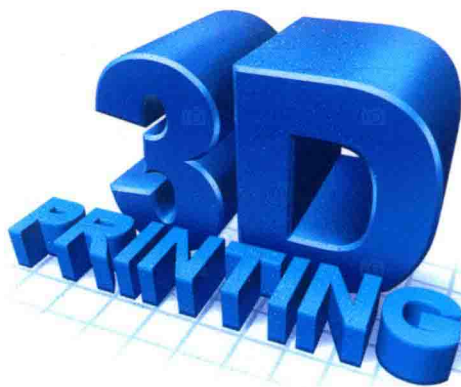


轻松掌握3D打印系列丛书

# 3D打印技术

河南泛锐复合材料研究院有限公司 组编  
姚栋嘉 陈智勇 吕磊 等编著



零基础学习3D打印技术  
培养创造思维和设计能力  
帮您成为3D打印的紧缺人才



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

轻松掌握 3D 打印系列丛书

# 3D 打印技术

河南泛锐复合材料研究院有限公司 组编

姚栋嘉 陈智勇 吕磊 编著  
杨红霞 韩硕 高阳  
曾庆丰 主审

机械工业出版社

本书在综合国内外大量 3D 打印前沿领域的最新研究成果、优秀论文及相关文献的基础上,从科学、集成的角度,系统地讲解了 3D 打印技术的原理、工艺、设备、模型设计、应用和实用技能,以帮助读者较全面地认识和了解 3D 打印。全书共 8 章,内容包括:绪论、3D 打印主流工艺、典型 3D 打印设备介绍、三维模型设计、三维扫描技术概述、切片与数据处理、3D 打印实用技能和实操案例。

本书内容丰富,紧贴科技前沿,可作为高等院校理工科专业的教材,也可作为对 3D 打印技术感兴趣或希望尽快进入 3D 打印领域的工程技术人员参考用书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

3D 打印技术/姚栋嘉等编著. —北京:机械工业出版社, 2018. 8

(轻松掌握 3D 打印系列丛书)

ISBN 978-7-111-60580-5

I. ①3… II. ①姚… 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 (2018) 第 171179 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:吕德齐

责任编辑:吕德齐

责任校对:张 力 张 薇 封面设计:马精明

责任印制:孙 炜

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2018 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 7.75 印张 · 10 插页 · 148 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-60580-5

定价:59.00 元

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

封面无防伪标均为盗版

教育服务网:www.cmpedu.com

# 前 言

在经济发展全球化的大背景下，制造技术在快速发展过程中，不断地汲取各种技术研究成果的养分，并与计算机、信息、自动化、材料、化学、生物及现代管理等学科相融合，使传统意义上的制造技术有了质的飞跃，形成了先进制造技术的新体系。

从1986年Charles Hull开发了第一台商业3D打印机算起，3D打印已经走过了30余年，蛋糕、别墅、汽车、飞机、心脏……关于3D打印应用的新闻报道不断刷新人们的想象。随着物联网、云计算、大数据等技术的不断成熟和广泛应用，“中国制造2025”“工业4.0”等工业发展战略已然兴起，推动了工业机器人、3D打印等智能制造产业的发展。我国是全球最大的工业生产国，随着国家政策的扶持和企业需求的扩大，未来3D打印将在我国工业生产制造中扮演重要的角色。

本书将系统地介绍3D打印技术，以使学生对3D打印技术在目前的大环境下所涉及的前沿技术领域和最新科技成果，有一个全面的认识，着重培养学生的思维创造和设计能力。本书编写过程中力求体现理论结合实际的特色，并注重新技术的普及与推广。本书编写模式新颖，采用团队通力协作、校企深度合作的模式完成。

全书共8章，由河南泛锐复合材料研究院有限公司组编。参加编写人员及具体分工如下：河南泛锐复合材料研究院有限公司的杨红霞编写了第1、第3章，韩硕编写了第2章，高阳编写了第8章；河南工业大学的吕磊编写了第4~第7章。全书由河南泛锐复合材料研究院有限公司的姚栋嘉、洛阳理工学院陈智勇统稿，由西北工业大学曾庆丰教授主审。

