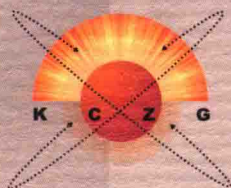




上海出版基金项目
Shanghai Publishing Funds

“科创之光”书系 (第一辑)



3D打印 智造梦工厂

上海科学院 上海产业技术研究院 组编
周伟民 黄萍 主编

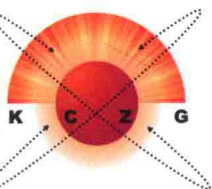


上海科学普及出版社



上海出版资金项目
Shanghai Publishing Funds

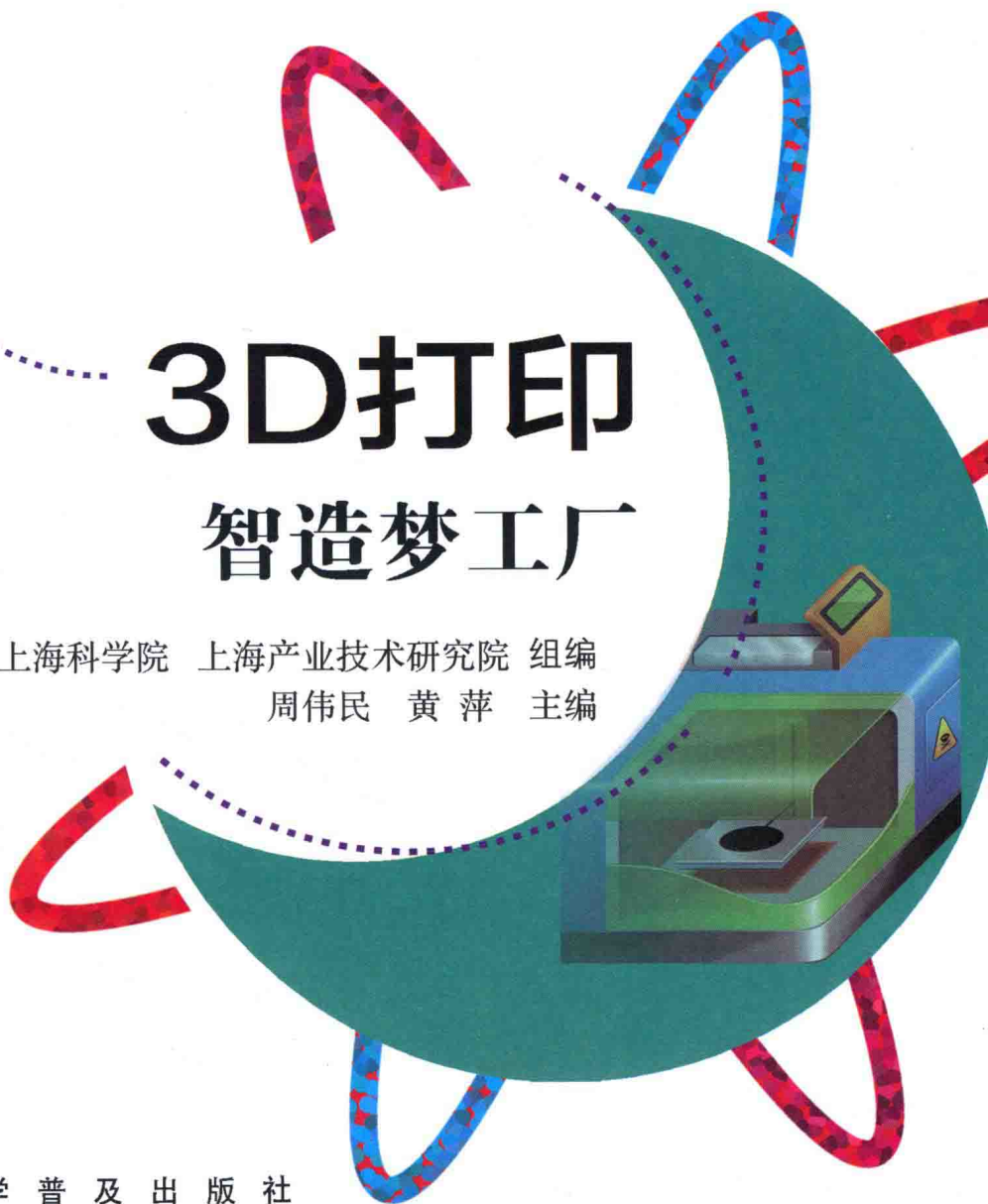
“科创之光”书系(第一辑)



