



3D打印技术

创业教程

◎ 主编 宗冬芳

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

3D 打印技术创业教程

主 编 宗冬芳
副主编 冯 昊
参 编 董 捷
主 审 傅 凯

内 容 简 介

本书通过剖析3D打印技术的原理与工艺流程,由从事3D打印技术教学与技术服务的一线教师依据其在教学、科研、竞赛等方面的丰富经验编写而成。从认识3D打印技术、3D打印技术原理、SLA实例、创新与创业等几部分来讲述,按照“项目导入、任务驱动”的理念精选教学内容,内容综合全面、深入浅出,且实操性强。

本书充分体现了理论知识与实际运用相结合的特点,突出应用能力与创新素质的培养。从理论到实践再从实践回到理论,比较全面地介绍了3D打印技术的历史、现状、发展,系统地阐述了3D打印技术的原理、流程、工艺,并对3D技术在创新创业上的应用与发展做了详细描述。

本书可作为机电类、模具设计类、机械制造类专业教材,还可作为3D打印技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

3D打印技术创业教程 / 宗冬芳主编. —北京:北京理工大学出版社, 2020. 4
ISBN 978 - 7 - 5682 - 8313 - 7

I. ①3… II. ①宗… III. ①立体印刷 - 印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第048772号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 三河市天利华印刷装订有限公司

开 本 / 787毫米×1092毫米 1/16

印 张 / 10.25

字 数 / 244千字

版 次 / 2020年4月第1版 2020年4月第1次印刷

定 价 / 38.00元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

前 言

3D 打印技术，即快速成型技术中的一种加工技术。相对于普通的机械加工技术原理——减材制造，是一种反向原理，故 3D 打印技术也称增材制造技术。3D 打印技术常在航空航天、船舶、工业设计等领域被用于制造模型，后逐渐用于一些产品的直接制造，甚至模具的直接制造，是 21 世纪最具有颠覆性的高科技技术之一。2015 年 5 月 8 日，国务院正式印发了《中国制造 2025》，描绘了中国制造梯次推进的路线图和未来 30 年建设制造强国的宏伟蓝图，在该规划中，3D 打印（增材制造）技术作为代表性的新兴技术占有重要位置，因此，可以说 3D 打印技术使得制造技术取得革命性的进步，而且 3D 打印（增材制造）技术作为一种创新型技术，为教育提供了更多的资源和突破口。在职业院校创新创业教育中加入 3D 打印技术，不仅能让学生对 3D 打印技术有一个崭新的认识，而且能快速、直接、精确地将设计思想转化为实物模型，使创新创业教学目标、内容等环节发生变革。

本书深入浅出地介绍 3D 打印技术，同时介绍了逆向工程技术在 3D 打印技术中的应用。从实际应用出发，充分考虑职业院校学生的学习特点，精心规划教学内容。内容言简意赅、图文并茂、通俗易懂。编者按照自己多年的学习实践经验，将纷繁复杂的内容整合归类，分成 4 章进行阐述，由宗冬芳任主编（第 1、2 章），冯昊任副主编（第 3 章），董捷（第 4 章）参编，傅凯任主审，在此特别感谢杭州中测科技有限公司的技术支持，在本书编辑过程中陆军华先生、肖方敏先生给予大量宝贵建议。

本书从整体内容设计上来说适用于国内职业技术学院、技师学院等职业院校的学习者，适合模具设计与制造、无人机应用技术、数控加工技术、模具制造、计算机辅助设计、工业设计、动漫、影视等 3D 打印技术相关专业人员学习参考。由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在疏漏与不妥之处，敬请读者批评指正，以便在本书修订时进行完善。

