

周伟民 闵国全 编

3D 打印技术



科学出版社

3D 打印技术

周伟民 闵国全 编



科学出版社

北京

内 容 简 介

近年来,3D打印技术发展迅猛,在全球掀起一股新浪潮。本书系统地介绍了3D打印技术的发展史、主流打印技术、相关工艺、打印耗材、装备商、服务商及应用领域等。

全书共10章,第1章阐述了3D打印技术的研究现状;第2章介绍了3D打印前处理工艺,即3D建模与数据处理;第3章主要介绍了目前几种主流的3D打印技术(SLA、SLS、FDM、3DP、DLP、LOM等);第4章介绍了国内外知名的3D打印装备商;第5章介绍了3D打印材料特点;第6章介绍了国内外知名3D打印服务公司和网站;第7~10章分别阐述了3D打印技术在医学、航空航天、汽车家电以及文化创意领域的应用。

本书内容丰富,几乎涵盖了3D打印技术的各个方面,可作为高等院校、中职院校、技校等3D打印、快速成型技术及应用等相关课程的教材及培训教材,也可作为广大工程技术人员的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

3D打印技术 / 周伟民, 闵国全编. —北京: 科学出版社, 2016. 5

ISBN 978-7-03-048239-6

I. ①3… II. ①周…②闵… III. ①立体印刷-印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 094955 号

责任编辑: 刘宝莉 张晓娟 / 责任校对: 桂伟利

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 左 讯

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年5月第 一 版 开本: 720×1000 1/16

2016年5月第一次印刷 印张: 11

字数: 217 000

定价: 68.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

序

2012年4月，英国《经济学家》杂志发表了“第三次工业”的封面文章，在世界范围内掀起了3D打印热潮。3D打印技术与数字技术、材料技术、控制技术 etc 将推动以实现智能化为特征的新产业革命，3D打印的产品已经被广泛运用到医学、航空航天、汽车、家电、模具、珠宝、文化创意等领域，或将更彻底地改变我们的生活。3D打印技术无论是对生产制造技术本身，还是对人类生产关系，都是一个巨大的变革——它是一个具有划时代意义的新技术。

2012年，上海产业技术研究院围绕国家战略和上海市产业发展重大需求，确立了“EIBM”四大专业板块领域，即绿色能源、数字服务、生物医学、智能制造和新材料。建立了研发类、中试类、服务类、示范类等12个产业共性技术研发和创新服务平台。内容涵盖研发、中试、检测、咨询等专业服务方向，涉及3D打印、生物医学转化、智能交通、大数据、半导体照明、节能环保、RFID和集成电路等20多个专业领域。围绕创新“第三方”的要求，突出开放创新、服务产业的理念，实施“智囊、平台、桥梁、枢纽”四个功能的能力建设。

3D打印研发服务平台是上海产业技术研究院所确定的产业共性技术研发和创新服务平台之一，重点培育拓展3D打印市场需求，从全产业链角度，构建集高端研发、技术平台、集聚企业、网络创意、教育培训、会展传媒“六位一体”的具有国际影响力的创新基地。以孵化“四新”企业，形成企业发展和专业技术支撑良性滚动的创新生态。当前，上海正在打造全球科技创新中心，而科技创新的先进理念和全民的科技创新意识及创新素养是具有全球

影响力的科技创新中心的特质之一，而这必须通过科普工作推动来实现。因此，3D 打印创新技术必定会助力于上海科技创新中心的建设。

本书是一本有关 3D 打印的简单易懂的读物，是非常适合青少年全面了解 3D 打印技术的一本有益的参考读物。此外，对技术爱好者、企业家、科技工作者等，也是一本有价值的参考用书。

钮晓鸣

上海产业技术研究院 院长

上海科学院 院长

前 言

2012年，英国《经济学人》杂志提出3D打印将“与其他数字化生产模式一起推动实现第三次工业革命”，由此引起了3D打印的热潮。美国政府将人工智能、3D打印、机器人作为重振美国制造业的三大支柱，其中3D打印是第一个得到政府扶持的产业。

