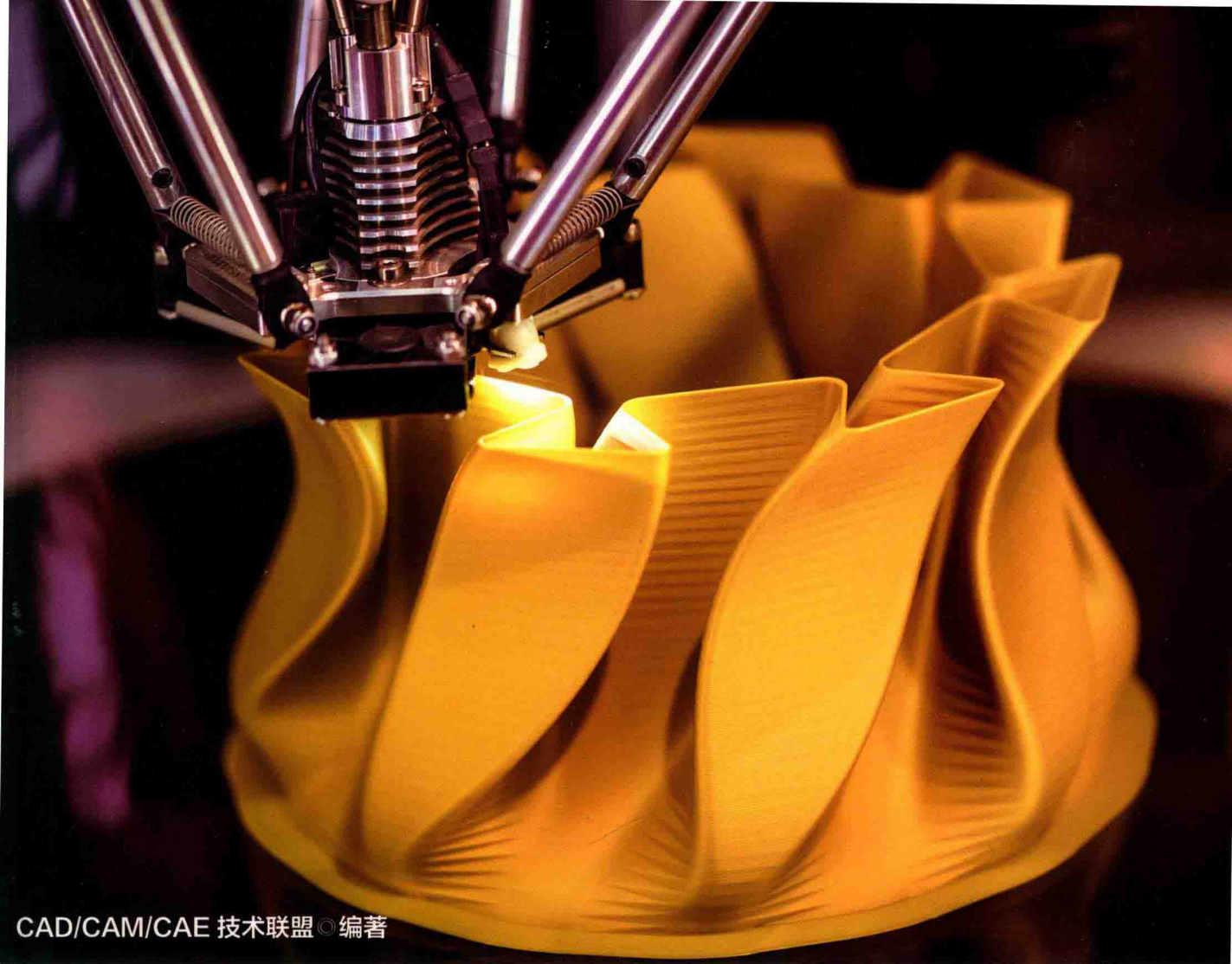




CAD/CAM/CAE 技术联盟◎编著

Pro/ENGINEER

产品造型及 3D 打印实现

视频演示

- 43集（478分钟）高清微视频
- 涵盖生活、电子、电器、机械等产品类型

典型实例

- 30个经典中小型实例、实践
- 2个综合实例：电热水壶、切割机

清华大学出版社



Pro/ENGINEER

3D

产品造型及 打印实现

CAD/CAM/CAE 技术联盟◎编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

《Pro/ENGINEER 产品造型及 3D 打印实现》基于 Pro/ENGINEER 5.0 软件建模,通过 3D 打印机和 3D 打印软件打印模型,并对模型进行优化修补得到最终模型。第 1 章主要介绍 3D 打印概述;第 2 章主要介绍 Pro/ENGINEER 软件的建模基础;第 3 章主要介绍生活用品的建模及打印过程;第 4 章主要介绍电子产品的建模及打印过程;第 5 章主要介绍电器类产品的建模及打印过程;第 6 章主要介绍机械类产品的建模及打印过程;第 7 章主要介绍曲面造型的建模及打印过程;第 8 章主要介绍电热水器的建模及打印过程;第 9 章主要介绍切割机中各个零件的建模及打印过程。

