


3D打印与 产品创新设计

3D Printing and
Product Innovation Design

主 编 郑月婵



 中国人民大学出版社

3D打印与 产品创新设计

3D Printing and
Product Innovation Design

主 编 郑月婵

副主编 徐立鹏 孙艳艳 张冬松



中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

3D打印与产品创新设计 / 郑月婵主编. — 北京: 中国人民大学出版社, 2019.3

ISBN 978-7-300-26336-6

I. ①3… II. ①郑… III. ①立体印刷-印刷术②产品设计 IV. ①TS853②TB472

中国版本图书馆CIP数据核字 (2018) 第232149号

3D打印与产品创新设计

主 编 郑月婵

副主编 徐立鹏 孙艳艳 张冬松

3D Dayin yu Chanpin Chuangxin Sheji

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街31号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

经 销 新华书店

印 刷 北京玺诚印务有限公司

规 格 185mm × 260mm 16 开本

印 张 12.5 插页1

字 数 243 000

邮政编码 100080

010-62511770 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2019年3月第1版

印 次 2019年3月第1次印刷

定 价 65.00元

版权所有 侵权必究 印装差错 负责调换



前 言

3D 打印技术是一种区别于传统制造工艺的先进制造技术，它可以将 3D 数字模型转变为真实的实物模型，因此可以帮助人类实现许多设想。由于 3D 打印个性化服务和数字化制造的技术特点非常契合我国发展先进制造业的目标和要求，而且它可以与物联网、云计算、机器人等实现融合发展，因此迅速成为高端装备制造行业的关键环节。

随着 3D 打印技术在我国的不断发展和普及，行业及应用领域对相关人才的需求也在急剧增长。3D 打印技术专业人才的匮乏也在一定程度上限制了 3D 打印产业的进一步发展。在此背景下，浙江农业商贸职业学院借教学改革之际，与浙江迅实科技有限公司紧密合作，进行了 3D 打印增材制造技术教材的开发，以满足全国职业院校培养专业 3D 打印技术人才的需求。

本书对 3D 打印技术的基础原理、行业应用、发展前景、就业岗位进行了介绍，为后期深入学习相关核心知识和技能打下了基础，并对未来可以从事的职业领域和岗位进行了介绍，以便学生提前为自己的职业发展做出合理的规划。

本书采用了模块化的编写方式，在编写过程中力求体现趣味性、易学性的特点，加入了丰富的案例和图片，结合职业院校学生的学习特点，每个模块都安排了模块导入、学习目标等学习环节，非常适合职业院校的学生进行探究式学习。本书共分为八个模块：模块一主要介绍 3D 打印技术的产生和发展、基础原理和发展状况；模块二剖析了目前主流的 3D 打印技术，包括熔融沉积快速成型技术（FDM）、光固化成型技术（SLA）、数字光处理



技术 (DLP)、选择性激光烧结技术 (SLS)、三维打印成型技术 (3DP)、箔材叠层制造成型 (LOM) 和选择性激光熔化技术 (SLM); 模块三介绍了目前主要的 3D 打印材料及性能; 模块四介绍了 3D 打印技术目前在各个行业领域的应用; 模块五通过生动案例展示了 3D 打印的具体操作流程; 模块六讲解产品创新设计的步骤以及创新思维与方法; 模块七通过学生课堂创新设计作品讲解 3D 打印技术与产品创新设计结合的课堂应用; 模块八介绍了 3D 打印行业主要岗位及其职业能力要求。

本课程是浙江农业商贸职业学院教学方法改革试点课程。根据课程特点, 本课程主要采用理实一体化教学模式、项目化教学贯穿始终的教学方法, 训练学生将 3D 打印知识与专业技能融合运用, 掌握产品设计的全过程, 训练学生的综合实践能力, 重在培养学生的创造思维、创造性方法以及创新、创意能力。

本书由课程主讲教师郑月婵担任主编, 徐立鹏、孙艳艳、张冬松担任副主编。在教学方式上建议学校采用理实一体化教学模式, 课程安排在第一学年下学期或者第二学年上学期, 学时为 70 左右。