3D打印技术成为一种可能颠覆工业的新技术，以及各国在抢占全球科技和产业上的热点之一。3D打印技术已经嵌入到工业的整个流程，包括工业设计、工程设计、模具设计、医学健康、艺术展示等，成为推动信息化与工业化两化融合的重要推手，是促进产业升级和自主创新的推动力。

为了提高大众对3D打印技术的认知度，作者结合从事3D打印技术的亲身体会，编写了本书，旨在让读者快速了解3D打印行业。本书简明扼要地介绍了3D打印的基本概念、打印技术的种类、打印设备和材料以及相关的应用等内容。可以作为读者了解3D打印技术的一本科普读物，也可作为各行专家了解3D打印技术的一本有益的参考书。

全书共10章：第1章由周伟民和李小丽执笔，第3章由马劲松执笔，第2、4~6、9章由周伟民执笔，第7章由柴岗、林力、Andy、辛宇、王萍、张艳、许枫共同撰写，第8章由王联凤和时云执笔，第10章由陈一介执笔，黄萍和陈伟琦参与了书中部分内容的材料收集和整理工作，最后由周伟民对全书进行统稿。

本书在编著过程中得到了上海市纳米科技与产业发展促进中心费立诚副主任和各位同事的指导和帮助，在出版过程中，还得到上海科学院副院长鄯国强的支持，在此一并表示感谢。本书所采用的部分图片等资料，为某些公

司、网站或个人所有，在书中仅作为例子用来阐述 3D 打印技术，在此，对其辛勤劳动表示衷心感谢。本书的出版受到上海轻工协会的资助，在此表示感谢。

由于作者水平有限，对有些问题的理解还不够深入，加上 3D 打印技术的飞速发展，书中难免存在不足之处，敬请读者批评指正。

作 者

2015 年 7 月于上海

目 录

序

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 3D 打印技术与第三次工业革命	1
1.2 3D 打印技术	3
1.3 国外发展	6
1.4 国内发展	9
1.5 3D 打印技术的分类	11
1.6 3D 打印技术的应用领域	13
1.7 3D 打印技术面临的挑战	14
1.8 工业 4.0 与 3D 打印技术	15
1.9 为什么使用 3D 打印技术	17
第 2 章 3D 数据建模与处理	19
2.1 CAD 建模	20
2.1.1 概念设计	20
2.1.2 逆向工程	22
2.2 CAD 建模软件	22
2.2.1 常见的概念设计软件介绍	22
2.2.2 常见的逆向工程软件介绍	23
2.3 三维扫描仪	24
2.3.1 三维扫描仪原理	24
2.3.2 常见的三维扫描仪介绍	25
2.4 STL 数据和文件的输出	25
2.4.1 STL 数据	25
2.4.2 STL 数据的输出	27

2.4.3	STL 数据的处理	28
2.5	典型的数据处理软件	28
2.5.1	STL 数据处理软件 Magics RP	28
2.5.2	医学图像数据处理软件 Mimics	30
第 3 章	几种主流打印技术	32
3.1	SLA 技术	32
3.1.1	原理和特点	32
3.1.2	工艺过程	33
3.1.3	设备和材料	34
3.1.4	典型应用	35
3.2	SLS 技术	38
3.2.1	原理和特点	38
3.2.2	设备和材料	39
3.2.3	典型应用	40
3.3	金属打印技术	41
3.3.1	SLM 技术	42
3.3.2	EBSM 技术	44
3.3.3	激光近净成型技术	44
3.4	3DP 技术 (黏结剂型)	45
3.4.1	原理和特点	45
3.4.2	工艺过程	46
3.4.3	设备和材料	47
3.4.4	典型应用	48
3.5	3DP 技术 (树脂型)	49
3.5.1	原理和特点	49
3.5.2	工艺过程	50
3.5.3	设备和材料	51
3.6	FDM 技术	52
3.6.1	原理和特点	52
3.6.2	设备和材料	53