3D打印技术涉及众多学科，发展日新月异，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

# 目 录

## 前 言

<b>第1章 绪论</b> .....	1
1.1 3D 打印的发展概况 .....	2
1.2 3D 打印的基本概念 .....	4
1.3 3D 打印的特点 .....	5
1.4 3D 打印的应用领域 .....	8
1.5 3D 打印的就业方向 .....	13
<b>第2章 3D 打印主流工艺</b> .....	18
2.1 熔融沉积成型 .....	20
2.2 选择性激光烧结 .....	24
2.3 立体光固化成型 .....	28
2.4 三维打印黏结成型 .....	31
2.5 电子束熔化成型 .....	34
2.6 叠层实体制造 .....	39
2.7 微滴喷射技术 .....	42
<b>第3章 典型3D 打印设备介绍</b> .....	46
3.1 3D 打印机的分类 .....	46
3.2 3D 打印典型设备 .....	49
3.3 新型3D 打印设备 .....	53
<b>第4章 三维模型设计</b> .....	57
4.1 三维模型的定义 .....	57
4.2 三维模型的来源 .....	61
4.3 三维模型设计软件 .....	68
<b>第5章 三维扫描技术</b> .....	78
5.1 逆向工程技术 .....	78
5.2 三维扫描的原理及应用 .....	80
5.3 逆向建模软件 .....	88
5.4 三维扫描技术的应用现状 .....	90
<b>第6章 切片与数据处理</b> .....	94
6.1 切片的定义 .....	95
6.2 切片软件 .....	95

6.3 Cura 软件 .....	98
6.4 Cura 软件的安装、设置与使用 .....	99
<b>第7章 3D 打印实用技能</b> .....	<b>102</b>
7.1 FDM 桌面 3D 打印机实用技巧 .....	102
7.2 组装桌面 3D 打印机 .....	104
7.3 3D 打印机的使用步骤 .....	115
7.4 打印过程中的常见问题 .....	116
<b>第8章 实操案例</b> .....	<b>119</b>
8.1 三维模型的获取 .....	119
8.2 三维模型的切片处理 .....	120
8.3 3D 打印及后处理 .....	134
<b>参考文献</b> .....	<b>138</b>

# 第1章 绪论



知识要点	学习目标	相关知识
3D 打印发展概况	了解 3D 打印发展历程	3D 打印发展历程 目前 3D 打印发展状况
3D 打印的基本概念及原理	掌握 3D 打印的基本概念及原理	3D 打印的定义 3D 打印的基本原理 3D 打印的基本流程 3D 打印的特点
3D 打印应用领域	了解 3D 打印应用概况	3D 打印在汽车行业的应用 3D 打印在武器装备领域的应用 3D 打印在航空航天领域的应用 3D 打印在医疗行业的应用 3D 打印在建筑行业的应用 3D 打印在服装行业的应用 3D 打印在食品行业的应用 3D 打印在教育行业的应用
3D 打印就业方向	了解 3D 打印就业方向	3D 打印所需求岗位的职责、任职资格



在生活中,我们可以使用普通打印机将计算机设计的平面物品打印出来。3D 打印机与普通打印机的工作原理基本相同,打印材料却存在差异,普通打印机的打印材料是墨水和纸张,而 3D 打印机内装有塑料、陶瓷、金属、砂等不同的“打印材料”,是确确实实的原材料。打印机与计算机连接后,通过计算机控制可以把“打印材料”一层层叠加起来,最终把计算机上的蓝图变成实物。

那么 3D 打印机是否是近年来才出现的技术呢？3D 打印机的具体工作原理是什么？能应用于哪些行业？同学们带着这些问题，开始本章内容的学习。

## 1.1 3D 打印的发展概况

### 1.1.1 国际 3D 打印的发展概况

3D 打印技术的核心制造思想最早起源于 19 世纪末的美国，到 20 世纪 80 年代后期 3D 打印技术发展成熟并被广泛应用。

1984 年，Charles Hull 发明了将数字资源打印成三维立体模型的技术。

1986 年，Chuck Hull 发明了立体光刻工艺，并获得利用紫外线照射将树脂凝固成型来制造物体的专利。随后，他成立了一家名为“3D Systems”的公司，开始专注发展 3D 打印技术。1988 年，该公司生产出世界上首台以立体光刻技术为基础的 3D 打印机 SLA-250，体型非常庞大。