编 者
2019 年 11 月

目 录

第 1 章 认识 3D 打印技术	1
1.1 3D 打印是什么	1
1.2 3D 打印技术系统组成	3
1.2.1 软件	3
1.2.2 硬件：3D 打印设备	4
1.2.3 打印材料	5
1.3 3D 打印的特点	6
1.3.1 3D 打印的优势	6
1.3.2 3D 打印的劣势	8
1.4 3D 打印的工程应用	9
1.5 3D 打印技术现状及发展	14
1.5.1 3D 打印技术的历史	14
1.5.2 3D 打印技术的现状及发展	15
1.6 典型设备及厂商介绍	16
1.6.1 典型 3D 打印设备	16
1.6.2 3D 打印厂商	18
第 2 章 3D 打印技术原理	21
2.1 3D 打印基本原理	21
2.2 3D 打印工艺流程	23
2.2.1 三维建模	23
2.2.2 切片处理	23
2.2.3 叠层制造	24
2.2.4 后处理	24
2.3 3D 打印工艺类型	24
2.3.1 立体光固化成型 (SLA) 技术	25
2.3.2 熔融沉积成型 (FDM) 技术	55
2.3.3 选择性激光烧结 (SLS) 技术	66
2.3.4 三维打印 (3DP) 技术	78
2.3.5 叠层实体制造 (LOM) 技术	89



2.4 3D 打印材料	113
第3章 SLA 实例：瓷鸣·手机共鸣音箱	119
3.1 案例描述	119
3.2 设计思路	120
3.2.1 人机位置关系	120
3.2.2 设计关键	121
3.2.3 三视图	121
3.3 数据建模	122
3.3.1 任务目标	122
3.3.2 设计分析	123
3.3.3 设计步骤	123
3.4 数据处理	129
3.5 快速成型	135
3.6 后处理	136
第4章 创新与创业	140
4.1 创新概述	140
4.1.1 创新的概念	140
4.1.2 创新的基本要素	140
4.1.3 创新精神的内涵	141
4.2 创业概述	141
4.2.1 创业的概念	141
4.2.2 创业的类型	142
4.2.3 创业精神的内涵	143
4.3 创新与创业的关系	143
4.4 创业与生涯发展	144
4.4.1 创业对生涯发展的价值和意义	144
4.4.2 创业生涯规划的步骤与方法	144
4.4.3 3D 打印创业规划案例	146
课后习题	148
习题答案	153

第 1 章

认识 3D 打印技术

1.1 3D 打印是什么

2012 年，英国著名财经杂志《经济学人》（*The Economist*）的一篇封面文章指出，以 3D 打印为代表的数字化制造技术将会成为引发第三次工业革命的关键因素。自第一台 3D 打印机问世以来，3D 打印技术（图 1-1）正逐渐融入设计、研发以及生产的各个环节，高度融合材料科学、制造工艺与信息技术等并创新。新的 3D 打印浪潮，正推动生产方式的变革，补充优化传统制造方式，催生新的生产模式。3D 打印技术势必成为引领未来制造业趋势的众多突破之一，其将改写制造业的生产方式，进而改变产业链的运作模式。