由于编者水平有限, 书中难免存在不足之处, 恳请读者批评指正。

编者

2019 年 1 月

目 录

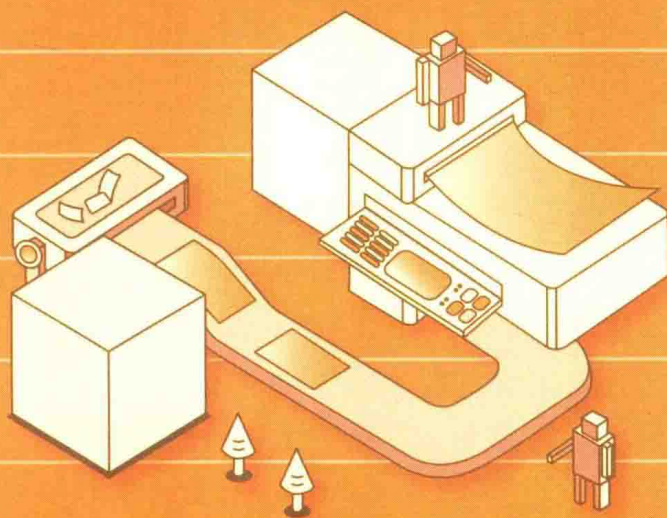
第一部分	3D 打印快速成型	001
模块一	认识 3D 打印	003
1.	3D 打印概论	004
2.	3D 打印简史	004
3.	3D 打印的优缺点	008
4.	3D 打印的发展趋势	010
模块二	主流 3D 打印技术	016
1.	熔融沉积快速成型技术 (FDM)	017
2.	光固化成型技术 & 数字光处理技术 (SLA & DLP)	025
3.	选择性激光烧结技术 (SLS)	038
4.	三维打印成型技术 (3DP)	043
5.	箔材叠层制造成型技术 (LOM)	049
6.	选择性激光熔化技术 (SLM)	053
模块三	3D 打印材料	058
1.	原型塑料	059
2.	高细节树脂	062
3.	SLS 尼龙	064



4. 纤维增强尼龙	066
5. 刚性不透明塑料	068
6. 橡胶状塑料	070
7. 透明塑料	072
8. 模拟 ABS	073
9. 全彩砂岩	075
10. 工业金属	077
模块四 3D 打印的应用领域及范围	079
1. 3D 打印与工业制造	080
2. 3D 打印与医疗应用	093
3. 3D 打印与建筑应用	102
4. 3D 打印与大众消费	105
5. 3D 打印与教育应用	108
模块五 3D 打印流程	113
1. 构建 3D 模型	114
2. 打印 3D 模型	121
3. 3D 模型的后期处理	122
第二部分 产品创新设计与 3D 打印	133
模块六 产品创新设计	135
1. 产品创新设计的步骤	136
2. 产品创新设计的原则	142
3. 产品创新设计的思维	146
4. 产品创新设计的方法	150
5. 3D 打印在教学中的作用	153
模块七 3D 打印创意产品设计与研发	155
1. 3D 打印技术在创意设计中的价值	156
2. 应用 3D 打印技术制作产品	163
模块八 3D 打印的就业岗位	189
1. 3D 打印岗位概述	190
2. 3D 打印从业人员的职业素养	191
3. 标准与产品专利	193
参考文献	195

第一部分

3D打印快速成型



模块一

认识 3D 打印

模块二

主流 3D 打印技术

模块三

3D 打印材料

模块四

3D 打印的应用领域及范围

模块五

3D 打印流程



模块一 认识 3D 打印

模块导入

当前 3D 打印技术正逐渐进入人们生活的方方面面，未来人们将利用这项技术来直接打印出各式各样的生活用品，彻底改变人们的生活方式。或许同学们对这个专业及其未来的就业方向还不太了解，接下来将带领大家逐渐深入地了解 3D 打印，希望同学们能够在有限的时间内掌握相关的专业技能，塑造 3D 打印行业职业能力，具备一定的职业素养，并且确立自己的职业生涯规划，了解并热爱自己将要从事的 3D 打印职业。

学习目标

- ◆ 了解 3D 打印产生的背景
- ◆ 了解 3D 打印的发展状况
- ◆ 了解 3D 打印的原理
- ◆ 了解 3D 打印的优点及限制
- ◆ 培养对 3D 打印工作的兴趣，为今后的学习打下基础