3D打印

智造梦工厂

上海科学院 上海产业技术研究院 组编
周伟民 黄萍 主编



上海科学普及出版社

图书在版编目(CIP)数据

3D打印: 智造梦工厂 / 周伟民, 黄萍主编. —上海: 上海科学普及出版社, 2018.1
(科创之光书系. 第一辑 / 上海科学院, 上海产业技术研究院组编)
ISBN 978-7-5427-7020-2

I. ①3… II. ①周… ②黄… III. ①立体印刷-印刷
术-青少年读物 IV. ①TS853

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第210396号

书系策划 张建德
责任编辑 林晓峰
美术编辑 赵 斌
技术编辑 葛乃文

“科创之光”书系(第一辑)

3D 打印
——智造梦工厂

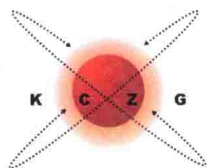
上海科学院 上海产业技术研究院 组编
周伟民 黄 萍 主编
上海科学普及出版社出版发行
(上海中山北路832号 邮政编码200070)

<http://www.pspsh.com>

各地新华书店经销 苏州越洋印刷有限公司印刷
开本 787×1092 1/16 印张 11.25 字数 151 000
2018年1月第1版 2018年1月第1次印刷

ISBN 978-7-5427-7020-2 定价: 38.00元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题
请向出版社联系调换



序

“苟日新，日日新，又日新。”这一简洁隽永的古语，展现了中华民族创新思想的源泉和精髓，揭示了中华民族不断追求创新的精神内涵，历久弥新。

站在 21 世纪新起点上的上海，肩负着深化改革、攻坚克难、不断推进社会主义现代化国际大都市建设的历史重任，承担着“加快向具有全球影响力的科技创新中心进军”的艰巨任务，比任何时候都需要创新尤其是科技创新的支撑。上海“十三五”规划纲要提出，到 2020 年，基本形成符合创新规律的制度环境，基本形成科技创新中心的支撑体系，基本形成“大众创业、万众创新”的发展格局。从而让“海纳百川、追求卓越、开明睿智、大气谦和”的城市精神得到全面弘扬；让尊重知识、崇尚科学、勇于创新的社会风尚进一步发扬光大。

2016 年 5 月 30 日，习近平总书记在“科技三会”上的讲话指出：“科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。没有全民科学素质普遍提高，就难以建立起宏大的高素质创新大军，难以实现科技成果快速转化。”习近平总书记的重要讲话精神对于推动我国科学普及

事业的发展，意义十分重大。培养大众的创新意识，让科技创新的理念根植人心，普遍提高公众的科学素养，特别是培养和提高青少年科学素养，尤为重要。当前，科学技术发展日新月异，业已渗透到经济社会发展的各个领域，成为引领经济社会发展的强大引擎。同时，它又与人们的生活息息相关，极大地影响和改变着我们的生活和工作方式，体现出强烈的时代性特征。传播普及科学思想和最新科技成果是我们每一个科技人义不容辞的责任。《“科创之光”书系》的创意由此而萌发。

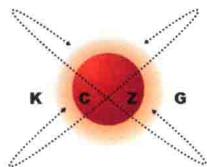
《“科创之光”书系》由上海科学院、上海产业技术研究院组织相关领域的专家学者组成作者队伍编写而成。本书系选取具有中国乃至国际最新和热点的科技项目与最新研究成果，以国际科技发展的视野，阐述相关技术、学科或项目的历史起源、发展现状和未来展望。书系注重科技前瞻性，文字内容突出科普性，以图文并茂的形式将深奥的最新科技创新成果浅显易懂地介绍给广大读者特别是青少年，引导和培养他们爱科学和探索科技新知识的兴趣，彰显科技创新给人类带来的福祉，为所有愿意探究、立志创新的读者提供有益的帮助。