本书适合关注 3D 打印的有关人员阅读,也适合工艺设计和机械设计读者学习使用,还可用作职业培训、职业教育的教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

Pro/ENGINEER 产品造型及 3D 打印实现/CAD/CAM/CAE 技术联盟编著. —北京:清华大学出版社,2018
ISBN 978-7-302-50559-4

I. ①P… II. ①C… III. ①工业产品-产品设计-计算机辅助设计-应用软件 IV. ①TB472-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 141040 号

责任编辑:杨静华
封面设计:杜广芳
版式设计:魏 远
责任校对:马子杰
责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京密云胶印厂

经 销:全国新华书店

开 本:203mm×260mm

印 张:22.25

字 数:654 千字

版 次:2018 年 9 月第 1 版

印 次:2018 年 9 月第 1 次印刷

定 价:69.80 元

产品编号:064087-01

前言

Preface



3D 打印技术出现在 20 世纪 90 年代中期,实际上它是一种以数字模型文件为基础,运用粉末状金属或塑料等粘合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D 打印机与普通打印工作原理基本相同,打印机内装有液体或粉末等“打印材料”,与计算机连接后,通过计算机控制把“打印材料”一层层叠加起来,最终把计算机中的蓝图变成实物。

有关 3D 打印的新闻近来在媒体上经常出现,如 3D 打印零件、3D 打印房屋、3D 打印器官的新闻不停地刷新着民众对 3D 打印的认识。有人把 3D 打印称作一场新的革命,这种提法并不过分,3D 打印在未来对我们的生活方式的改变将产生重要的影响。世界各国都在投入巨资发展 3D 打印。在 2014 年美国的国情咨文中,时任总统奥巴马煞费笔墨地谈论了 3D 打印的重要性,让产业工人重视 3D 打印技术,学习这项有可能颠覆工业的新技术。日本政府在 2014 年预算案中划拨了 40 亿日元,将由经济产业省组织实施以 3D 成型技术为核心的制造革命计划。2014 年 6 月,韩国政府宣布成立 3D 打印工业发展委员会,并批准了一份旨在使韩国在 3D 打印领域争取领先地位的总体规划。该规划的目标包括到 2020 年培养 1000 万创客(Maker),并在全国范围内建立 3D 打印基础设施。2015 年 2 月 28 日,我国工信部联合发改委、财政部发文,制定了我国未来关于 3D 打印的战略发展规划。推进计划指出,到 2016 年,初步建立较为完善的增材制造(3D 打印)产业体系,整体技术水平与国际保持同步,在航空航天等直接制造领域达到国际先进水平,在国际市场上占有较大的市场份额。

Pro/ENGINEER 三维实体建模设计系统是美国参数技术公司(Parametric Technology Corporation,简称 PTC 公司)的产品,已经在机械、电子、航空、航天、汽车、船舶、军工、建筑、轻工纺织等领域得到了广泛的应用。由于其强大而完美的功能,Pro/ENGINEER 已经成为结构设计师和制造工程师进行产品设计与制造的得力助手。

Pro/ENGINEER 在三维实体模型、完全关联性、数据管理、操作简单性、尺寸参数化、基于特征的参数化建模等方面具有其他软件所不具有的优势。本书主要描述利用 Pro/ENGINEER 软件强大的 3D 造型功能,并将设计的 3D 零件利用 3D 打印机快速打印出所需零件的原理过程。本书第 1 章主要介绍 3D 打印概述;第 2 章主要介绍 Pro/ENGINEER 软件的建模基础;第 3 章主要介绍生活用品的建模及打印过程;第 4 章主要介绍电子类产品的建模及打印过程;第 5 章主要介绍电器类产品的建模及打印过程;第 6 章主要介绍机械产品的建模及打印过程;第 7 章主要介绍曲面造型的建模及打印过程;第 8 章主要介绍电热水壶的建模及打印过程;第 9 章主要介绍切割机中各个零件的建模及打印过程。