3.7 LOM 技术	54
3.7.1 原理和特点	54
3.7.2 设备和材料	54
3.8 DLP 技术	56
3.8.1 原理和特点	56
3.8.2 顶部投影式和底部投影式 DLP 型 3D 打印机	56
3.8.3 设备和材料	59
3.9 技术比较	59
第 4 章 3D 打印装备商	62
4.1 Stratasys	63
4.2 3D Systems	65
4.3 EOS	68
4.4 国内 3D 打印部分企业	70
4.4.1 上海联泰	70
4.4.2 武汉滨湖机电	71
4.4.3 湖南华曙	71
4.4.4 陕西恒通智能机器有限公司	71
4.4.5 北京隆源自动化	71
4.4.6 北京太尔时代	72
4.4.7 上海富奇凡机电科技有限公司	72
第 5 章 打印耗材	73
5.1 金属材料	75
5.2 工程塑料	78
5.2.1 FDM 工艺中的丝材	78
5.2.2 SLS 工艺中的粉末材料	81
5.3 光敏树脂材料	84
5.3.1 3D Systems 的光敏树脂	84
5.3.2 Stratasys 的光敏树脂	85
5.3.3 DSM 的光敏树脂	85
5.4 陶瓷材料	85

5.5 其他 3D 打印材料	86
5.5.1 生物材料	86
5.5.2 石膏材料	86
5.5.3 建筑材料	87
5.5.4 覆膜砂	87
5.5.5 石墨烯	88
5.5.6 木材	88
5.5.7 智能材料	89
第 6 章 3D 打印服务	91
6.1 Shapeways	91
6.2 Materialise	92
6.3 Sculpteo	93
6.4 国内的打印服务网	93
第 7 章 3D 打印技术在医学与健康服务领域的应用	96
7.1 医学模型制作	96
7.1.1 医学教学的应用	97
7.1.2 手术模拟的应用	98
7.2 个性化医疗器械	99
7.2.1 手术导板与个性化植入体制造	99
7.2.2 医疗辅助器械	103
7.2.3 其他应用	104
7.3 生物打印	105
7.3.1 细胞及生物支架 3D 打印	107
7.3.2 组织 3D 打印	109
7.3.3 器官 3D 打印	111
7.4 药物测试研发	112
7.5 3D 打印技术在医学中的应用前景及展望	113
第 8 章 3D 打印技术在航空航天领域的应用	115
8.1 航空航天制造技术特点	115
8.2 3D 打印技术应用于航空航天发展过程	115

8.2.1	EBM	116
8.2.2	SLM	117
8.2.3	LCF	119
8.3	3D 打印技术在航空航天领域应用典型案例	121
8.3.1	国内情况典型案例	121
8.3.2	国外情况典型案例	124
8.4	3D 打印技术应用的优势与潜在价值	127
8.4.1	3D 打印技术的优势	127
8.4.2	3D 打印在太空中应用的潜在价值	130
第 9 章	3D 打印技术在汽车家电领域的应用	133
9.1	3D 打印技术在汽车领域的应用	133
9.1.1	汽车零部件的造型评审	134
9.1.2	汽车模具的复杂型腔制造	137
9.1.3	汽车零部件的轻量化制造	138
9.1.4	汽车创意产品的定制	139
9.2	3D 打印技术在自行车应用案例	140
9.3	3D 打印技术在家电领域应用	143
第 10 章	3D 打印技术在文化创意设计领域的应用	145
10.1	饰品和服饰	145
10.2	卡通动漫	150
10.3	雕塑	152
10.4	考古与文物保护	153
10.5	建筑	154
10.6	食品领域	157
10.7	纹饰灯具	158
10.8	特色瓷砖背景墙	158
参考文献		160

第 1 章 绪 论

1.1 3D 打印技术与第三次工业革命

2012 年 4 月,英国著名杂志《经济学人》发表了关于工业革命的专题报告(图 1.1),该报告指出全球工业正在经历第三次工业革命,与以往不同的是,本次革命将对制造业的发展产生巨大影响,其中一类最重要的新技术就是 3D 打印技术。该技术与数字技术、新材料技术、人工智能以及新型协同生产服务的融合,使得人们能以更低的劳动力成本灵活地生产定制式产品,从而使得大规