1988 年，美国人 Scott Crump 发明了一种新的 3D 打印技术——熔融沉积成型。该技术适用于产品的概念建模及形状和功能测试，不适合制造大型零件。

1989 年，美国人 C. R. Dechard 发明了选择性激光烧结技术，该技术的特点是选材范围非常广泛，如尼龙、蜡、ABS 树脂（丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物）、金属和陶瓷粉末等都可以作为原材料。

1992 年，美国人 Helisys 发明层片叠加制造技术。

1995 年，Z Corporation 获得 MIT 的许可，开始着手开发基于 3DP 技术的打印机。

1996 年，3D Systems、Stratasys、Z Corporation（以下简称 Z Corp）各自推出了新一代的快速成型设备，而后快速成型便有了更加通俗的称呼——“3D 打印”。

2005 年，Z Corp 公司推出世界上第一台高精度彩色 3D 打印机 Spectrum Z510。

2011 年，英国南安普敦大学的工程师们成功设计并试驾了全球首架 3D 打印的飞机。

2012 年，荷兰医生和工程师们采用 LayerWise 制造的 3D 打印机，打印出一个定制的下颚假体。

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），该技术利用氧气和光连续地从树脂材料中制出模型，比之前的 3D 打印技术要快 25 ~ 100 倍。

21 世纪以来，3D 打印技术发展非常迅速，很多国家都已加入到 3D 打印技



术的研发与应用队伍中来。

2011年,美国总统奥巴马宣布启动“先进制造伙伴关系计划”(AMP);2012年2月,美国国家科学与技术委员会发布了《先进制造国家战略计划》;2012年3月,奥巴马又宣布实施投资10亿美元的“国家制造业创新网络计划”(NNMI)。在这些战略计划中,均将增材制造技术列为未来美国最关键的制造技术。2012年8月,作为NNMI计划的一部分,奥巴马宣布联邦政府投资3000万美元成立国家增材制造创新研究所(NAMII),致力于增材制造技术和产品的开发,以保持美国的领先地位。

欧洲也十分重视3D打印技术的研发应用,英国《经济学人》杂志是最早将3D打印称为“第三次工业革命的引擎”的媒体;2013年10月,欧洲航天局公布了“将3D打印带入金属时代”的计划,主要利用3D打印技术为宇宙飞船、飞机和聚变项目制造零部件,最终的目标是利用3D打印技术实现整颗卫星的整体制造;德国将“选择性激光熔结技术”列入德国光子学研究计划。

日本持续不断地尝试将本国已取得的技术成果推广和应用到工业中,致力于推动3D打印产业链后端;澳大利亚于2013年制定了金属3D打印技术路线,并于当年6月揭牌成立中澳轻金属联合研究中心(3D打印);南非政府着眼于大型3D打印机的研制和开发,协同发展核心激光设备研制与扶持激光技术。

### 1.1.2 我国3D打印的发展概况

1988年,颜永年正在美国加州大学洛杉矶分校做访问学者,偶然得到了一张工业展览宣传单,上面介绍了快速成型技术。颜永年回国后,就转攻快速成型技术领域,他多次邀请美国学者来华讲学,并建立了清华大学激光快速成型中心。

1992年,西安交通大学卢秉恒教授(国内3D打印技术的先驱人物之一)赴美做高级访问学者,发现了快速成型技术在汽车制造业中的应用,回国后随即转向研究这一领域,于1994年成立了先进制造技术研究所。

1998年,清华大学的颜永年又将快速成型技术引入生命科学领域,提出生物制造工程学科概念和框架体系,并于2001年研制出生物材料快速成型机,为制造科学提出一个新方向。

我国3D打印的起步并不晚,对3D打印的研发已经有20多年的探索和积累,在核心技术方面具有先进的一面,但是在产业化方面的发展稍显滞后。



#### 扩展阅读

近年来,我国积极探究3D打印技术,并已初步取得成效。自20世纪90年

代初以来,清华大学、西安交通大学、华中科技大学、华南理工大学、北京航空航天大学、西北工业大学等高校在3D打印设备制造技术、3D打印材料技术、3D设计与成型软件开发、3D打印工业应用研究等方面开展了积极的探索,已有部分技术处于世界先进水平。我国地方政府也非常重视3D打印产业,珠海、青岛、双流、南京等地先后建立了多个3D打印技术产业创新中心和科技园。