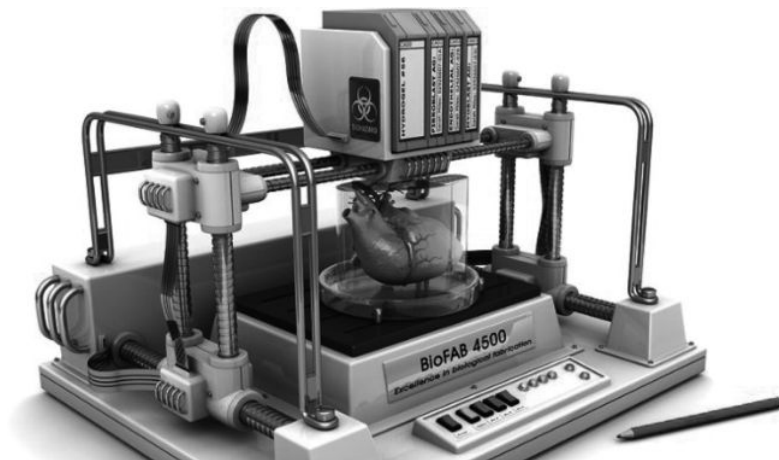


图 1-1 3D 打印技术

那么，什么是 3D 打印？

传统的生产制造方式是等材制造和减材制造。

等材制造：采用铸造（图 1-2）、焊接及锻压等技术对材料进行加工，制造过程中，基本上不改变材料的量，或者改变很少。

减材制造：利用切削机床对毛坯进行加工，由大变小，而形成最终所需要形状的零件（图 1-3）。

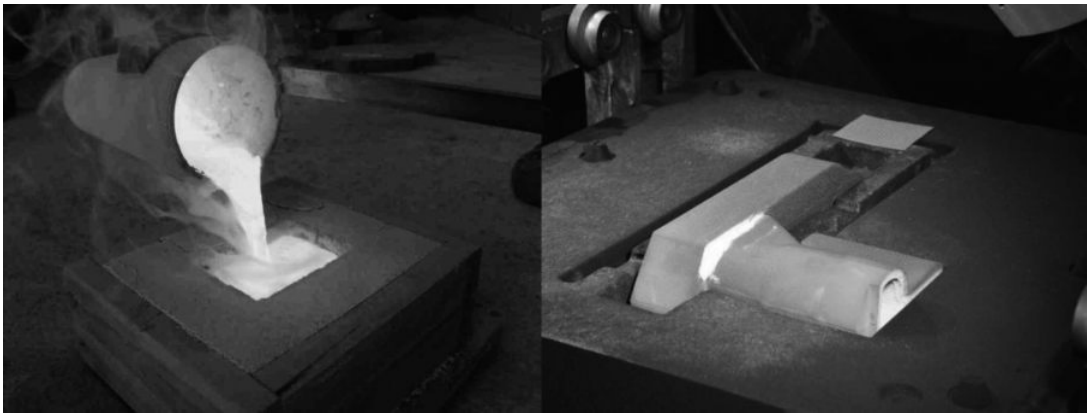


图 1-2 铸造加工



图 1-3 车削加工

3D 打印技术是由数字模型直接驱动，运用金属、塑料、陶瓷、树脂、蜡、纸和砂等可黏合材料，在 3D 打印机上按照程序计算的运行轨迹，以材料逐层堆积叠加的方式来构造出与数据描述一致的物理实体的技术（图 1-4）。



图 1-4 快速成型制造模型的过程

3D 打印技术准确地讲应称为快速成型（Rapid Prototyping, RP）技术，属于增材制造技术。3D 打印技术是一系列快速成型技术的统称，其基本原理都是叠层制造，3D 打印设备也与传统打印机较为类似，都是由控制组件、机械组件、打印头、耗材和介质等架构组成的，打印过程也很接近。从用户的使用体验而言，3D 打印机与普通打印机极为相似，正是如此，快速成型技术才会被形象地称为 3D 打印。

3D 打印技术集成材料科学、机械工程、控制工程、光学、热学和软件等多领域的技



术成果，并非一项单一技术。3D 打印技术能够自动、直接、快速、精准地反映设计思想，并将其转变为具有一定功能的原型甚至可供使用的零件，为零件原型制作、新设计思想的校验等方面提供了一种高效低成本的实现手段，被认为是近 20 年来制造领域的一个重大成果。

