

广东省增材制造 (3D打印) 产业技术路线图

杨永强 宋长辉 / 主编
钟世镇 张志彤 / 主审



2,500 - 单位: 百万美元

2,000 -

1,500 -

1,000 -

500 -

0

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

2022

2023

年均复合增长率
超过20%



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS



广东省增材制造 (3D打印) 产业技术路线图

The Additive Manufacturing (3D Printing) Industry
Technology Roadmap for Guangdong Province

杨永强 宋长辉 / 主编
钟世镇 张志彤 / 主审



华南理工大学出版社
SOUTH CHINA UNIVERSITY OF TECHNOLOGY PRESS

· 广州 ·

内容简介

3D 打印作为一项颠覆性制造技术正在进入普通人的生活，英国《经济学人》刊文认为，3D 打印将与其他数字化生产模式一起，推动第三次工业革命的实现。相对传统减材制造技术，3D 打印是增材制造技术，具有制造成本低、生产周期短等明显优势。3D 打印技术发展前景如何？广东省能否抓住这一技术变革带来的机遇，打破目前广东省制造业面临的高质量高附加值的“海外制造”和更低成本的“东南亚制造”困境？本书是政府、高校、科研院所和企业界 60 多位专家集体智慧的结晶。书中系统分析了目前海内外 3D 打印发展布局，以及广东省 3D 打印市场需求与发展现状，明确了广东省未来几年内在 3D 打印产业发展的重点、应突破的技术壁垒以及对研发需求进行了凝练，对政府、高校、科研院所和企业的产业政策制定、产业技术研究、产业开发具有指导意义。

图书在版编目 (CIP) 数据

广东省增材制造(3D 打印)产业技术路线图/杨永强,宋长辉主编. —广州:华南理工大学出版社, 2017.4

ISBN 978-7-5623-5224-2

I. ①广… II. ①杨… ②宋… III. ①立体印刷—制造业—产业发展—研究—广东 IV. ①F426.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 062617 号

广东省增材制造 (3D 打印) 产业技术路线图

杨永强 宋长辉 主编

出 版 人：卢家明

出版发行：华南理工大学出版社

(广州五山华南理工大学 17 号楼，邮编 510640)

<http://www.scutpress.com.cn> E-mail: scutc13@scut.edu.cn

营销部电话：020-87113487 87111048 (传真)

责任编辑：袁 泽

印 刷 者：佛山市浩文彩色印刷有限公司

开 本：787mm×1092mm 1/16 印张：10.75 插页：2 字数：240 千

版 次：2017 年 4 月第 1 版 2017 年 4 月第 1 次印刷

定 价：48.00 元

前言

3D 打印正在快速改变我们的传统生产方式和生活方式,许多人预测,如同蒸汽机、福特汽车流水线引发工业革命一样,3D 打印技术将作为“一项改变世界的技术”,带动新一轮的科技革命和产业革命。

欧美国家纷纷制定了国家战略以发展 3D 打印技术,已经形成较完善、基本成体系的产业政策,包括从国家战略到产业发展、行业标准的制定,等等。我国在国家层面的关于 3D 打印产业的整体推进工作才刚开始,2015 年 2 月,工信部、发改委及财政部联合发布了《国家增材制造产业发展推进计划(2015—2016 年)》,首次将增材制造(即 3D 打印)产业发展上升到国家战略层面。近两年国内各省市也相继推出 3D 打印路线图,但相对欧美路线图来说仍较为粗糙。

近年来,广东省大力实施自主创新战略,积极推进产业结构转型升级,成果丰硕,在各种严峻形势下,经济仍然保持平稳和较快的增长。然而广东发展也面临一系列的问题,如人力成本上升和外资投资门槛提高,外资制造业开始退出,欧美国家推行所谓“将制造业带回美国”的贸易保护主义政策促进了海外制造业的回流,同时部分外企制造业转向成本更低的区域谋求发展,广东制造业正遭遇高质量高附加值的“海外制造”和更低成本的“东南亚制造”的围剿。党的十八大提出了实施创新驱动发展战略,为新时期制造业发展指明了方向。加强自主创新能力,提升制造业竞争力势在必行。而 3D 打印产业正是推动广东省实现新一轮发展的重要推手。