## 1.2 3D 打印的基本概念

3D打印(3D Printing)技术又称为增材制造或增量制造(Additive Manufacturing),指基于三维数学模型数据,通过连续的物理层叠加,逐层增加材料来生成三维实体的技术。3D打印实现过程如图1-1所示。

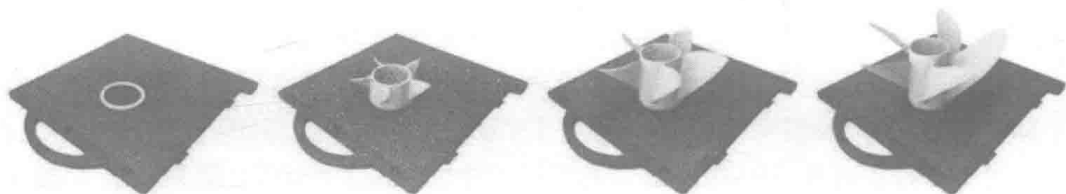


图1-1 3D打印实现过程

增材制造技术起步于20世纪90年代前后,经过短短二十几年的发展,迅速成长为现代制造业的核心技术。简单来说,3D打印机就是可以“打印”出真实三维物体的设备,通过分层、叠层以及逐层加料的方式做出立体实物。随着堆叠方式种类的增多,3D打印技术也呈现出各种各样的成型方式,且不同技术所用的打印材料以及成型构件的样式也各不相同,但其成型的基本原理都是离散堆积,属于由零件三维数据驱动直接制造零件的科学技术体系。3D打印的工作原理如图1-2所示。

简单来讲,3D打印的基本过程分为四步,如图1-3所示。

1) 建模。通俗来讲,3D建模就是通过三维制作软件在虚拟三维空间构建出具有三维数据的模型。

2) 切片处理。切片的目的是将模型用片层的方式来描述。切片就是把3D模型切成一片一片的形状,设计好打印的路径,并将切片后的文件储存成.gcode格式(一种3D打印机能直接读取并使用的文件格式)。然后通过3D打印机控制软件,把.gcode文件发送给打印机并控制3D打印机的参数、运动使其完成打印。

3) 打印过程。启动3D打印机,通过数据线、SD卡等方式把STL格式的模

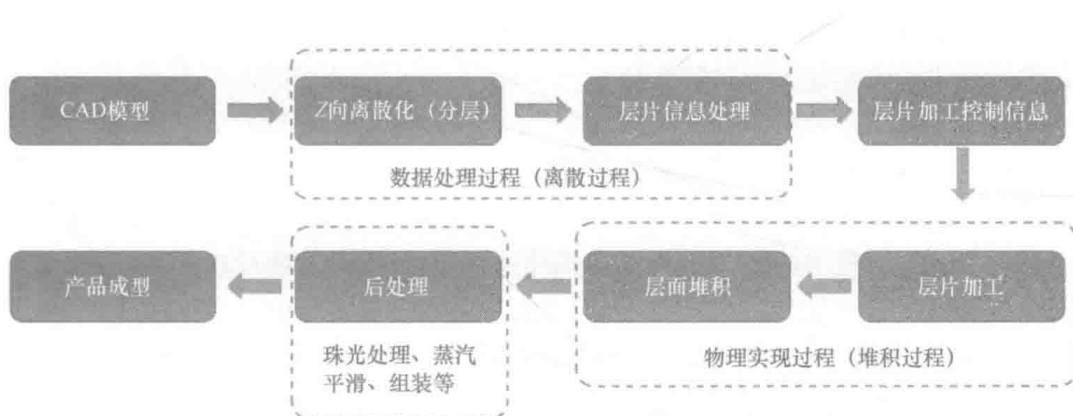


图 1-2 3D 打印的工作原理

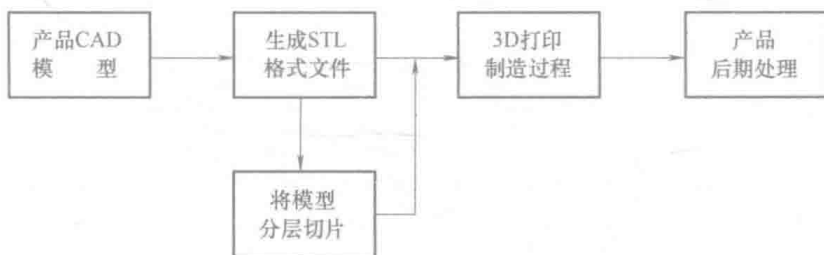


图 1-3 3D 打印的基本过程

型切片得到 gcode 文件传送给 3D 打印机，同时装入相应的 3D 打印材料，调试打印平台，设定打印参数，然后打印机开始工作，材料会一层一层地打印出来。层与层之间以各种方式粘合起来。就像盖房子一样，砖块是一层一层的，但累积起来后就形成一个立体的房子。最终经过分层打印、层层粘合、逐层堆砌，一个完整的物品就会呈现出来。