愿“科创之光”照亮每一个热爱科学的人，砥砺他们奋勇攀登科学的高峰！

上海科学院院长、上海产业技术研究院院长

钮晓鸣





前言

2012年4月，世界著名的《经济学人》杂志将3D打印誉为“第三次工业革命”最具标志性的生产工具后，3D打印技术立刻引起了世界各国的高度关注。3D打印技术是从数字模型通过材料堆积来生产三维实体的技术，已经广泛应用到各个行业中，包括工业设计、模具、医疗、航空航天、文化创意等，成为产业升级和自主创新的重要推力。当今，以信息技术与制造技术深度融合为特征的智能制造模式，正在引发整个制造业的深刻变革。3D打印是制造业有代表性的颠覆性技术，实现了制造从等材、减材到增材的重大转变，改变了传统制造的理念和模式，具有重大应用价值。

3D打印技术被称为最佳的创新手段之一，发达国家纷纷进行3D打印创新性教育，已经渗透到中小学教育中。如美国在STEAM素质教育中，将3D打印技术融入其中。韩国政府规划的目标包括到2020年培养1 000万名创客，并在全国范围内建立3D打印基础设施。目前我国3D打印技术的人才匮乏，严重制约了这项技术的发展，因此，对3D打印技术的普及就显得尤为重要。

为了提高全民对 3D 打印技术的认识，作者参考了大量文献资料并结合作者所在单位上海产业技术研究院和上海市纳米科技与产业发展促进中心的研究成果，编写了这本 3D 打印技术的科普读物，试图为了解和想要学习“3D 打印技术”的读者打开一扇知识的大门。全书涵盖了 3D 打印技术的方方面面，深入浅出地介绍了 3D 打印数据获取、建模软件、3D 打印材料、主流的 3D 打印技术以及 3D 打印应用。

本书由上海产业技术研究院周伟民编写了 3D 打印的起始与发展、三维印刷工艺、可用于 3D 打印的材料、3D 打印带你行走时尚前沿、3D 打印的发展趋势，陈伟琦编写了三维数据如何获取和处理，徐盛昌编写了熔融沉积成型技术，陈君博编写了光固化立体成型技术、数字光处理技术，孔龙编写了选择性激光烧结技术、叠层实体制造技术、金属 3D 打印技术、3D 打印与航空航天，黄萍编写了 3D 打印“克隆”另一个你，上海交通大学胡俊编写了 3D 打印助你行、3D 打印点亮生活。全书由周伟民校正统稿。

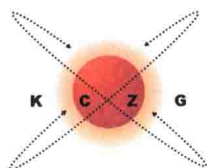
感谢上海产业技术研究院闵国全教授级高级工程师、费立诚教授级高级工程师和诸同事在本书编写过程中提供的指导和帮助，马剑雄、司君平、吴杰华、刘宏业提供了部分材料。感谢上海科学院王伟琪以及上海科学普及出版社编辑的辛勤工作。由于作者水平有限，对有些问题的理解不够深入，书中难免存在疏漏，欢迎广大读者批评指正。