为深入贯彻落实广东省委、省政府《关于全面深化科技体制改革 加快创新驱动发展的决定》,顺应增材制造(3D 打印)产业发展趋势,抢占 3D 打印产业制高点,广东省发布了《加快广东省 3D 打印技术和应用产业发展实施方案》,开展广东省重大专项——增材制造(3D 打印)专项研究。《广东省增材制造(3D 打印)产业技术路线图》的制定正是根据重大专项的要求,理清广东省重要产业领域中的 3D 打印技术开发现状,解决相关技术难题,整合 3D 打印领域相关研发力量,引导 3D 打印技术的开发和推进相关产业的快速发展。这对提升广东省 3D 打印产业的整体水平和竞争力具有重要的意义。

本书的编写依托于广东省省级科技计划项目——广东省重大科技专项增材制造(3D 打印)产业技术路线图(项目编号:2014A080802002)。由华南理工大学杨永强教授、

宋长辉博士任主编，负责策划与编写，参与编写的还有张自勉、周权、肖然、王迪、李阳、黄延禄、林康杰、陈杰、付凡、吴世彪等。南方医科大学钟世镇院士和广东省科技厅产学研处张志彤对书稿进行主审。同时在编写的过程中还得到广东省科技厅监审处龚建文处长的大力支持和悉心指导，为书中路线图的制定和广东省重大科技专项的实施情况提供了积极建议和大量第一手资料；本书的出版得到了华南理工大学出版基金的资金支持；在此一并表示由衷的感谢！

由于编者水平和经验有限，再加上时间较为仓促，书中难免有疏漏和不妥之处，恳请广大读者批评指正，为广东省增材制造（3D打印）发展献计献策，以利将来不断完善和修订。

编者

2017年3月

1 增材制造（3D 打印）发展现状	(1)
1.1 增材制造（3D 打印）发展概况	(1)
1.1.1 3D 打印技术简介	(1)
1.1.2 3D 打印技术发展历史	(2)
1.1.3 3D 打印特点	(4)
1.1.4 全球市场情况	(7)
1.2 美国增材制造（3D 打印）国家战略与技术路线图	(10)
1.3 欧盟增材制造（3D 打印）国家战略与技术路线图	(12)
1.4 亚太增材制造（3D 打印）国家战略与技术路线图	(16)
1.4.1 日本	(16)
1.4.2 韩国	(16)
1.4.3 澳大利亚	(16)
1.5 国内增材制造（3D 打印）国家战略与技术路线图	(17)
1.5.1 国家高技术研究发展计划（“863”计划）、国家科技支撑计划 ...	(17)
1.5.2 国家增材制造产业发展推进计划（2015—2016 年）	(17)
1.5.3 “中国制造 2025”	(19)
1.5.4 国家“十三五”相关规划	(20)
1.5.5 地方政策与路线图	(20)
2 增材制造（3D 打印）技术分类	(23)
2.1 熔融沉积成型	(23)
2.1.1 FDM 技术原理分析	(23)
2.1.2 FDM 技术特点	(23)
2.1.3 国内外 FDM 主要设备厂商	(24)
2.1.4 FDM 材料	(25)

2.2	光固化成型	(26)
2.2.1	SLA 技术原理分析	(26)
2.2.2	SLA 技术特点	(26)
2.2.3	SLA 设备	(27)
2.2.4	SLA 材料	(28)
2.3	数字光处理	(28)
2.3.1	DLP 技术原理分析	(28)
2.3.2	DLP 技术特点	(29)
2.3.3	DLP 设备	(29)
2.3.4	DLP 材料	(30)
2.4	激光选区熔化	(30)
2.4.1	SLM 技术原理分析	(30)
2.4.2	SLM 技术特点	(31)
2.4.3	国内外 SLM 设备生产研发情况	(32)
2.4.4	SLM 材料	(33)
2.5	电子束成型	(34)
2.5.1	EBM 技术原理分析	(34)
2.5.2	EBM 技术特点	(34)
2.5.3	国内外 EBM 技术厂商代表	(35)
2.5.4	EBM 材料	(35)
2.6	激光近净成型	(35)
2.6.1	LENS 技术原理分析	(35)
2.6.2	LENS 技术特点	(36)
2.6.3	国内外 LENS 相关技术厂商	(36)
2.6.4	LENS 材料	(37)
2.7	激光选区烧结	(37)
2.7.1	SLS 技术原理分析	(37)
2.7.2	SLS 技术特点	(38)
2.7.3	国内外 SLS 技术厂商	(38)
2.7.4	SLS 主要材料	(39)
2.8	聚合物喷射技术	(40)
2.8.1	PolyJet 技术原理分析	(40)
2.8.2	PolyJet 技术特点	(40)
2.8.3	国内外 PolyJet 设备研发与生产情况	(41)
2.8.4	PolyJet 材料	(41)
2.9	三维立体印刷技术	(42)