4) 后期处理。3D 打印机完成工作后，取出物体，根据不同的使用场景和要求进行后期处理。例如，在打印一些悬空结构时，需要有个支撑物，然后才可以打印悬空上面的部分，对于这部分多余的支撑需要通过后期处理去掉。有时候打印出来的物品表面会比较粗糙，需要抛光；有时需要对打印出来的物体进行上色处理，不同材料需要采用不一样的颜料；有时为加强模具成型的强度，需进行静置、强制固化、去粉、包覆等处理。

### 1.3 3D 打印的特点

3D 打印不需要机械加工或模具就能直接从计算机图形数据中生成任何形状的物体，使得产品的生产周期极大地缩短，从而提高生产率。

1) 利用计算机辅助制造技术、现代信息技术以及新材料技术等,通过综合集成的方式构成完整的生产制造体系。

2) 3D 打印技术具有设计和制造高度一体化的特点。3D 打印技术属于一种自动化的成型过程,它不受产品结构复杂程度等因素的限制,可以制造出任意形状的三维物品。

3) 3D 打印技术的生产过程具有高度柔性化的特点。在此过程中,能够根据客户的需求对产品品种和规格等进行相应调整,在调整的过程中只需要改动 CAD 模型,重新设计相关参数,不仅能够确保整个生产线快速响应市场变化,同时还有可调节性作为支撑,进一步保障了生产质量。

4) 3D 打印技术具有生产速度快的特点。应用该打印技术不仅能够提升产品成型的速度,而且还能缩短加工周期,从而使设计人员能够在短时间内将设计思想物化成三维实体,便于对其外观形状以及装配等展开测试。

5) 3D 打印材料具有相应的广泛性。3D 打印技术所应用的材料广泛性较强,金属、陶瓷、塑料、橡胶等材料都适用于打印生产操作。

具体来讲,与传统制造对比,3D 打印具有以下八大优势:

1) 降低产品制造的复杂程度。传统制造业通过模具及车、铣等机械加工方式对原材料进行定型、切削以生产产品。与传统制造不同的是,3D 打印将三维实体变为若干个二维平面,通过对材料处理并逐层叠加进行生产,大大降低了制造的复杂度。

2) 扩大生产制造的范围。3D 打印技术不需要复杂的工艺、庞大的机床、众多的人力,直接从计算机图形数据中便可生成任意形状的零件,使生产制造得以向更广的生产人群范围延伸,可以造出任何形状的实物。

3) 缩短生产制造时间,提高生产率。根据模型的尺寸以及复杂程度,传统方法制造出一个模型通常需要花费数小时到数天时间,但是采用 3D 打印技术,根据打印机的性能、模型的尺寸和复杂程度,则可以将时间缩短为数小时到数十分钟。

4) 减少产品制造的流程。实现了近净成型,极大地减少了后期辅助加工量,避免了委外加工时数据泄密和时间跨度问题,特别适合一些高保密性的军工、核电等行业。

5) 即时生产且能满足客户个性化需求。3D 打印机可以按需打印,即时生产,从而减少企业的实物库存。企业还可以根据客户订单使用 3D 打印机制造出定制的产品满足其个性化需求。

6) 开发更加丰富多彩的产品。用传统制造技术制造的产品形状有限,制造形状的能力受所使用工具的限制。3D 打印机可以突破这些局限,充分发挥设计的空间,甚至可以制作目前可能只存在于自然界的形状物品。

7) 提高原材料的利用效率。与传统的金属制造技术相比, 3D 打印机制造金属时产生较少的副产品。

8) 提高产品的精确度。扫描技术和 3D 打印技术将共同提高实体和数字世界之间形态转换的分辨率, 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。