1. 3D 打印概论

3D 打印工艺是以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等可黏合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。数字模型文件的创建过程被称为三维建模,运用分层软件将设计的文件切成薄层(即切片),再将切片文件发送到 3D 打印机,由打印软件控制设备逐层堆叠成型,即 3D 打印。区别于传统 CNC 等机械制造工艺采用去除材料的加工方式(即减材制造),3D 打印采用逐层累加的技术,即增材制造。

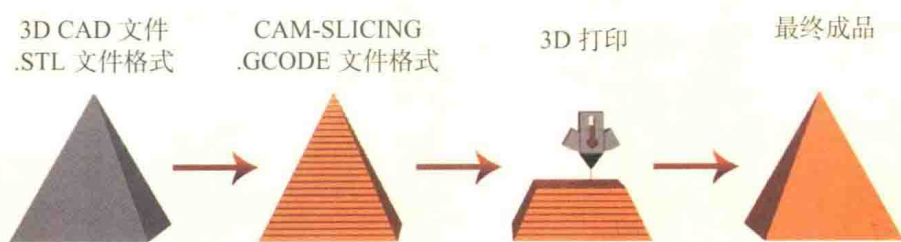


图 1-1 3D 打印工艺

3D 打印工艺因技术而异,从融化塑料成型的桌面 3D 打印机到利用激光选择性地高温熔化金属的大型工业级设备,打印原理不同,打印的材料也不同,当然打印时长也不同,长则几十个小时,短则几分钟。一般而言,3D 打印完成的零件都需要进行后处理操作,如打磨、抛光及上色等,这样我们才能得到一个最终完成的工件,可用于快速原型或最终产品制造。

不同的打印工艺使用的材料也不同,从普通的塑料到富有弹性、韧性的橡胶,从建筑的砂岩到工业的合金,另外还有用于 3D 打印食品的特制食材。目前,材料种类已经非常丰富,基本能满足市场的各种需求。随着技术的发展和市场的成熟,每年新材料也层出不穷。

2. 3D 打印简史

虽然 3D 打印技术在近几年才迅猛发展,得到广泛认可和应用,但它其实已经有 30 多年的发展历史了。

3D 打印思想起源于 20 世纪末的美国,世界上第一台 3D 打印机由查克·赫尔于 1983 年发明,这是一种被称为“立体光刻”的 3D 打印工艺,即 SLA。SLA 打印的零部件的公差一般小于 0.05 毫米,并且零件的表面光洁度是现有 3D 打印工艺中最高的,故工业级的 SLA 设备是目前工业应用中使用最广泛的设备。在此项 US4575330A 专利中(现已过期),立体光刻技术被定义为“通过连续打印紫外线固化材料的薄层制成固体物体的方法和设备”,该专利描述为仅用于可光固化液体打印。查克·赫尔于 1986 年成立了 3D System 公司(现今是全球最大的两家 3D 打印设备生产商之一),但他很快意识到他的技术不应该



仅限于液体，于是将其打印材料定义为“任何能够固化的材料或能够改变其物理状态的材料”。为此，他建立了我们今天所知道的增材制造（AM）或 3D 打印的基础，因此他也被称为“3D 打印之父”。值得一提的是，现如今被广泛应用于 3D 打印的工业标准接口文件格式 STL 也是由查克·赫尔设计的。