2.9.1 3DP 技术原理分析.....	(42)
2.9.2 3DP 技术特点	(43)
2.9.3 DP 设备商	(43)
2.9.4 3DP 材料.....	(45)
2.10 激光熔覆 3D 打印 +CNC 技术.....	(45)
2.11 SLM 激光选区熔化 3D 打印 +CNC 技术	(48)
2.12 金属纳米颗粒喷墨技术.....	(50)
2.13 CLIP 技术.....	(50)
3 增材制造应用产业链分析.....	(53)
3.1 增材制造 (3D 打印) 产业链构成	(53)
3.2 增材制造在医学上的应用.....	(55)
3.2.1 医学应用分类	(55)
3.2.2 医学应用市场	(57)
3.2.3 医学应用产业链.....	(60)
3.2.4 3D 打印医疗的产业探索.....	(61)
3.3 增材制造在模具上的应用	(63)
3.3.1 模具 3D 打印分类	(63)
3.3.2 模具 3D 打印应用市场	(64)
3.3.3 模具 3D 打印产业链.....	(66)
3.3.4 模具 3D 打印产业探索	(68)
3.4 增材制造在汽车领域的应用	(70)
3.4.1 3D 打印在汽车领域中的应用情况	(70)
3.4.2 3D 打印在汽车领域中的应用市场	(71)
3.4.3 3D 打印在汽车领域的产业链.....	(72)
3.4.4 3D 打印在汽车领域的产业探索	(72)
3.5 增材制造在珠宝首饰领域的应用.....	(75)
3.5.1 增材制造在珠宝首饰中的应用情况.....	(75)
3.5.2 增材制造在珠宝首饰中的市场分析.....	(76)
3.5.3 增材制造在珠宝首饰中的产业链	(76)
3.5.3 增材制造在珠宝首饰中的产业探索	(77)
3.6 增材制造在文化创意领域的应用	(78)
3.6.1 3D 打印在文化创意领域应用前景分析.....	(78)
3.6.2 3D 打印在文化创意领域的市场分析	(79)
3.6.3 3D 打印在文化创意领域的产业链	(80)
3.6.4 3D 打印在文化创意领域的产业探索	(80)

3.7 增材制造在其他领域的应用	(81)
3.7.1 航空航天方面	(81)
3.7.2 建筑方面	(83)
3.8 广东省增材制造产业状况总体分析	(85)
3.9 广东省增材制造(3D打印)产业链存在的问题	(87)

4 广东省增材制造(3D打印)技术边界划分与技术水平..... (89)

4.1 广东省3D打印专利分析	(89)
4.1.1 检索概述	(89)
4.1.2 国内外3D打印专利概况	(90)
4.1.3 广东省3D打印专利数量分析	(92)
4.1.4 广东省3D打印产业布局情况及特点	(95)
4.2 增材制造(3D打印)产业标准分析	(97)
4.2.1 国外3D打印标准发展现状	(97)
4.2.2 国内3D打印标准发展现状	(101)
4.2.3 广东省3D打印标准的发展	(102)
4.3 增材制造技术边界划分	(103)
4.3.1 增材制造(3D打印)高性能材料边界	(103)
4.3.2 增材制造(3D打印)的金属3D打印装备边界	(108)
4.3.3 增材制造(3D打印)的非金属3D打印装备边界	(108)
4.3.4 增材制造(3D打印)相关共性技术边界	(109)
4.3.5 增材制造(3D打印)技术应用领域边界	(109)
4.4 增材制造技术水平及技术评价	(110)
4.4.1 增材制造材料技术发展水平及技术评价	(111)
4.4.2 金属3D打印装备水平	(112)
4.4.3 非金属3D打印装备水平	(113)
4.4.4 增材制造共性技术水平	(114)
4.4.5 增材制造应用技术水平	(114)
4.5 技术壁垒分析	(115)
4.5.1 增材制造材料的技术壁垒	(115)
4.5.2 金属3D打印设备的技术壁垒	(116)
4.5.3 非金属3D打印设备的技术壁垒	(116)
4.5.4 增材制造共性技术的技术壁垒	(116)
4.5.5 增材制造技术应用的技术壁垒	(116)