从本质上来讲, 3D 打印技术与传统制造业有很大差异。传统制造业通过对原材料进行磨削、腐蚀、切割以及熔融等处理后, 各个零部件通过焊接、组装等方法形成最终产品, 其制造过程烦琐复杂, 消耗大量人力和物力。对 3D 打印技术来说, 可直接参照计算机提供的图像数据, 再利用添加材料的方式即可生成想要的实物模型, 不需要原坯和模具, 产品的制造过程更简单, 所制作的成品具有高效率低成本的优势, 给人们带来了极大的便利。3D 打印技术与传统制造技术的主要差异见表 1-1。

表 1-1 3D 打印技术与传统制造技术的比较

项 目	3D 打印技术	传统机械制造
基本技术	FDM、SLA、SLS、LOM、3DP	车、钻、铣、磨、铸、锻
核心原理	分层制造、逐层叠加	几何控形
技术特点	增材制造, 即加法	减材制造, 即减法
适用场合	小批量、造型复杂; 特殊功能性零部件	大规模、批量化; 不受限
使用材料	塑料、光敏树脂、金属粉末等(受限)	几乎所有材料
材料利用率	高, 可超过 95%	低, 有浪费
应用领域	模具、样件、异形件等	广泛, 不受限制
构件强度	有待提高	较好
产品周期	短	相对较长
智能化	容易实现	不容易实现

相对传统制造技术来讲, 3D 打印技术是一次重大的技术革命。它可以解决传统制造业所不能解决的技术难题, 对传统制造业的转型升级和结构性调整将起到积极的推动作用。然而传统制造业所擅长的批量化、规模化、精益化生产, 恰恰是 3D 打印技术的短板。从技术上分析, 目前 3D 打印技术只能根据对物品外部扫描获得的数据或者根据 CAD 软件设计的物品数据打印出产品, 并且只能用来表达物品外观几何尺寸、颜色等属性, 无法打印产品的全部功能。因此, 从成本核算、材料约束、工艺水平等多方面因素综合比较来看, 3D 打印并不能够完全代替传统的生产方式, 而是要为传统制造业的创新发展注入新鲜动力。

## 1.4 3D 打印的应用领域

近年来,3D 打印技术发展迅速,应用领域几乎遍及所有领域,已经成为现代模型、模具和零部件制造的有效手段,尤其在航空航天、国防军工、生物医药、家电、建筑工程、教学研究和农用工具、大众消费等领域得到一定的应用,并取得了良好的效果。

### 1.4.1 3D 打印在汽车行业的应用

与人们生活息息相关的汽车业也受到了3D 打印技术的影响。3D 打印技术为汽车制造业注入了新的血液,不仅是汽车零部件的设计与制造,而且汽车外观造型、内部结构或汽车内饰功能上的设计,都在不同程度上应用了3D 打印技术。目前3D 打印技术在汽车设计中的应用主要集中在概念模型开发、功能验证原型制造、工具制造及小批量定制型成品的生产四个阶段。

在国外的汽车制造领域,3D 打印技术的应用已经相对比较成熟,有很多成功的案例。2013 年世界首辆3D 打印汽车 Urbee (见图 1-4) 问世,整个车身采用3D 打印技术一体成型,具有其他片状金属材料所不具有的可塑性和灵活性。整车的零件打印只需 2500h 即可完成,工人需要做的只是把所有打印好的零部件组装在一起,生产周期远远快于传统汽车制造周期。新版的 Urbee2 则只需要 50 个 3D 打印的零部件即可,而传统标准汽车则需要由上千个零件组装而成。

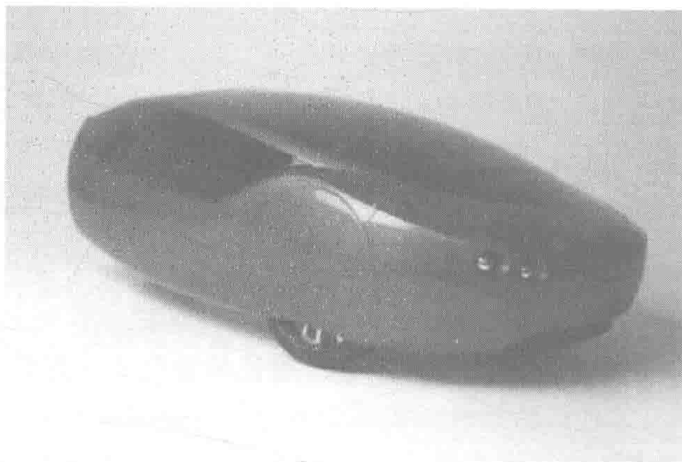


图 1-4 世界首辆 3D 打印汽车 Urbee (图片来源: 网易汽车)