1.2 3D 打印技术系统组成

一个完整 3D 打印产品的制作，需要由软件、硬件设备使用打印材料共同协作完成。

1.2.1 软件

3D 打印中使用的软件主要包括以下几个部分。

1. 建模软件

建模软件辅助设计人员制作产品三维数字模型（图 1-5）。

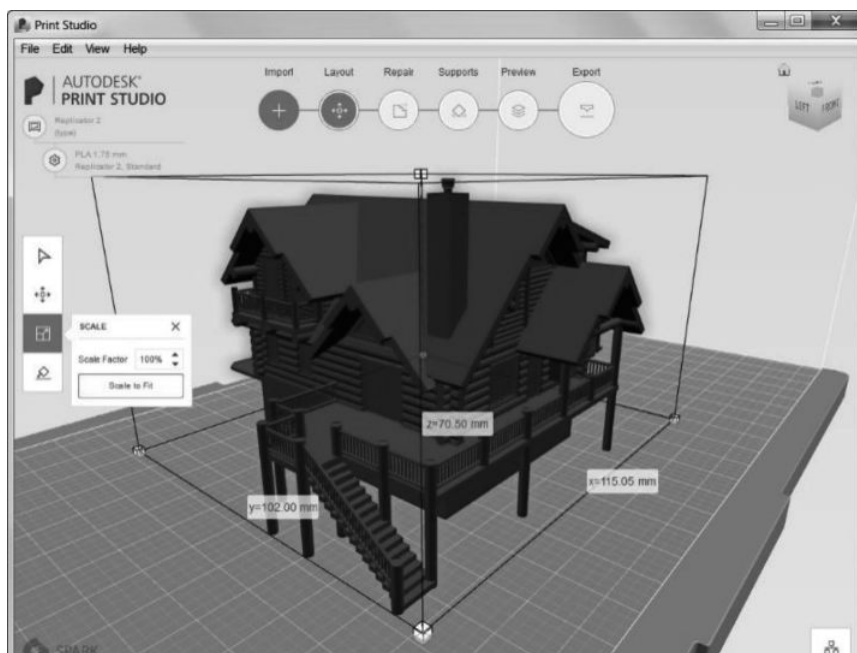


图 1-5 图形设计软件 AUTOCAD 为三维打印推出的增强功能

3D 设计是在假想空间直接完成整体形态的设计，只要有 3D 数据，就可以根据数据打印出成品。可用于 3D 建模的软件工具很多，根据设计对象的形状和用途需要选择不同的软件环境，通过软件工具详细、完整地表达设计细节和需求，是快速成型的制造依据。

2. 数据处理软件

为使快速成型设备识别三维模型，执行成型命令，使用数据处理软件对三维模型进行数据修复、转换、切片、添加支撑等操作（图 1-6）。



简单有效地优化STL或CAD数据

Magics能确保更好的3D打印和更成功的建模



优化3D打印模型

- 运用布尔运算和高级切割
- 重新调节部件、补偿收缩值
- 抽壳（挖空部件）

让设计更上一层楼

- 轻松添加标识、序列号或其他标签
- 应用纹理
- 镜像部件



图 1-6 数据处理软件 Magics 在 3D 打印中的应用

产品设计完成进行生产加工前，都要从 3D 图形文件转换为机床代码，然后才能送至生产设备进行相应的加工。数据处理软件就是将模型设计的图形文件从模态结构转化成数字结构，并对转化过程中产生的错误进行检测、修复、编辑等处理操作，生成加工设备可识别执行的数字文件。

3. 设备控制软件

快速成型设备控制软件如图 1-7 所示。



图 1-7 TPM 盈普光电的设备控制软件 EliteCtrlSys

设备控制软件主要用于将 3D 数据导入成型设备，并控制、监测成型设备完成成型加工。

1.2.2 硬件：3D 打印设备

3D 打印设备主要指 3D 打印机，是 3D 打印的核心装备（如图 1-8 所示）。

不同的成型方式所使用的设备不尽相同，但其基本原理都是堆叠薄层成型。3D 打印机



与普通打印机工作原理基本相同，打印机内装有打印材料，成型设备收到模型的切片信息后，通过软件控制开始打印，打印材料按照既定路径被逐层打印成型，层层堆叠，直到得到一个实体模型。

目前市面上的3D打印设备可分为两类，一类是工业级3D打印机，另一类是桌面级3D打印机。

工业级3D打印机（图1-9），精度高、成品率高、高度高，常被称为快速成型机。这些设备主要应用于专业化、重量级的产品原型设计，价格昂贵，系统复杂，适用于专业人士。

随着技术的发展和消费者需求的变化，3D打印机褪去神秘，开始走进业余爱好者和设计师的工作台。桌面级3D打印机（图1-10）小巧精致且价格低廉，对于个人消费者、中小企业或者各类教育机构等非常实用，对操作者的专业要求不高。相对地，3D打印机的小型化也一定程度上牺牲了产品的精度和表面质量等。桌面级3D打印机的推广普及，使得3D打印技术进入大众视野。



图1-8 Stratasys公司的3D打印机



图1-9 工业级3D打印机



图1-10 桌面级3D打印机

1.2.3 打印材料

基于3D打印的成型原理，其所使用的原材料必须能够液化、粉末化或者丝化，在打印完成后又能重新结合起来，并具有合格的物理、化学性能。除了模型成型材料，还需有辅助成型的凝胶剂或其他辅助材料，以提供支撑或用来填充空间，这些辅助材料在打印完成后需要处理去除。

