Stereolithography) 简称 SLA, 国外公司以 Objet

(已和 Stratasys 合并) 和 Formlabs 为代表, 所用材料为光敏树脂, 技术非常灵活, 适用于精度要求高的领域, 成品有非常好的表面质量, 如图 1-5 所示。

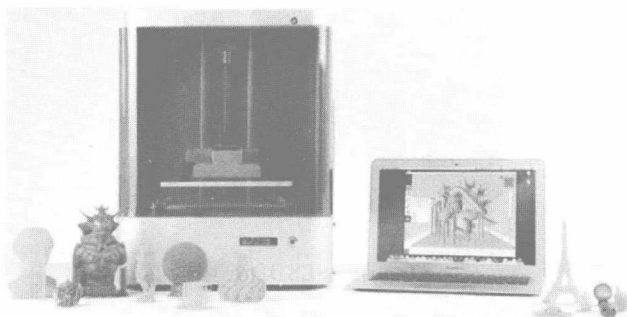


图 1-5 SLA 3D 打印机和打印成品

(2) 数字化光照加工技术 (Digital Lighting Processing) 简称 DLP, 和 SLA 相似, 打印速度比 SLA 快, 所用材料也为光敏树脂, 打印精度高。在珠宝首饰、牙科、动漫方面应用较多, 如图 1-6 所示。

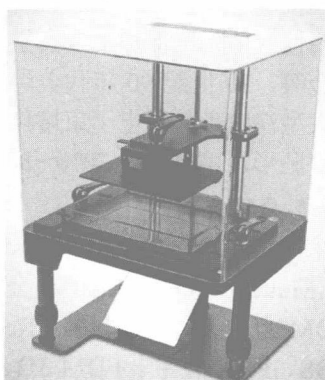


图 1-6 DLP 3D 打印机

利用高分子聚合反应为原理的打印机还有几种, 比如利用高分子打印技术 (Polymer Printing)、高分子喷射技术 (Polymer Jetting 或 PolyJet) 和微型立体印刷术 (Micro Stereolithography) 的打印机。

## 2. 以烧结和熔化为基本原理

(1) 选择性激光烧结技术 (Selective Laser Sintering) 简称 SLS, 国外以 3D 打印行业龙头 3D System 公司和德国 EOS 公司为代表, 国内以华曙高科为代表。工业上较为常用, 可以烧结尼龙粉末、金属粉末、树脂沙、尼龙+矿纤、尼龙+玻纤等材料, 广泛应用在电动工具、电器开关、家电产品、风机叶轮、汽车零件、无人机、医疗器械等领域。图 1-7 为国产 SLS 3D 打印机。

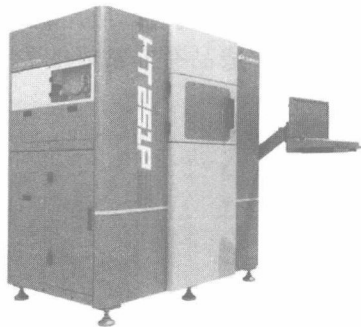


图 1-7 国产 SLS 3D 打印机

(2) 选择性激光熔化技术 (Selective Laser Melting) 简称 SLM, 是采用中小功率激光快速完全熔化选区内金属粉末, 快速冷却凝固的技术。由 SLS 演化而来, 但区别是 SLM 在加工过程中金属粉末完全熔化, 经散热冷却后可实现与固体金属冶金焊合成型, 因此成品具有密度更高的优势。

(3) 电子束熔化技术 (Electron Beam Melting) 简称 EBm, 利用电子束快速扫描成型的熔融区, 用金属丝按电子束扫描线步进放置在熔融区上, 电子束熔融金属丝形成熔融金属沉积, 在惰性气体隔绝保护下或真空状态下, 电子束可以处理铝合金、钛合金、镍基高温合金等。20 世纪 90 年代美国麻省理工和普惠联合研发了这一技术, 并利用它加工出大型涡轮盘件。电子束熔化成型形成零件精度有限, 能获得比精密铸造更精确的零件胚形, 可以减少 70%~80% 机械加工的工时及成本。

### 3. 以粉末-黏合剂为基本原理

(1) 熔融沉积成型技术 (Fused Deposition Modeling) 简称 FDM, 著名代表有 Reprap 开源项目、MakerBot 和 Stratasys 公司, 我国 3D 打印机市场上的家用机器大部分以 FDM 为主, 很多都是从 Reprap 开源项目拓展而来, 如图 1-8 所示。材料以 ABS、PLA 为主。FDM 3D 打印机以其较低的成本以及日渐提高的打印质量颇受消费者欢迎。本书也以国产 FDM 3D 打印机为例详细讲解建模、打印的全过程。