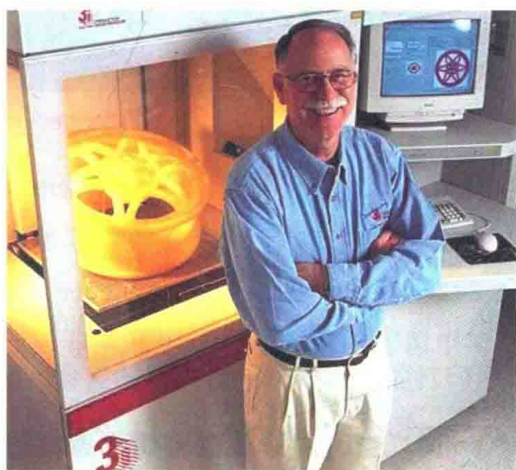


图 1-2 查克·赫尔

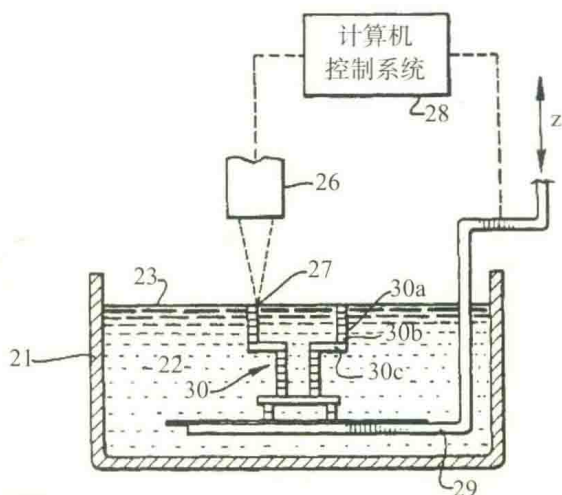


图 1-3 SLA 专利资料

1979 年，美国科学家豪斯霍尔德获得类似“快速成型”技术的专利，可惜没有被商业化。

20 世纪 80 年代，3D 打印已初具雏形，其学名为“快速成型”。20 世纪 80 年代中期，SLS 被在美国得克萨斯州大学奥斯汀分校的卡尔·德卡德博士开发出来并获得专利，项目由美国国防高级研究计划局（DARPA）赞助。之后，他与别人合伙成立了全球首家 SLS 激光烧结公司 Nova Automation。其关键技术于 2014 年专利过期。

1989 年，Stratasys 公司（全球另一家最大的 3D 打印设备生产商）联合创始人斯科特·克鲁普提交了熔融沉积成型（FDM）的专利，该专利保护期已于 2009 年届满。基于开放源代码 RepRap 模型的入门级 FDM 设备，已经成为今天使用数量最大的 3D 打印设备。



图 1-4 卡尔·德卡德

1991 年，Helisys 公司推出第一台叠层法快速成型（LOM）打印机。

1992 年，Stratasys 公司在成立 3 年后，推出了第一台基于 FDM 技术的 3D 工业级打印机。

1992 年，DTM 公司推出首台选择性激光烧结（SLS）打印机。

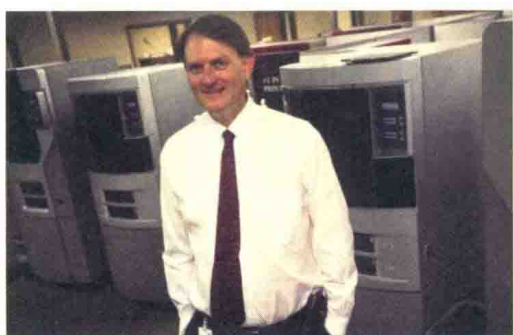


图 1-5 斯科特·克鲁普

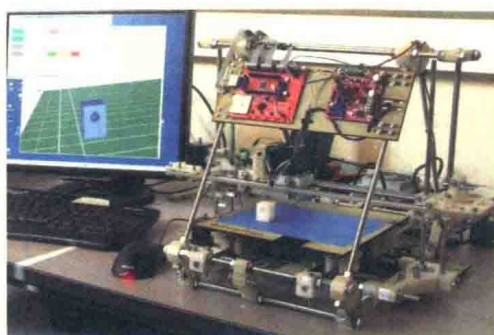


图 1-6 RepRap 打印机 Prusa Mendel

1993 年麻省理工学院伊曼纽尔·萨克斯教授等人发明的 3DP (Three-Dimensional Printing) 专利被授权, 即三维打印技术, 又称为喷墨黏粉式技术、黏合剂喷射成型, 美国材料与试验协会增材制造技术委员会 (ASTM F42) 将 3DP 的学名定为 Binder Jetting (黏合喷射)。伊曼纽尔·萨克斯教授等人于 1989 年申请了 3DP 专利, 该专利是非成形材料微滴喷射成形范畴的核心专利之一。

1995 年, 麻省理工学院创造了“三维打印”一词, 当时的毕业生吉姆和蒂姆修改了喷墨打印机方案, 采用了将约束溶剂挤压成粉末状的方案, 而不是将墨水挤压在纸张上。麻省理工学院将这项技术授权给由这两个学生创立的 Z Corporation 进行商业应用。Z Corporation 自 1997 年以来陆续推出了一系列 3DP 打印机, 后来该公司被 3D Systems 公司收购, 并最终开发出 ColorJet 系列打印机。