5 广东省增材制造技术路线图绘制和描述	(119)
5.1 路线图绘制方法	(119)
5.2 广东省增材制造 (3D 打印) 产业路线图	(121)
5.2.1 关键技术与装备	(121)
5.2.2 行业示范应用	(122)
5.2.3 服务平台建设	(122)
5.2.4 基地培育示范	(122)
5.2.5 产业集群与联盟	(123)
5.2.6 人才引进与培育	(123)
5.2.7 各部门与省市联动	(123)
5.3 广东省增材制造 (3D 打印) 技术路线图	(124)
6 广东省增材制造重大专项实施	(127)
6.1 广东省重大科技专项总体实施方案	(127)
6.1.1 总体思路	(127)
6.1.2 主要目标	(128)
6.1.3 保障措施	(129)
6.1.4 实施进度	(130)
6.2 广东省增材制造重大科技专项支持专题情况	(131)
6.2.1 广东省增材制造重大科技专项支持专题	(131)
6.2.2 项目分布情况	(133)
6.3 专项实施情况	(135)
6.3.1 评价内容	(135)
6.3.2 项目进展情况	(136)
6.3.3 关键技术进展情况	(137)
6.3.4 专项组织管理情况	(140)
6.3.5 经费管理与使用情况	(142)
6.3.7 专项目标的完成情况	(142)
6.4 增材制造重大专项取得的成效	(143)
7 增材制造未来发展与政府建议	(146)
7.1 金属 3D 打印未来发展	(146)
7.2 非金属 3D 打印未来发展	(147)

7.3	3D 打印共性技术未来发展	(148)
7.4	3D 打印应用的未来发展	(149)
7.5	国外创新发展应用	(151)
7.6	广东省增材制造 3D 打印政府建议	(154)
7.6.1	总体指导思想	(154)
7.6.2	坚持三大原则	(155)
7.6.3	实施路径	(155)
7.6.4	保障措施	(156)
7.6.5	实施进度	(167)
	附录	(158)



增材制造（3D 打印） 发展现状



1.1 增材制造（3D 打印）发展概况

1.1.1 3D 打印技术简介

传统上，零件成型的方法主要可归纳为两类：一类是其成型过程中以减少为特征，通过各种办法（如车、铣、刨、磨等）将零件毛坯上多余的材料去除，从而得到所需零件，即减材制造法；另一类是材料的质量在成型过程中基本保持不变，如通过各种压力成型方法以及各种铸造方法得到零件。但随着人类生活水平的不断提高和科学技术日新月异，产品更新换代的速度不断加快，传统零件成型方法已无法满足需快速响应多品种单件小批量生产的市场需求。

增材制造技术最初称为快速原型（Rapid Prototyping, RP），也称快速成型。早期的快速原型技术由于受材料、工艺以及设备性能等限制，所擅长处理的材料只限于树脂、蜡、某些工程塑料和纸等几类，所成型的实体强度和精度都与实际应用要求有较大的差距（包括非金属件及金属件），因此一般只应用在产品开发过程，用于制造物理原型件，即 RP 最初是作为复杂形状构件原型的成型方法出现的，这就是“快速原型”概念的来由。尽管如此，由于该技术能在无需准备任何模具、工具和工装卡具的情况下，直接根据产品 CAD 数据，快速制造出新产品的样件、模具或模型，从而大大缩短零件的加工周期并降低产品的研制成本，对促进企业产品创新、提高产品竞争力有积极的推动作用，因此，快速原型亦被称为快速成型。