现在可用于3D打印的材料种类越来越多，从树脂、塑料到金属，从陶瓷到橡胶类材料都可作为成型材料。3D打印材料主要可分为高分子材料和金属材料两大类，高分子材料如光敏树脂、ABS、PC、尼龙粉、石膏粉、蜡等是3D打印的常用材料，金属材料受工艺及自身特性的局限，目前应用并不广泛。随着技术的发展，一些混合材料的应用也渐渐多了起来。



1.3 3D 打印的特点

3D 打印是对材料做“加法”的增材制造，与传统机械切割原料或通过模具成型的“减法”制造有很大不同。现今社会越来越倾向于数字化，在计算机技术的普及、新型设计软件、新材料应用等诸多技术推动下，3D 打印凭借其独特的制造技术可将虚拟的、数字的物品快速还原到实体世界，快速得到个性化的产品，尤其是形状复杂、结构精细的物体，这种生产方式符合社会发展的大趋势。

3D 打印技术在近 20 年的快速发展中，应用越来越广泛，其成型方式在应用中呈现了独特的特点。在当前的技术条件下，与传统生产制造方式相比，既有其优势也有劣势。

1.3.1 3D 打印的优势

1. 从制造成本来看

(1) 生产周期短节约成本。

3D 打印技术在有三维数据模型的前提下，即可直接开始制造实体零件，无须制造模具和试模等传统制造工艺漫长的试制过程，大大缩短了生产周期，也节约了制模成本。

(2) 制造复杂零件不增加成本。

对于 3D 打印技术而言，制造形状复杂的物体仅是数据模型的不同，与制造简单物体并无太大不同，并不会额外消耗更多的时间、材料等成本，而一个复杂形状的模具制作相当耗时费力，有的甚至无法制成。3D 打印制造复杂零件（图 1-11）的方法若能和传统制造达到同样的精度和实用性，将会对产品价格产生很大的影响。

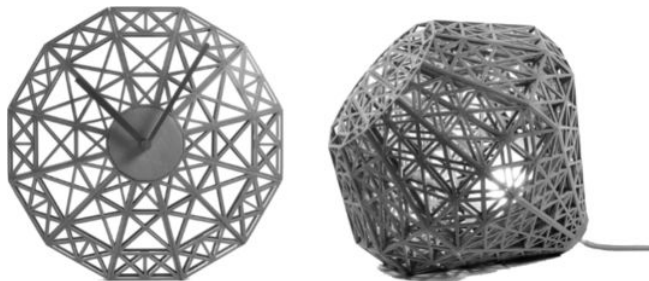


图 1-11 3D 打印复杂结构物体

(3) 产品多样化不增加成本。

同一台 3D 打印设备按照不同的数据模型使用相同材料，可以同时制造多个形状不同的物体。传统制造设备功能较为单一，能够做出的形状种类有限，成本相对也较高。

2. 从产品来看

(1) 实现个性化产品定制。

对于 3D 打印技术，从理论上讲，只要计算机建模设计出造型，3D 打印机都可以打印出



来。人们可以根据所需对模型进行任何个性化修改，实现复杂产品、个性化产品的生产。这一点在医学领域的应用显得尤为重要和适宜，个性化制造符合患者需求的诸如假牙、人造骨骼和义肢（图1-12）等，对患者来讲意义重大。



图1-12 3D打印的义肢

(2) 产品无须组装，一体化成型。

3D打印可以使部件一体化成型，不需要各个零件单独制造再组装，有效地压缩了生产流程，减少了劳动力的使用和对装配技术的依赖，在这些方面节省了大量成本。在传统生产中，产品生产是由流水线逐步生产组装的，部件越多，组装和运输所耗费的时间和成本也就越多。

(3) 突破设计局限。

传统制造受制于生产工具和方式，并不能随心所欲地生产设想中的产品。3D打印技术突破了这些局限，可以轻松实现设计者的各种设计想法，大大拓宽了设计和制造者的发挥空间。

3. 从生产过程来看

(1) 制作技能门槛低。

3D打印中计算机控制制造全过程，降低了对操作人员技能的要求，不需要再依赖熟练工匠的技术能力控制产品的精度、质量和生产速度，开辟了非技能制造的新商业模式，并能在远程环境或极端情况下为人们提供新的生产方式。