图 1-7 伊曼纽尔·萨克斯



图 1-8 3DP 原始机

2005 年, Z Corporation 推出世界上第一台彩色 3D 打印机 Spectrum Z510, 标志着 3D 打印从单色开始迈向多色时代。

1998 年, Optomec 公司成功开发 LENS 激光烧结技术。

2003 年, EOS 开发 DMLS 激光烧结技术。

2008 年, 第一款桌面级开源 3D 打印机 RepRap 发布, 其目的是开发一种能自我复制的 3D 打印机。桌面级开源 3D 打印机为轰轰烈烈的 3D 打印普及化浪潮揭开了序幕。随着



越来越多的制造商的追随，3D 打印机价格从原本的 20 万美元降至低于 2 000 美元，消费者 3D 打印市场在 2009 年起飞。

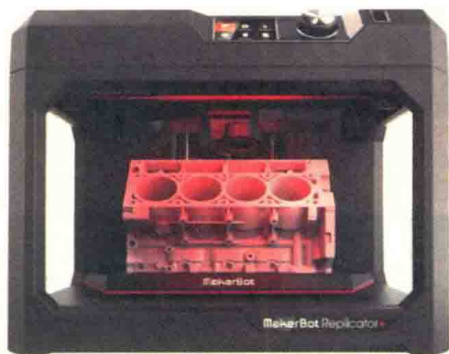


图 1-9 第一台彩色 3D 打印机 Spectrum Z510 图 1-10 MakerBot 公司 FDM 3D 打印机 Replicator+

2008 年，Objet Geometries 公司推出革命性的 Connex500 快速成型系统，它是有史以来第一台能够同时使用几种不同的打印原料的 3D 打印机。

2010 年 12 月，Organovo 公司——一家注重生物打印技术的再生医学研究公司，公开了利用生物打印技术打印的第一个完整血管的数据资源。



图 1-11 多材料 3D 打印机 Connex500

图 1-12 Organovo 公司的生物 3D 打印机

2011 年 7 月，英国研究人员开发出世界上第一台 3D 巧克力打印机。

2012 年 10 月，来自麻省理工学院的团队成立了 Formlabs 公司，并发布了世界上第一台廉价且高精度的 SLA 个人 3D 打印机 Form 1。中国的创客也由此开始研发基于 SLA 技术的个人 3D 打印机。

2013 年，美国的两位创客（父子俩）开发出基于液体金属喷射打印（LMJP）工艺的消费级金属 3D 打印机，其价格低于 10 000 美元。同年，美国的另外一个创客团队开发了一款名为 Mini MetalMaker（小型金属制作者）的桌面级金属 3D 打印机，主要打印一些小型的金属制品，如珠宝、金属链、装饰品、小型金属零件等，售价仅为 1 000 美元。

2014 年 7 月，美国南达科他州一家名为 Flexible Robotic Environments（FRE）的公司



公布了最新开发的全功能制造设备 VDK6000，兼具金属 3D 打印（增材制造）、车床（减材制造，包括：铣削、激光扫描、超声波检具、等离子焊接、研磨 / 抛光 / 钻孔）及 3D 扫描功能。

2015 年 3 月，美国 Carbon 3D 公司发布了一种新的光固化技术——连续液态界面制造（Continuous Liquid Interface Production, CLIP）：利用氧气和光连续地从树脂材料中逐出模型。该技术要比当前任意一种 3D 打印技术快 25 ~ 100 倍。