### 1.4.2 3D 打印在武器装备领域的应用

在武器装备领域,3D 打印应用主要集中在武器设计创意验证和模具制作方

面，可以直接打印一些特殊、复杂的结构件，同时有效实现结构件的轻量化。在世界各国的广泛关注与大力推进下，3D 打印技术的发展与应用不断取得突破，对武器装备的发展也产生了深远影响。

3D 打印可用于武器装备的设计。3D 打印技术不需要传统制造方式的铸锭、制胚、模具、模锻等过程，可以直接快速、低成本地进行原型机生产，且整个生产过程可随时修正、随时制造，在短时间内就可进行大量的验证性试验，从而显著降低研制风险、缩短研制时间、降低研制费用。例如，某外国公司通过引入 3D 打印技术，将坦克外置装备的制造成本从每单件 10 万美元降至 4 万美元以下。

3D 打印还可用于武器零部件的维修和更换。在战场上难以预测装备受损情况，依靠备件或供应链容易产生保障不足或过量的情况。3D 打印技术具备快速制造不同零部件的能力，只要有电子设计图样及打印材料，就可根据需求快速地打印出各种部件。图 1-5 所示为 3D 打印的坦克观望机架。



图 1-5 3D 打印的坦克观望机架  
(图片来源: stratasys 公司官网)

### 1.4.3 3D 打印在航空航天领域的应用

航空航天领域正在利用 3D 打印来改善资产的分配，减少维护费用，并通过制备更轻的部件节省燃料成本。航空航天装备的零部件生产遍布世界各地，这些零部件可能需要几周时间才能运送到装配厂，如果是突发性的紧急事件，将严重的影响装备的测试或应用。使用 3D 打印技术现场打印组件，就能省去运输时间，减少供应链中的摩擦，也能减少工厂的库存。例如，波音公司已经使用 3D 打印机为其 787 飞机生产环境控制管道 (ECD)。通过 3D 打印，可以将 ECD 作为一体，不需要组装。而且由于 3D 打印件的质量减小，从而可使飞机节省燃料。3D 打印对于航空航天装备中的具有复杂内部结构的零件特别有效，图 1-6 所示为 3D 打印的形状复杂的金属机翼支架。

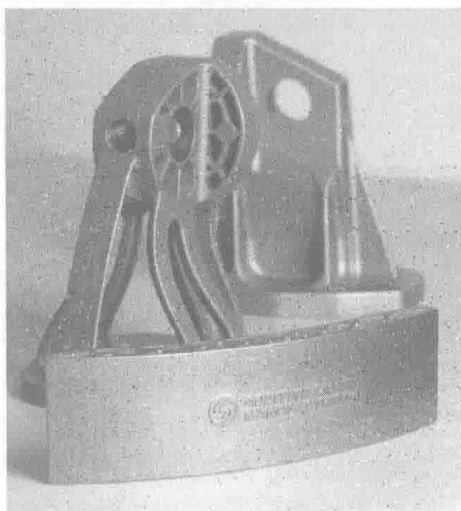


图 1-6 3D 打印的金属机翼支架  
(图片来源: EADS 公司官网)

#### 1.4.4 3D 打印在医疗行业的应用

3D 打印最令人鼓舞的应用行业是在医疗行业，3D 打印具有挽救生命或大幅改善医疗条件的潜能。可利用 3D 打印技术使用金属、塑料等非活体组织材料定制生产假肢、牙齿模具、骨科植入物、助听器外壳等医疗器械，如图 1-7 所示为 3D 打印的牙齿模具，但这些都属于 3D 打印技术在医疗行业应用的初级阶梯。3D 打印血管、软骨组织这类单一的活体组织属于中级阶梯。3D 打印人工肝脏、心脏等人工器官则属于顶级阶梯。无论是人造血管、软骨组织，还是肝脏、心脏等器官，其核心都是特定类型细胞的分离（或定向诱导）和大规模扩增。而 3D 打印技术在人工组织、器官培养过程中更多地承担了三维形状的构建任务，即让人体细胞按照预先设计的形状生长。