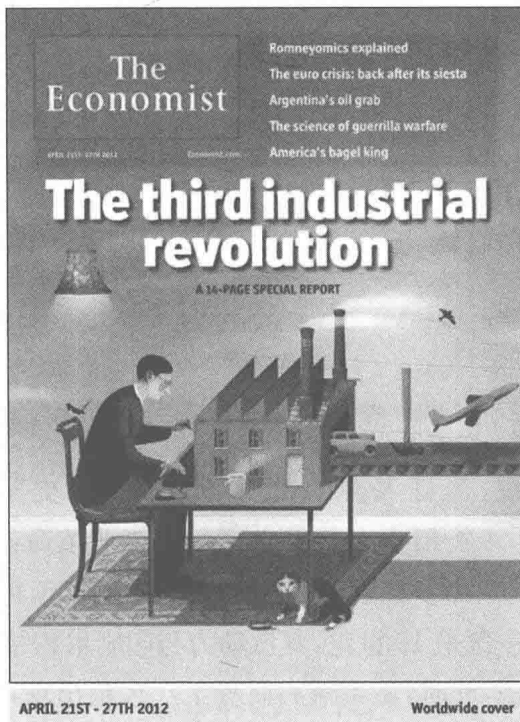


图 1.1 《经济学人》的杂志封面文章“第三次工业革命”

模的个性化生产成为可能。3D 打印技术被视为推动人类第三次工业革命的高新技术,由此 3D 打印技术的研究热潮迅速席卷全球。美国《时代》周刊将 3D 打印列为“美国十大增长最快的工业”。在“制造业回归”的大背景下,奥巴马宣布创立美国“制造创新国家网络”计划,成立 15 个制造创新网络,投资 10 亿美元。经过 5 个多月的论证,选定了将 3D 打印作为第一个中心的研究方向,3D 打印从此被提到美国国家战略的高度。此后,包括《纽约时报》在内的多家美国媒体持续就 3D 打印技术的新进展及应用进行了报道,“3D 打印技术”这个名词迅速被普及并为人们所熟知。

2014 年,著名咨询公司麦肯锡发布了一项决定 2025 年经济发展的 12 大颠覆技术报告,3D 打印技术就名列其中,图 1.2 是麦肯锡列举的颠覆性技术及其潜在的经济影响程度。

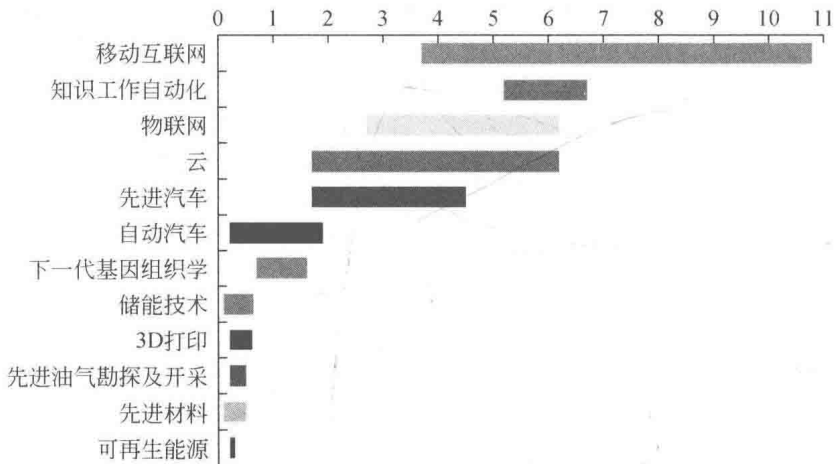


图 1.2 麦肯锡发布的颠覆性技术图示

工业革命的发展,促进人类的文明与进步。历史学家 Leften Stavros Stavrianos 教授认为,人类历史上共发生了两次工业革命:第一次大致发生在 18 世纪 80 年代,第二次始于二战前后。未来学家 Jeremy Rifkin 认为工业革命可以划分为三次:第一次是 19 世纪,蒸汽动力与印刷术相结合产生了蒸汽印刷机,并代替了手工印刷,此时,城市核心区和工厂大量出现,生产方式是集中式的;第二次是 20 世纪第一个 10 年,电视、电话、广播技术的出现以及石油、电力等新能源得到使用,城郊房地产业及工业区繁荣发展,生产方式仍然是集中式