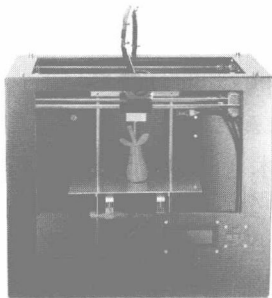


图 1-8 FDM 3D 打印机

(2) 三维打印技术 (Three Dimensional Printing) 简称 3DP, 代表企业 Zcorp (已被 3D Systems 收购) 和 Voxeljet 公司所用原料为石膏粉, 可以打印全彩模型。

#### 4. 层压制造技术

层压制造技术 (Layer Laminate Manufacturing, LLM) 又被称为分层实体制造 (LOM), 常用材料是纸、金属箔、塑料膜、陶瓷膜等, 激光切割系统按照计算机提取的横截面轮廓线数据, 将背面涂有热熔胶的纸用激光切割出工件的内外轮廓。切割完一层后, 送料机构将新的一层纸叠加上去, 利用热黏压装置将已切割层黏合在一起, 然后再进行切割, 这样一层层地切割、黏合, 最终成为三维工件。此方法除了可以制造模具、模型外, 还可以直接制造结构件或功能件。

#### 5. 气溶胶打印技术

气溶胶打印技术是 (Aerosol Printing) 近年来新出现的一种打印技术, 通过将形成的气溶胶喷射至基底表面而成膜, 打印分辨率好、适用范围广。它利用空气动力学原理实现了纳米级材料的精确沉积成型, 能制作精细的功能电路和嵌入式组件而无须使用掩模或其他模具, 可以有效减少电子系统的整体尺寸。这种技术可以制造线宽和电路结构达到 10 微米级的功能性电子芯片。

#### 6. 生物绘图技术 (Bioplotter)

可采用多种生物材料的快速成型打印机, 实现从三维 CAD 模型和患者的 CT 扫描数据到实体的 3D 生物支架转变, 其制作的生物支架具有符合设计要求的外在形式和开放的内在结构。适合在生物材料要求的无菌环境下进行生物组织制造, 例如使用海藻悬浮细胞打印生物支架。制作生物支架所运用的材料范围最广, 从聚合物熔体、软凝胶到硬陶瓷、金属都有。

(1) 骨骼再生 羟磷灰石 (Hydroxyapatite)、钛 (Titanium)、磷酸三钙碳 (Tricalcium Phosphate)。

(2) 药物控释 聚己酸内酯 (PCL)、聚乳酸 (PLLA) 和乳酸-羟基乙酸共聚物 (PLGA)。

(3) 软组织生物结构/器官打印 琼脂 (Agar)、聚氨基葡萄糖 (Chitosan)、藻硫酸盐 (Alginate)、白明胶 (Gelatin)、骨胶原 (Collagen) 和纤维素 (Fibrin)。

(4) 概念模型 聚氨基甲酸乙酯 (Polyurethane)、硅酮 (Silicone)。

### 1.2.2 从打印精度和适用范围分类

从打印质量精度和适用范围上来看, 可以分为桌面级和工业级 3D 打印机。

#### 1. 精度

现阶段桌面级 3D 打印机的精度大约在 0.1mm 左右, 打印出来的产品会有很明显的分层感, 工业级打印机的精度则可以精确到几微米, 如图 1-9 所示。



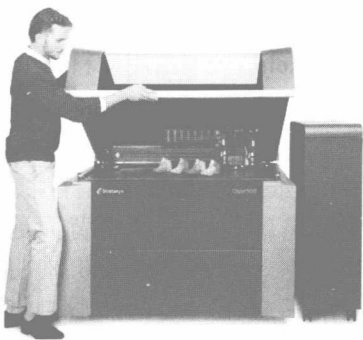


图 1-9 工业级 3D 打印机

## 2. 适应材料

对于工业级的 3D 打印机来说，目前可以用于打印的材料已经较为丰富，比如塑料、金属、玻璃，甚至可以打印类似木材的材料。图 1-10 为工业级 3D 打印机打印的金属件。

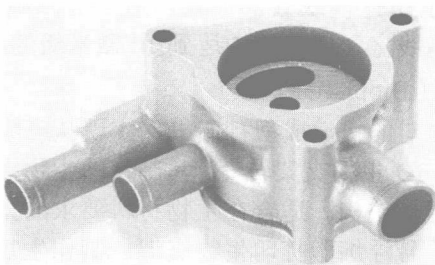


图 1-10 工业级 3D 打印机打印的金属件

而对于桌面级的产品来说，目前能使用的材料还仅限于 ABS、PLA、HIPS 等塑料材质，这也限制了桌面级 3D 打印机的适用范围。

## 3. 价格

从价格上看，目前大多数桌面级 3D 打印机的售价在几千到上万元人民币，工业级 3D 打印机的价格从几十万到几百万不等，价格因素无疑是目前 3D 打印机普及的最大障碍。

此外，从应用行业上来说，有为特定行业服务的陶瓷打印机、巧克力打印机、服装打印机等。

## 1.3 3D 打印应用行业

3D 打印机应用范围之广是我们无法想象的，可以用于珠宝、鞋类、工业设