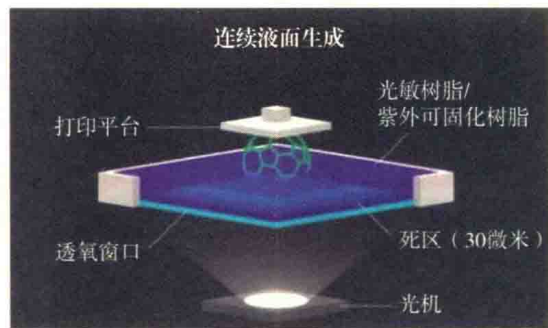


图 1-13 CLIP 技术原理

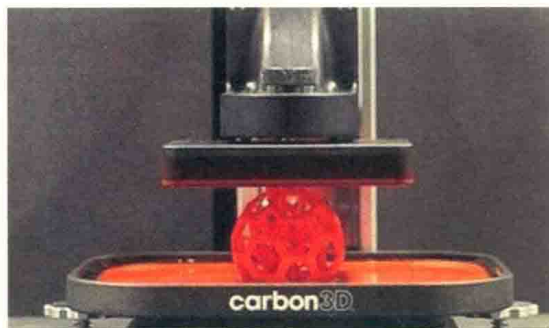


图 1-14 CLIP 3D 打印机

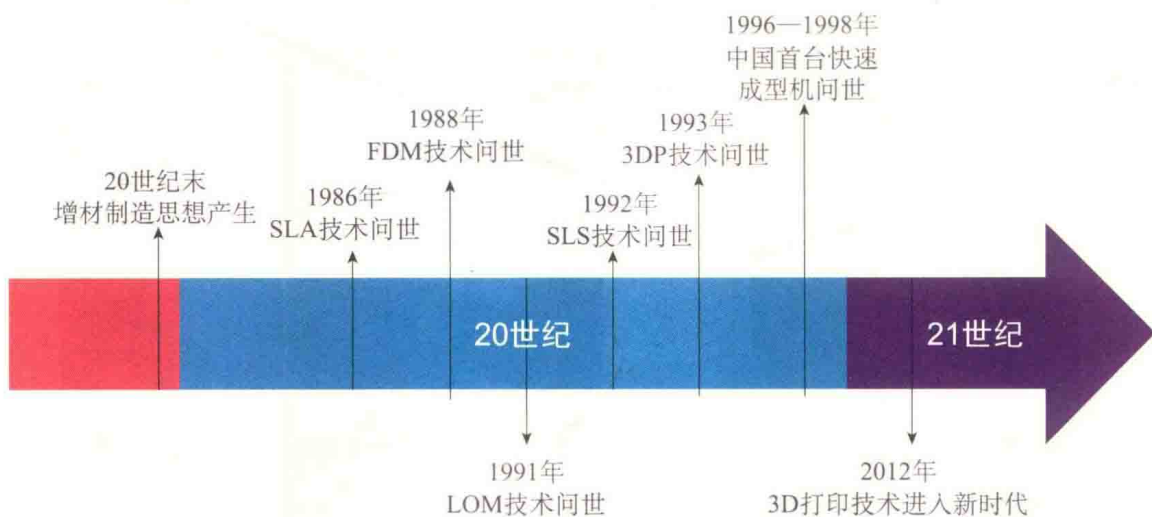


图 1-15 3D 打印技术发展史时间轴

3. 3D 打印的优缺点

3D 打印技术是制造业领域高速发展的新兴技术，具有很多优点；也存在一些缺点，落后于传统的制造工艺。我们应该充分认识 3D 打印技术的优缺点，扬长避短，以更好地应用这项技术。



3.1 优点

(1) 制造复杂的物品

一方面, 3D 打印可制造传统工艺无法生产的复杂物品。某些零件具有复杂的形状和特殊的功能要求, 并不能通过传统制造工艺获得, 而 3D 打印技术的出现打破了这种局面, 弥补了传统制造工艺的不足。另一方面, 对传统制造工艺而言, 物品形状越复杂, 制造成本就越高; 而对 3D 打印来说, 物品形状的复杂程度并不会使生产成本增加, 这也就打破了制造复杂物品会增加成本的传统定价模式。

(2) 产品个性化定制

应用 3D 打印技术, 任何人都可以制造想要的产品。传统的加工以批量生产方式来降低成本, 使得消费者可以买到便宜的产品, 但同时也缺失了产品的多样性; 反过来说, 制造少量不同的产品意味着成本的上升, 这样不利于产品的销售。一台 3D 打印机可以打印出不同形状模型, 就如同工匠可以制造不同形状的物品。制造不同的产品时, 我们只需要更改数字方式的设计, 无需额外的工具或复杂的制造工艺, 3D 打印使得每个项目都可以实现个性化定制, 以满足不同用户的需求。