“桐花万里丹山路，雏凤清于老凤声。”抓住时代变革历史机遇，科技创新将助推中华民族伟大复兴。

编 者

2017 年 6 月





目 录

3D 打印的起始与发展 / 1

生活里的“3D 打印” / 2

什么是 3D 打印 / 3

3D 打印的发展 / 6

中国 3D 打印——后起之秀 / 10

国外 3D 打印——欣欣向荣 / 12

3D 打印技术的优势与隐患 / 14

三维数据如何获取和处理 / 21

三维数据的获取 / 23

适合打印的数据格式 / 36

3D 打印技术大家族 / 41

3D 打印技术的分类 / 42

主流 3D 打印技术 / 43

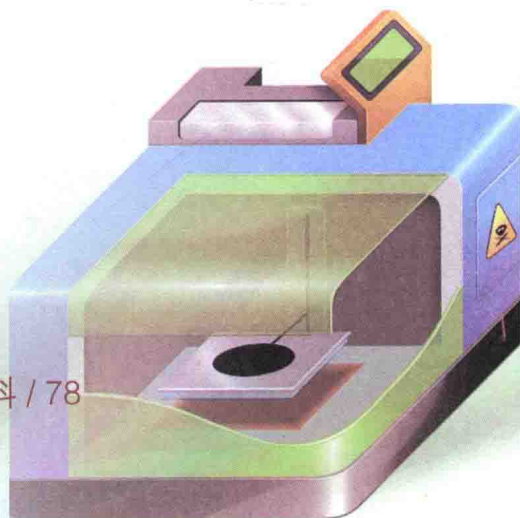
可用于 3D 打印的材料 / 75

3D 打印材料分类 / 77

应用于高附加值领域的金属材料 / 78

高分子材料 / 83

陶瓷材料 / 90



石膏材料 / 90

生物材料 / 91

建筑材料 / 92

石墨烯 / 92

3D 打印改变生活 / 95

3D 打印助你行 / 96

3D 打印点亮生活 / 105

3D 打印“克隆”另一个你 / 108

3D 打印带你行走时尚前沿 / 132

3D 打印与航空航天——真的可以上天了 / 143

3D 打印的发展趋势 / 163

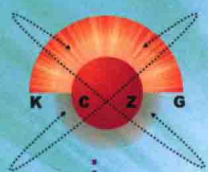
3D 打印材料更加丰富 / 164

多材料混合打印 / 164

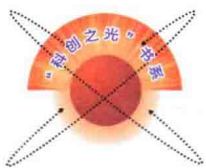
3D 打印机更加普及化 / 164

4D 打印 / 165





3D 打印的 起始与发展



“3D”？“打印”？这两个词怎么会组合在一起呢？初次听到“3D 打印”，相信大家内心都会有这样的疑惑。很多人对 3D 的概念还停留于 3D 电影、3D 电视、3D 游戏，而打印，当然是办公室的打印机了。可是，办公室的打印机为何会打出“3D”效果呢？

生活里的“3D 打印”

搭积木

我们从小玩过搭积木，为了搭建一个城堡，那首先得搭好城堡的第一层，在此基础上搭建第二层，这样一层层地搭建，最后城堡就出现在眼前了。我们简单地解释为一层层地累积叠加，这就是生活中的“3D 打印技术”了。



搭积木

(图片来源: <http://www.yupoo.com/photos/mumu115141428/albums/332247/24647315/>)

(图片来源: <http://sucai.redocn.com/tupian/762157.html>)

造房子

人类在几千年前就开始造房子了。古时候，人们用树枝和茅

草造房子，最早的农耕文化起源于遥远的上古时期。勤劳的先民们在稻谷芬芳的田野上，从地表向下挖出方形或圆形的穴坑，将捆绑的树枝或稻草沿坑壁一层层往上围成墙，简陋地抹上草泥，屋顶上搭些草木，这便是人类最早搭建的用以躲避风雨、躲避禽兽灾害的屋舍。现在，我们用钢筋、水泥、砖块造房子。首先设计房子的样式，为了让房子更稳固，我们还需要先打好地基，然后按照房子的设计形状，从底层开始砌，一层层往上添砖加瓦，这也是生活中的“3D 打印技术”。

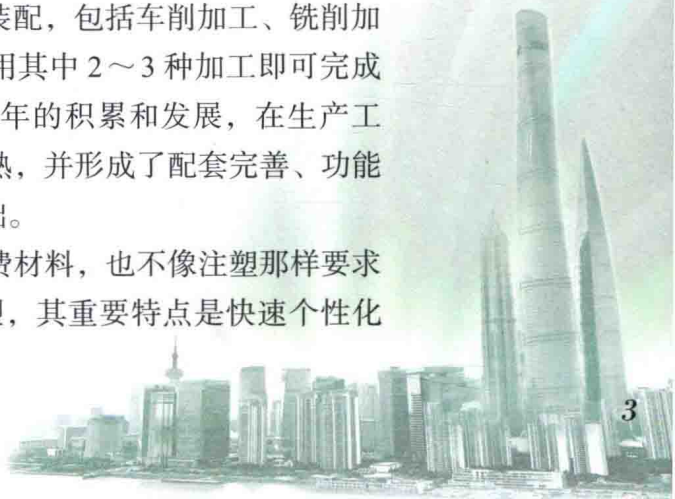
什么是 3D 打印

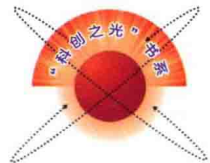
什么是 3D 打印呢？3D 打印是“快速成型技术（Rapid Prototyping, RP）”或者“增材制造（Additive Manufacturing, AM）”的俗称。这是相对于传统的车、铣、刨、磨等“减材制造”而言的。就像前面我们讲到的搭积木、造房子一样，这种技术的指导思想是逐层“打印”、堆叠成型。基于这种思想都可以称为 3D 打印。