但是，近十年来，随着快速原型设备技术的逐步升级，越来越多的材料能被处理，而且成型件的力学性能越来越好，精度也越来越高，快速原型技术逐渐具备了直接制造功能性零件的能力。于是，采用快速原型这一术语已不足以表达这种制造方法的最新应用了。2009 年，在美国 ASTM 框架内成立的一个技术委员会 F42，决定采用一个新术语来取代快速原型，这一术语就是增材制造（Additive Manufacturing, AM），其

定义为：一种与传统的材料去除加工方法截然相反的，通过增加材料、基于三维 CAD 模型数据，通常采用逐层制造方式，直接制造与相应数学模型完全一致的三维物理实体模型的制造方法，即增材制造法。目前，这一术语已经被国际学者普遍接受。麻省理工学院提出的一个更为通俗形象的术语——3D 打印（3D Printing），则在更广泛的社会领域以及公众场合被采用。

3D 打印，是一种快速成型技术，它以计算机三维设计模型为蓝本，通过软件分层离散和数控成型系统，利用激光束、热熔喷嘴等方式，将粉末状金属、塑料、陶瓷粉末、细胞组织等特殊的可黏合材料，进行逐层堆积黏结，最终叠加成型，制造出实体产品。通俗地说，就是将液体或粉末等“打印材料”装入打印机，与电脑连接后，通过电脑控制把“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。