(3) 降低生产成本

首先, 节省材料成本, 3D 打印是一种增材制造技术, 不产生额外的浪费。其次, 节省工艺成本, 传统制造工艺下, 每次新产品的制造, 在使用金属铸造或塑料注射成型时都需要一个新的模具, 另外, 装配时还需要额外的夹具, 这些都增加了制造新产品的成本, 而 3D 打印则不需要这些工具。再次, 节省人工成本, 由于 3D 打印能使产品一体化成型, 无须装配, 摒弃了生产线, 因此 3D 打印启动后可无人值守。最后, 降低仓储成本, 通过 3D 打印, 只有销售的产品才需要生产, 因此库存过剩明显减少。

(4) 快速制造、降低风险

由于 3D 技术可以立即制造产品, 产品可以更快地从设计转变为实际的原型, 大大缩短了产品的研发周期。3D 打印可以按需打印, 不需要额外的生产工具及设备, 对于想研发新品进行市场测试、小批量生产运行的设计师或者前期缺少资金的创业者而言 (如通过 Kickstarter 众筹网站启动产品的创业者), 在这个阶段, 使用 3D 打印使设计更容易实现, 制造多个不同产品也不会增加成本。在投资昂贵的成型工具之前, 通过 3D 打印验证测试原型, 然后更改设计, 对于那些正在创新的人来说, 3D 打印提供了一条降低风险的途径。

(5) 减少浪费

许多传统的制造工艺都是减材制造: 从一块坯料开始, 切割、加工、磨削, 最终制造成想要的产品。对于众多产品 (如飞机支架) 来说, 在此过程中会浪费 90% 的原材料。



而使用 3D 打印是一个增材制造的过程，是逐层累加进行制造的工艺，原材料并不会被浪费。此外，3D 打印的原材料大部分是可以循环利用的，是一种可持续发展的方式。

3.2 缺点

(1) 大批量生产成本高

虽然 3D 打印有诸多优势，但仍然最适合生产较小批量的产品。当涉及较大规模时，3D 打印技术尚不具备竞争力，传统制造工艺效率更高，价格更低。随着 3D 打印设备和原材料价格的不断下降，增材制造有效生产的范围有望进一步扩展。

(2) 材料限制

材料限制主要体现在：较少的材料选择，成型后材料机械性能（强度、耐度等）不及传统制造工艺。

3D 打印技术的局限和瓶颈主要体现在材料上。目前，打印材料主要是塑料、树脂、石膏、陶瓷、砂和金属等，能用于 3D 打印的材料非常有限。尽管已经开发了诸多应用于 3D 打印的优质材料，但是开发新材料的需求仍然存在，一些新的材料正在开发中。这种需求包含两个层面：一是需要对已经得到应用的材料—工艺—结构—特性关系进行深入研究，以明确其优点和限制；二是需要开发新的测试工艺和方法，以扩展可用材料的范围。

有限的强度和耐度。在一些 3D 打印技术中，由于逐层制作工艺，部件强度不均匀，因此，3D 打印的零件通常比采用传统制造工艺的零件强度更弱。此外，再现性也需要改进。在不同设备上制作的零件可能具有性质变化，相信随着新的连续 3D 打印流程（如 Carbon 3D）的技术改进，这些限制在不久的将来可能会消失。

(3) 产品精度较低

虽然 3D 打印技术能以 20 微米~100 微米的精度打印模型，但与传统模具制造的产品打印成型零件的精度（包括尺寸精度、形状精度和表面粗糙度）无法相比，如 iPhone 手机所控制的公差精度。3D 打印为制作具有很小公差及设计细节的用户，提供了一个很好的方法。但对于具有更多工作部件和更加细微的产品来说，很难与某些传统制造工艺的高精度相竞争，如 iPhone 手机上的静音开关。

4. 3D 打印的发展趋势

20 世纪 80 年代后期，3D 打印的诞生开启了增材制造新时代。3D 打印作为一种先进制造技术，是“工业 4.0”时代实现“智能生产”和“智能工厂”的方式，英国《经济学家》杂志认为它将与其它数字化生产模式一起推动实现新的工业革命，美国《时代周刊》杂志则将 3D 打印产业列为“美国十大增长最快的产业”。目前，3D 打印处于高速发展期，