3D 打印与传统制造

传统机械加工的 4 种基本的加工方式是车、铣、刨、磨。这 4 种加工方式是零部件加工的较为重要的部分，主要完成对零件的加工，使之可用于机械及设备的装配，包括车削加工、铣削加工、刨削加工、磨削加工，有时只用其中 2~3 种加工即可完成零件的加工。传统制造经过了数百年的积累和发展，在生产工艺、生产技术、材料等方面非常成熟，并形成了配套完善、功能齐全、社会各界广泛认可的产业基础。

不像传统减材制造技术那样浪费材料，也不像注塑那样要求先制作模具。3D 打印技术一次成型，其重要特点是快速个性化





车削加工



车削加工是在车床上利用工件相对于刀具旋转对工件进行切削加工的方法。

车削是最基本、最常见的切削加工方法，在生产中占有十分重要的地位。车削适于加工回转表面，大部分具有回转表面的工件都可以用车削方法加工，如内外圆柱面、内外圆锥面、端面、沟槽、螺纹和回转成形面，所用刀具主要是车刀。

铣削加工



铣削是将毛坯固定，用高速旋转的铣刀在毛坯上走刀，切出需要的形状和特征。传统铣削较多地用于铣轮廓和槽等简单外形特征。

数控铣床可以进行复杂外形和特征的加工。铣镗加工中心可进行三轴或多轴铣镗加工，用于加工模具、检具、胎具、薄壁复杂曲面、人工假体、叶片等。

刨削加工



刨削加工是在刨床上使用单刃刀具对工件作水平相对直线往复运动的切削加工方法。刨削是金属切削

加工中的常用方法之一，在机床床身导轨、机床镶条等较长较窄零件表面的加工中，刨削加工占据着十分重要的地位。

磨削加工



磨削就是用砂轮、油石和磨料（氧化铝、碳化硅等微粒）对工件表面进行切削加工。磨削加工的范围很广，几乎各种表面都可以

用磨削进行加工，如内外圆柱面、内外圆锥面、各种平面以及螺纹、齿轮、花键、成型面等。此外，磨削可加工淬火钢、硬质合金等一般刀具难以加工的较硬材料。

传统机械加工基本方式

定制，这在小批量、多品种（个性化）的生产中占有非常大的优势。现阶段，3D 打印技术无法替代传统制造技术，而是两者相互补充，相互融合，共同推进制造业的革新和进步。

增材制造与减材制造的特性比较

	减 材 制 造	增 材 制 造
基本技术	削、钻、铣、磨、铸、锻	FDM, SLA, SLS, LOM, 3DP 等
核心原理	——	分层制造、逐层叠加
适用场合	大规模、批量化；不受限	小批量、造型复杂
适用材料	几乎所有材料	塑料、光敏树脂、金属粉末等（受限）
材料利用率	相对低	理论上是 100%

(续表)

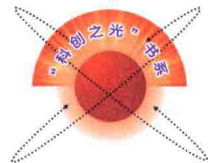
	减 材 制 造	增 材 制 造
应用领域	广泛不受限制	原型、模具、终端产品等
构件强度	较好	有待提高
产品周期	相对较长	短
智能化	不容易	容易实现

3D 打印与平面打印

我们常见的平面打印机是用来打印纸张的,是将所需要打印信息形成打印机可读的文件(如 word 文档、图片等其他的格式),然后将此文件信息传递到打印机,最终在打印纸上以平面形状的方式将文件内容打印出来。

与平面打印类似,3D 打印是将想要打印的物品的三维形状信息转变成 3D 打印机可以解读的文件,然后将文件传输到 3D 打印机,3D 打印机解读文件后,以材料逐层堆积的方式打印出立体形状。这种以逐层堆积材料来获得最终形状的方式,即 3D 打印。