图 1.1 为不同成型技术制作工件的流程示意图。

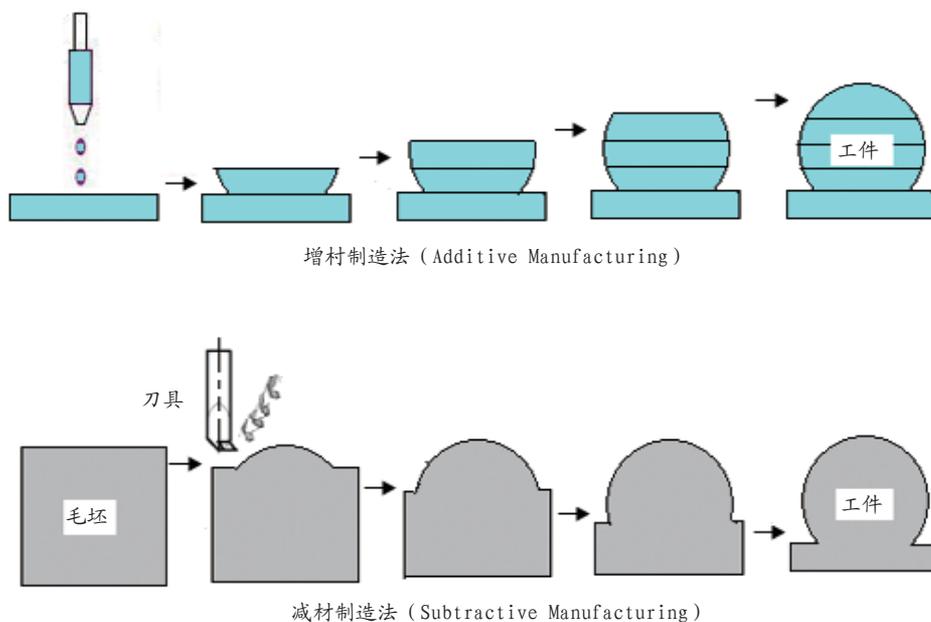
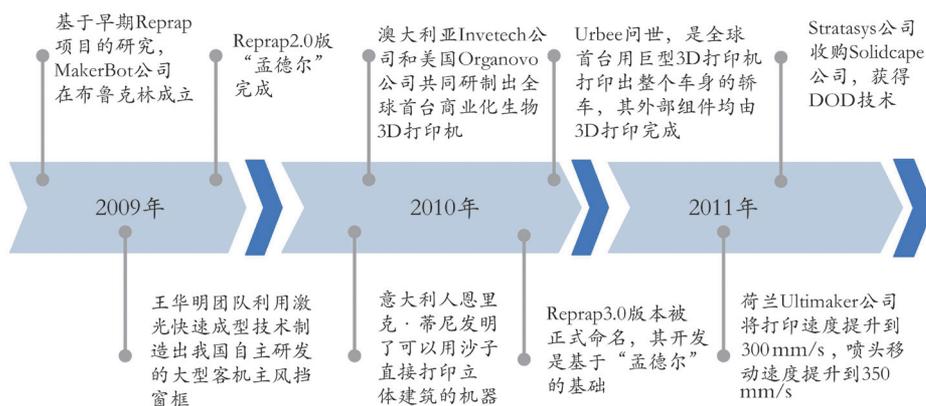
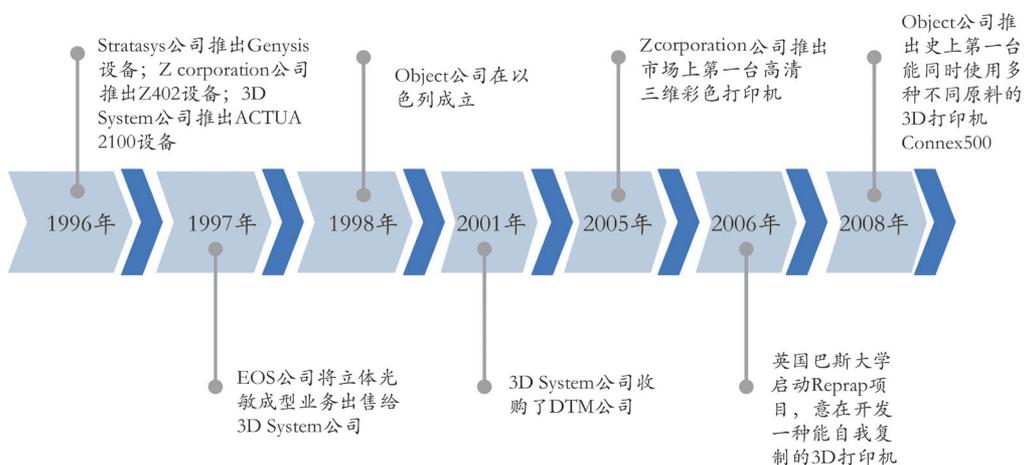
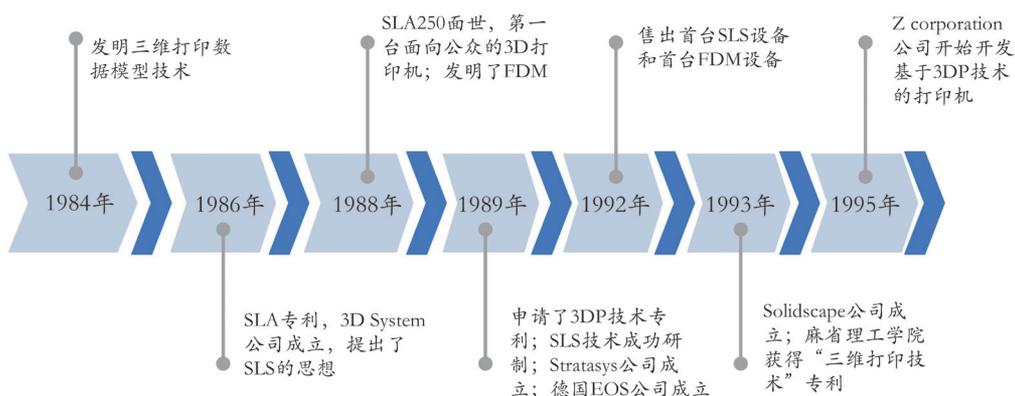
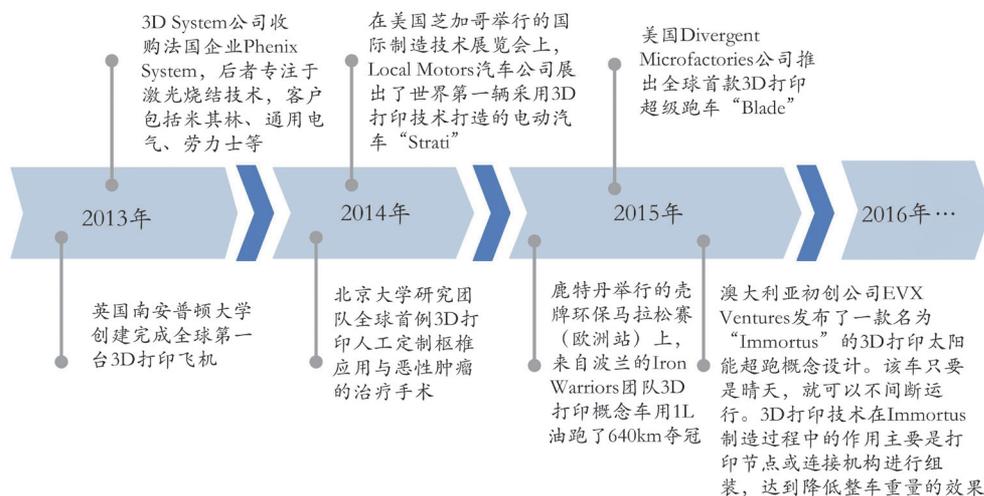
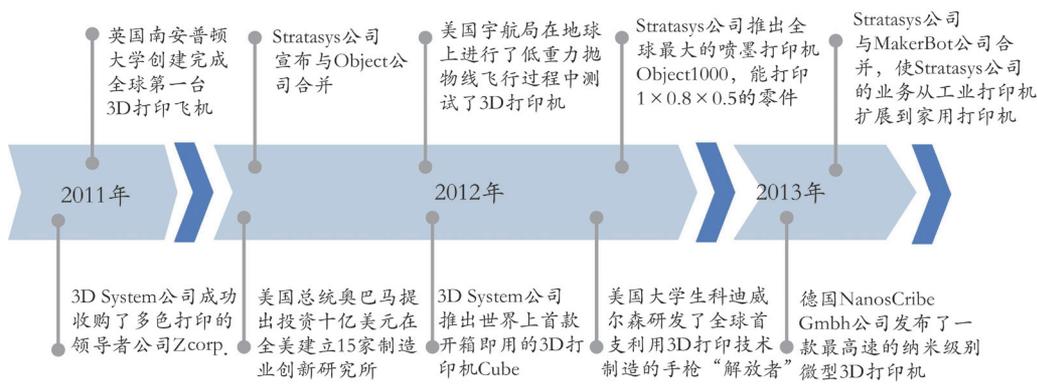