(2) 废弃副产品较少。

3D打印制造的副产品较少，尤其在金属制造领域，传统金属加工浪费量惊人，而3D打印进行金属加工时浪费量很少，节能环保。

(3) 精确的产品复制。

3D打印依托数据模型生产产品，在同一产品精度的控制方面也是从数据扩展至实体，因而可以精确地创建副本或优化原件（图1-13）。



图 1-13 高精度创建实体

(4) 材料无限组合。

传统制造在切割或模具成型的过程中，不能轻易地将不同原材料结合成单一产品。而 3D 打印技术却可将以前无法混合的原材料混合成新的材料，这些材料种类繁多，甚至可以赋予不同的颜色，具有独特的属性或功能（图 1-14）。

然而，3D 打印技术并非“无所不能”，还有许多技术困难没有得到完美解决。在产品精度、实用性等方面还有很大的提升空间。现时技术条件下，3D 打印技术仍存在一些缺陷或劣势。

1.3.2 3D 打印的劣势

1. 制造精度问题

3D 打印技术的成型原理是层层堆叠成型，这使得其产品中普遍存在台阶效应（图 1-15）。尽管不同方式的 3D 打印技术（如粉末激光烧结技术）已尽力降低台阶效应对产品表面质量的影响，但效果并不尽如人意。分层厚度虽然已被分解得非常薄，但仍会形成“台阶”，对于表面是圆弧形的产品来说，精度的偏差是不可避免的。



图 1-14 3D 打印多材料混合彩色模型



图 1-15 3D 打印产品呈现的台阶效应



目前，很多打印方式都需要进行二次强化处理，如二次固化、打磨等，其对产品施加的压力或温度，会造成产品材料的形变，进一步造成精度降低。

2. 产品性能问题

层层堆叠成型的方式，使得层与层之间的衔接无法与传统制造工艺整体成型的产品的性能相匹敌，在一定的外力作用下，打印的产品很容易解体，尤其是层与层之间的衔接处。

现阶段的3D打印技术，由于成型材料的限制，其制造的产品在诸如硬度、强度、柔韧性和机械加工性等性能和实用性方面，与传统制造加工的产品还有一定的差距。这一点在民用领域的产品上体现得较为明显，多用于产品原型或验证设计模型时使用，作为功能部件使用略显勉强。3D打印在工业制成品等高端应用中，在精度、表面质量和工艺细节上有很大提升，在航空航天、医疗、军事等领域有较多的功能性应用。

3. 材料问题

目前可供3D打印机使用的材料，尽管种类在不断地扩大，但相对于应用需求来讲还是太少，即使可以在3D打印机上使用，其产品的功能性如何尚未可知。

此外，由于3D打印加工成型方式的特殊性，很多材料在使用前需要经过处理制成专用材料（如金属粉末），这使得打印的产品在质量上与传统加工产品的质量有一定的差距，影响应用。另一些快速成型方式制成的产品表面质量较差，需要经过二次加工等后处理才能应用。对于具有复杂表面的3D打印产品，支撑材料难以去除，也对产品质量和应用构成影响。

4. 成本问题

目前，使用3D打印机进行生产制造，高精度核心设备价格高昂，成型材料和支撑材料等耗材需制成专用材料，价格不菲，这使得在不考虑时间成本时，3D打印对传统加工的优势荡然无存。

在现有的技术条件下，打印成品的表面质量还需进一步后处理，当后处理成为必要环节时，人力和时间成本也随之上升。

1.4 3D打印的工程应用

3D打印技术已经发展近30年，它为传统制造业带来的改变是显而易见的。随着技术的发展，数字化生产技术将会更加高效、精准、成本低廉，3D打印技术在制造业将大有可为。

1. 工业制造

3D打印技术在工业制造领域的应用不言而喻，其在产品概念设计、原型制作、产品评审和功能验证等方面有着明显的应用优势。运用3D打印技术能够快速、直接、精确地将设计思想转化为具有一定功能的实物样件，对于制造单件、小批量金属零件或某些特殊的、复杂的零件来说，其开发周期短、成本低的优势则会突显出来，使得企业在竞争激烈的市场中占有先机。