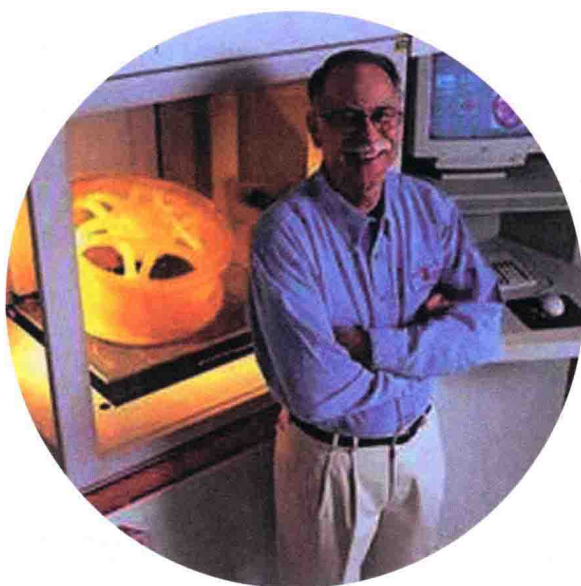


3D 打印的发展

说到 3D 打印技术的发展起源，可追溯至 20 世纪 70 年代末到 80 年代初期。美国 3M 公司的 Alan Hebert（1978 年）、日本的小玉秀男（1980 年）、美国 UVP 公司的 Chuck Hull（1982 年）和日本的丸谷洋二（1983 年）各自独立提出了这种概念。

1986 年，Chuck Hull 率先推出光固化方法（SLA，Stereo Lithography Apparatus，3D 打印技术的一种），这是 3D 打印技术发展的一个里程碑。同年，他创立了世界上第一家 3D 打印设备的 3D Systems 公司，并于 1988 年生产出了世界上第一台 3D 打印机 SLA-250。

1988 年，美国人 Scott Crump 发明了另外一种 3D 打印技术——熔融沉积制造（FDM，Fused Deposition Modeling，3D 打印技术的一种），并成立了 Stratasys 公司。目前，这两家公司是仅有的两家在纳斯达克上市的 3D 打印设备制造企业。1989 年，C.R.Dechard 发明了选择性激光烧结法（SLS，Selective Laser Sintering，3D 打印技术的一种），利用高强度激光将材料粉末烧结直至成型。1993 年，麻省理工大学教授 Emanuel Sachs 发明了一种全新的 3D 打印技术（3D Printing），这种技术类似于喷墨打印机，通过向金属、陶瓷等粉末喷射粘接剂的方式将材料逐片成



Chuck Hull 与 SLA-250

型，然后进行烧结制成最终产品。其优点在于制作速度快、价格低廉。随后，Z Corporation 公司获得麻省理工大学的许可，利用该技术生产 3D 打印机，“3D 打印机”的称谓由此而来。

3D 打印发展简史

时 间	技 术 与 产 品	公 司
1977 年	Swainson 提出可以通过激光选择性照射光敏聚合物的方法直接制造立体模型	
1984 年	Chuck Hull 发明三维立体模型成型技术	
1986 年	Chuck Hull 发明立体光刻工艺； Chuck Hull 制造出世界上第一台商业 3D 印刷机	美国 3D Systems 公司成立
1988 年	熔融沉积成型（FDM）技术； 全球第一台基于 SL 技术的 3D 工业打印机 SLA-250	美国 Stratasys 公司成立
1989 年	选择性激光烧结技术（SLS）	德国 EOS 公司成立





(续表)

时 间	技 术 与 产 品	公 司
1991 年	叠层法快速成型 (LOM) 系统	
1992 年	Stratasys 推出第一台基于 FDM 技术的 3D 工业级打印机; DTM 推出首台选择性激光烧结 (SLS) 打印机	
1993 年	Emanuel Sachs 发明三维印刷技术 (3DP)	
1995 年		Z Corporation 公司成立
1996 年	3D Systems、Stratasys、Z Corporation 分别推出三款 3D 打印机; 第一次使用“3D 打印机”的称谓	
1997 年	3D 打印的耳朵成功移植在老鼠背上	
1998 年	LENS 激光烧结技术	
1999 年	3D Systems 推出 SLA 7000	
2000 年	Object 更新了 SLA 技术, 大幅度提高制造精度	
2001 年	Solido 开发出第一代桌面级 3D 打印机; 首例 3D 打印颅骨修复手术	3D Systems 收购 DTM Corporation
2002 年	Stratasys 推出 Dimension 系列桌面级 3D 打印机; 世界上第一个使用 3D 打印制造的肾脏诞生	
2003 年	DMLS 激光烧结技术	
2005 年	Z Corporation 公司开发出世界上第一台高精度彩色 3D 打印机 Spectrum 2510	
2007 年		3D 打印服务创业公司 Shapeways 成立
2008 年	第一台开源的桌面级 3D 打印机 RepRap 发布	