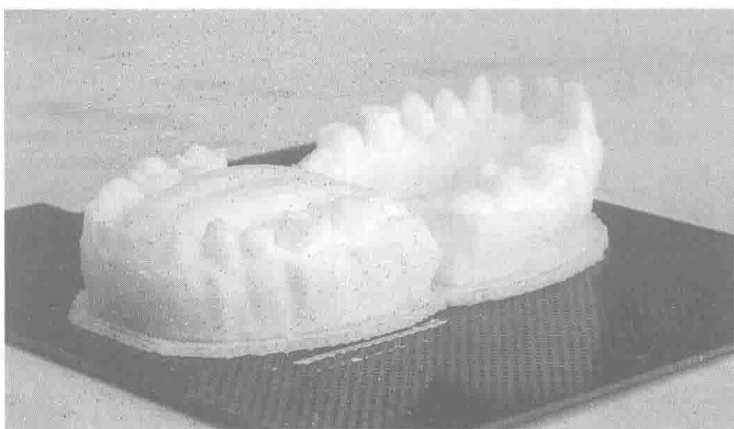


图 1-7 3D 打印的牙齿模具（图片来源：Stratasys 公司官网）

#### 1.4.5 3D 打印在建筑行业的应用

3D 打印建筑的发展将对人们的未来生活产生巨大的影响。3D 打印在建筑领域的应用主要集中在建筑设计阶段和工程施工阶段。

在建筑设计阶段，建筑的设计工作引入 3D 打印技术后设计师们能够对很多建筑创意想法进行实践，提高多种不同建筑类型实施的可行性，对现实的施工具有较强的指导作用。其次，运用 3D 打印技术能够对局部进行特殊设计提前做出有效的预估，获得最直观的感受，并提前设定好相应的辅助措施，弥补不足之处，确保建筑工程的质量。图 1-8 所示为 3D 打印的建筑模型。

在工程施工阶段有效应用 3D 打印技术，可以极大地缩短工期，提供高质量的应急住房。2016 年 5 月全球首座使用 3D 打印技术建造的办公室（见图 1-9）在阿联酋迪拜国际金融中心落成。





图 1-8 3D 打印的建筑模型 (图片来源: hk3Dprint 公司官网)

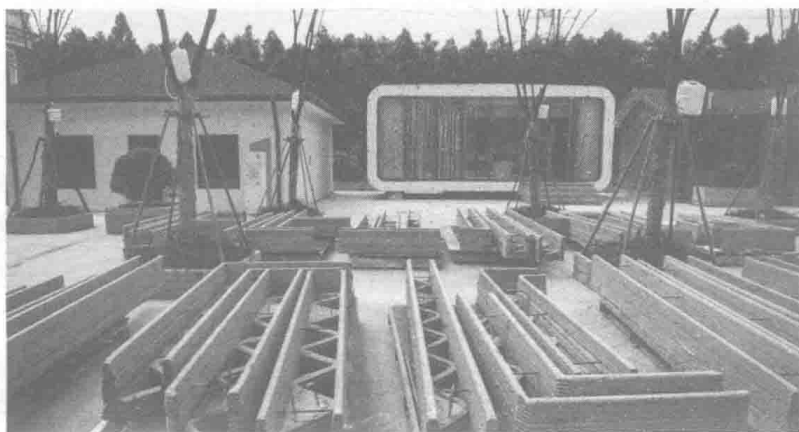


图 1-9 3D 打印技术建造的办公室 (图片来源: 新华网)

#### 1.4.6 3D 打印在服装行业的应用

3D 打印在服装行业的运用, 改变了以往布料难以塑造的立体造型, 给人们带来了焕然一新的视觉冲击。3D 打印的使用给了设计师充分的想象空间, 能够让设计师在产品形态创意和功能创新方面不受约束, 挥洒自如, 给服装制造业带来空前的发展机遇。

如图 1-10 所示, 3D 打印技术打破了传统产品设计的限制, 利用计算机能够实现传统工艺得不到的线条, 选择不同的制造材料, 根据客户自己的想法、个人喜好等不同的需求进行定制, 使得传统制造业无能为力的产品成为可能。

在减少库存、节约成本方面, 3D 打印技术在生产成品之前基本无须任何材料的消耗, 同时可以循环使用生产资料, 如果想要改进已生产出来的产品, 可