图 1-16 是福特汽车公司向福特汽车爱好者提供的 3D 打印福特汽车模型，并提供了打印数据供下载。3D 打印的小型无人机、小型汽车等概念化产品已问世，3D 打印的家用器具模型也常被用于企业的宣传和营销活动中。



图 1-16 福特汽车 3D 打印模型

2. 医疗行业

3D 打印技术在医疗领域发展迅速，市场份额不断提升。3D 打印技术为患者提供了个性化治疗的条件，可以根据患者的个人需求定制模型假体，例如假牙、义肢等，甚至定制人造骨骼也已成为现实。据英国媒体报道，天生右臂缺失的 9 岁男孩 Josh Cathcart 在医院装上了 3D 打印机械手（图 1-17），通过简单的手势，机械手能够实现不同的持握动作，他可以像其他孩子一样生活和玩乐了。通过 3D 打印技术可以很容易得到病人的软、硬组织模型，为医生提供准确的病理模型，帮助医生更好地了解病情，合理制定手术规划和方案设计。

另外，研究人员正在研究将生物 3D 打印应用于组织工程和生物制造，期望通过 3D 打印机打印出与患者自身需要完全一样的组织工程支架，在接受组织液后，可以成活，形成有功能的活体组织，为患者进行移植代替损坏的脏器带来了希望，为解决器官移植的来源问题提供了可能。尽管生物



图 1-17 使用 3D 打印机械手持握积木的 Josh Cathcart



3D 打印有如此诱人的应用前景，但也涉及伦理和社会问题，这些都需要制定相关法律法规来加以限制。当然，这还只是一种设想，要想变为现实，还需要做很多的科研工作。

3. 航空航天，国防军工

在航空航天领域会涉及很多形状复杂、尺寸精细、性能特殊的零部件、机构的制造。3D 打印技术可以直接制造这些零部件，并制造一些通过传统工艺难以实现的零件。据一些媒体报道，一些战斗机、航母、商飞的民用飞机甚至美国国家航空航天局（NASA）的航天器也正在使用 3D 打印技术。

罗尔斯罗伊斯公司利用 3D 打印技术，以钛合金为原材料，打印出了首个最大的民用航空发动机组件，即瑞达 XWB-97 发动机（图 1-18）的前轴承，是一个类似于拖拉机轮胎大小的组件。

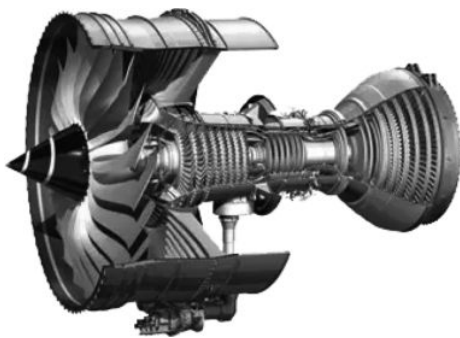


图 1-18 瑞达 XWB-97 发动机

全球四大航空发动机厂商陆续宣布将在不同领域使用 3D 打印技术，UTC 下属的普惠飞机发动机公司宣布将使用 3D 打印技术制造喷射发动机的内压缩叶片，并在康涅狄格大学成立增材制造中心，霍尼韦尔则在其后宣布将使用 3D 打印技术构建热交换器和金属骨架。同为航空发动机四巨头的通用航空、劳斯莱斯，在增材制造技术应用与航空发动机的研发方面所用时间也都超过了 10 年。

4. 文化创意，数码娱乐

3D 打印独特的技术优势使得它成为那些形状结构复杂、材料特殊的艺术表达的很好的载体。3D 打印不仅可以制作模型艺术品，也可以制作电影道具、角色等，如洛杉矶特效公司 Legacy Effects 运用 3D 打印技术为电影《阿凡达》塑造了部分角色和道具（图 1-19），而 3D 打印的小提琴则接近了手工艺的水平。



图 1-19 Legacy Effects 为《阿凡达》制作角色模型