的;第三次是20世纪90年代中期,互联网和可再生能源出现了,两者的结合催生新一轮产业革命。以互联网为代表的分散式生产方式将引发一系列产业变革。经济学家则认为每一次工业革命都是生产模式的变革:第一次工业革命是推动人类从农业文明走向工业文明,生产方式从工场手工业转向机器工业;第二次工业革命是从机器工业转向大机器工业,大规模流水线生产成为主导。当前,我们正在经历信息技术与制造业的深度融合以及新能源、新材料、生物技术、空间技术等方面的突破,由此而引发的新一轮产业变革,即为第三次产业革命。表1.1为三次工业革命主要成就、特点和影响的比较。

表 1.1 三次工业革命的比较

工业革命	第一次工业革命	第二次工业革命	第三次工业革命
主要成就	珍妮纺纱机 瓦特改良蒸汽机 富尔顿汽船、斯蒂芬孙机车	电的广泛应用 内燃机和新交通工具 电讯事业	原子能、航天技术 电子计算机 人工合成材料 分子生物学和遗传工程
特点	科学与技术尚未真正结合,主要发生在英国,其它国家发展进程相对缓慢;主要在轻工业部门	科学与工业生产紧密结合;同时发生在资本主义国家,规模广,发展迅速;一些国家两次工业革命交叉进行;主要在重工业部门	科学与技术紧密集合;科学技术转化为直接生产力速度加快;科学技术各个领域间相互渗透,高度分化又高度综合
影响	极大提高生产力;社会日益分化成两大对立阶级;经济结构改变,开始城市化进程	生产力迅猛发展;垄断与垄断组织形成;主要资本主义国家进入帝国主义阶段;殖民侵略进入资本输出时期;政治经济发展的不平衡加剧;世界力量对比格局加剧	极大推动生产力,提高劳动效率手段;改变经济和社会结构改变,第三产业比重上升;推动国际经济格局调整,扩大了发达国家与发展中国家经济差距

1.2 3D 打印技术

什么是3D打印?所谓3D打印就是快速成型技术(rapid prototyping, RP)

或者增材制造(additive manufacturing, AM)的俗称。与传统的“减材制造”技术不同,3D 打印技术是一种不再需要传统的刀具、夹具和机床就可以打造出任意形状物件的制造技术。它是根据零件或物体的三维模型数据,通过软件分层离散和数控成型系统,利用激光或紫外光或热熔喷嘴等方式将金属粉末、陶瓷粉末、塑料以及细胞组织等特殊材料进行逐层堆积黏结,最终叠加成型,制造出实物模型。3D 打印技术可以自动、快速、直接和精确地将计算机中的设计模型转化为实物模型,甚至可以直接制造零件或模具,从而有效地缩短加工周期、提高产品质量并减少约 50%制造费用。表 1.2 是传统的减材制造和增材制造的特性比较。

表 1.2 增材制造与减材制造的特性比较

特性	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%
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、日本的小玉秀男、美国 UVP 公司的 Charles Hull 和日本的丸谷洋二等各自独立地提出了这种概念。1986 年,Charles Hull 率先推出光固化方法(stereo lithography apparatus, SLA),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(fused deposition modeling, FDM),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,Dechard 发明了选择性激光

烧结法(selective laser sintering, SLS),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 Emanuel Sachs 教授发明了一种全新的 3D 打印技术,这种技术类似于喷墨打印机,通过向金属、陶瓷等粉末喷射黏接剂的方式将材料逐片成型,然后进行烧结制成最终产品。其优点为制作速度快、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。表 1.3 是 3D 打印技术的发展历程。

表 1.3 3D 打印发展简史

时间/年	技术与产品	公司
1977	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	Chuck Hull 发明将三维立体模型成型技术	—
1986	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	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	SLS 技术	德国 EOS 公司成立
1991	叠层法快速成型系统	—
1992	Stratasys 推出第一台基于 FDM 技术的 3D 工业级打印机; DTM 推出首台 SLS 打印机	—
1993	Emanuel Sachs 发明三维印刷技术(3DP)	—
1995	—	Z Corporation 公司成立
1996	3D Systems、Stratasys、Z Corp 分别推出三款 3D 打印机; 第一次使用“3D 打印机”的称谓	—
1997	3D 打印的耳朵成功移植在老鼠背上	—
1998	LENS 激光烧结技术	—
1999	3D Systems 推出 SLA 7000	—
2000	Object 更新了 SLA 技术,大幅度提高制造精度	—
2001	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 Corp