图 1.1 工件成型示意图

1.1.2 3D 打印技术发展历史

3D 打印技术的发展历程如下。





1.1.3 3D 打印特点

3D 打印技术优缺点明显, 3D 打印的优点有:

(1) 节省材料。不用剔除边角料, 提高了材料的利用率, 通过摒弃生产线而降低了成本。

(2) 能做到较高的精度和很高的复杂程度。可以制造出采用传统方法制造不出来的、非常复杂的制件。

(3) 不需要传统的刀具、夹具、机床或任何模具, 就能直接把计算机的任何形状的三维 CAD 图形生成实物产品。

(4) 自动、快速、直接和比较精确地将计算机中的三维设计转化为实物模型, 甚至直接制造零件或模具, 从而有效地缩短了产品研发周期。

(5) 具有分布式生产的特点, 无需集中的、固定的制造车间。

(6) 能在数小时内成型, 它让设计人员和开发人员实现了从平面图到实体的飞跃。

(7) 能打印出组装好的产品, 因此, 降低了组装成本, 甚至可以挑战大规模生产方式。

3D 打印的缺点有:

(1) 存在成本高的软肋。3D 打印仍是比较昂贵的技术。由于用于增材制造的材料研发难度大、使用量不大等原因, 导致 3D 打印制造成本较高, 而制造效率不高。

(2) 精度和质量问题。由于 3D 打印技术固有的成型原理及技术还不完善, 其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)、物理性能(如强度、刚度、耐疲劳性等)及化学性能等大多不能满足工程实际的使用要求, 不能作为功能性零件, 只能作原型件使用, 从而其应用将大打折扣。

(3) 打印材料受到限制。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。

(4) 在规模化生产方面尚不具备优势。3D 打印技术既然具有分布式生产的优点, 那么相反, 在规模化生产方面就不具备优势。

其中 3D 打印最具典型的特点为:

(1) 由制造转为创造。如图 1.2 所示, 3D 打印不受传统制造工艺和制造资源约束, 专注形态创意和功能创新, 在制造改变设计前提下, 追求创造无极限。

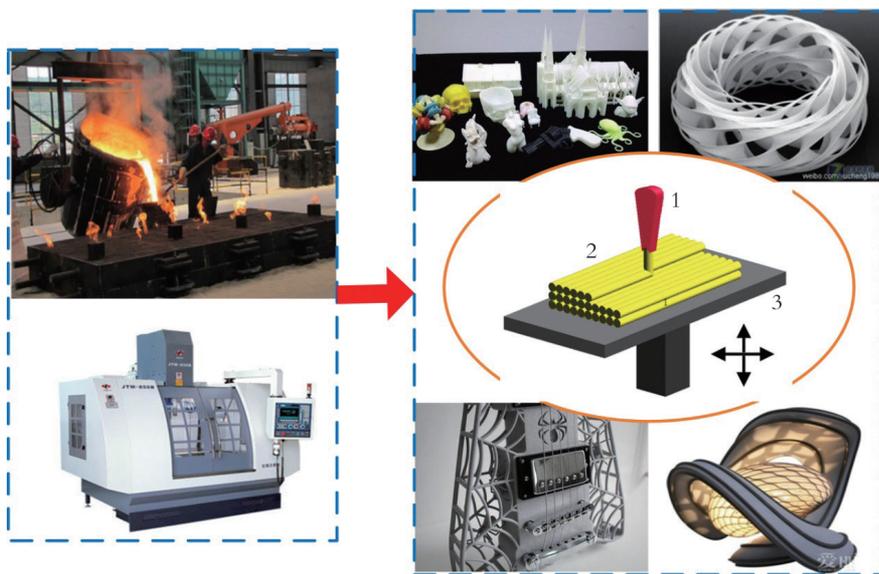


图 1.2 从传统制造方法到 3D 打印制造方法的发展

(2) 突破传统几何结构约束。相对于传统机加工的切削铣, 3D 打印作为一种材料堆积制造方式, 可以制造出不受空间可达性影响的各种复杂形状的产品(见图 1.3), 可以充分发挥材料的效能比, 是未来绿色制造主要方式之一。



图 1.3 3D 打印突破传统几何约束

(3) 缩短研发创新周期，减少研发成本。如图 1.4 所示，3D 打印能够自动、快速、直接和比较精确地将计算机中的三维设计转化为实物模型，甚至直接制造零件或模具，从而有效地缩短了产品研发周期。

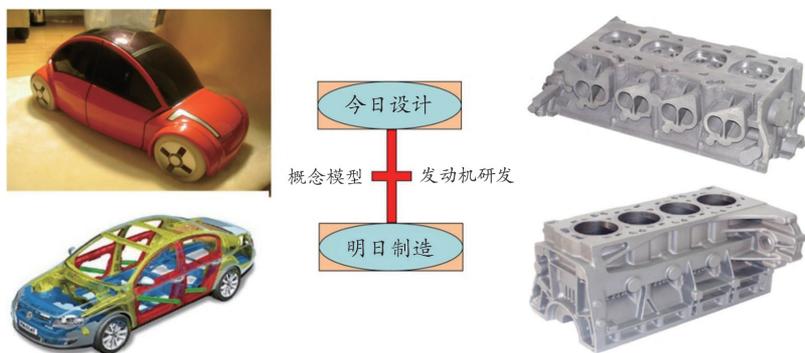


图 1.4 设计与制造

3D 打印技术由于具有这些优势，因而在航空航天、汽车、模具、医疗等领域应用非常广泛，而且 3D 打印在未来将带来更多的精彩（见图 1.5），如“沙漠奇迹”阿联酋迪拜计划在 2017 年建成阿联酋未来博物馆，这座博物馆为了能与它馆藏的未来科技和发明相媲美，将使用增材制造技术，也就是 3D 打印来建造。荷兰科学家打算用 3D 打印在荷兰阿姆斯特丹运河上建造一座功能完备的桥梁。这项有趣的工程，由 3D 打印机器人从运河的一端慢慢向另一端打印来完成。而且因为 3D 打印的优势，