本书提供了极为丰富的学习配套资源,可通过扫描书中和封底二维码下载查看。扫描书后刮刮卡二维码,即可绑定书中二维码的读取权限,再扫描书中二维码,即可在手机中观看对应教学视频。充分利用碎片化时间,随时随地提升。需要强调的是,书中给出的是实例的重点步骤,详细操作过程还需读者通过视频来仔细领会。



本书由 CAD/CAM/CAE 技术联盟主编。CAD/CAM/CAE 技术联盟是一个从事 CAD/CAM/CAE 技术研讨、工程开发、培训咨询和图书创作的工程技术人员协作联盟，包含 20 多位专职和众多兼职 CAD/CAM/CAE 工程技术专家。

在本书的写作过程中，赵志超、张辉、赵黎黎、朱玉莲、徐声杰、卢园、杨雪静、孟培、闫聪聪、李兵、甘勤涛、孙立明、李亚莉、王敏、宫鹏涵、左昉、李谨、刘昌丽、康士廷、胡仁喜、王培合等参与了具体章节的编写或为本书的出版提供了必要的帮助，对大家的付出表示真诚的感谢。由于时间仓促，加上编者水平有限，书中不足之处在所难免，还请广大读者批评指正，编者将不胜感激。

编者

目 录

Contents



第1章 3D打印概述	1
1.1 3D打印基本简介	2
1.1.1 3D打印发展历史	2
1.1.2 3D打印的应用领域	3
1.1.3 3D打印技术五大发展趋势	3
1.1.4 发展前景	4
1.2 3D打印机	5
1.3 3D打印的材料	7
1.4 3D打印步骤	8
1.5 3D打印技术	9
1.5.1 FDM打印技术	9
1.5.2 SLS打印技术	10
1.5.3 SLA打印技术	11
1.5.4 LOM打印技术	12
1.5.5 DLP打印技术	13
1.5.6 UV打印技术	13
1.6 3D打印机的分类	13
1.7 常用3D打印软件	15
第2章 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 基础	18
2.1 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 操作界面	19
2.2 初识 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0	20
2.2.1 文件操作	20
2.2.2 设置工作目录	26
2.2.3 菜单管理器操作	27
2.2.4 窗口操作	28
2.2.5 显示控制	29
2.2.6 删除文件和拭除文件	34
2.3 设计环境	36
2.3.1 模型树	36
2.3.2 操控板	40

2.3.3 界面定制	41
2.3.4 工作环境定制	45
第3章 生活用品设计与3D打印实例	48
(视频讲解: 72分钟)	
3.1 果冻杯	49
3.1.1 创建模型	49
3.1.2 打印模型	60
3.1.3 处理打印模型	69
3.2 瓶盖	70
3.2.1 创建模型	70
3.2.2 打印模型	77
3.2.3 处理打印模型	78
3.3 可乐瓶	78
3.3.1 创建模型	79
3.3.2 打印模型	86
3.3.3 处理打印模型	86
3.4 水龙头	87
3.4.1 创建模型	87
3.4.2 打印模型	94
3.4.3 处理打印模型	95
3.5 暖水瓶	95
3.5.1 创建模型	96
3.5.2 打印模型	104
3.5.3 处理打印模型	105
3.6 轮胎	105
3.6.1 创建模型	105
3.6.2 打印模型	111
3.6.3 处理打印模型	112
第4章 电子产品设计与3D打印实例	113
(视频讲解: 60分钟)	
4.1 通讯零件	114
4.1.1 创建模型	114



Note

4.1.2 打印模型.....	119	5.5 电源插头.....	181
4.1.3 处理打印模型.....	120	5.5.1 创建模型.....	182
4.2 BP 机外壳.....	120	5.5.2 打印模型.....	189
4.2.1 创建模型.....	121	5.5.3 处理打印模型.....	189
4.2.2 打印模型.....	126	5.6 开关盒.....	190
4.2.3 处理打印模型.....	127	5.6.1 创建模型.....	190
4.3 耳麦听筒.....	127	5.6.2 打印模型.....	194
4.3.1 创建模型.....	128	5.6.3 处理打印模型.....	195
4.3.2 打印模型.....	131	第 6 章 机械产品设计与 3D 打印实例....	196
4.3.3 处理打印模型.....	131	(视频讲解: 99 分钟)	
4.4 耳麦.....	132	6.1 内六角扳手.....	197
4.4.1 创建模型.....	132	6.1.1 创建模型.....	197
4.4.2 打印模型.....	135	6.1.2 打印模型.....	201
4.4.3 处理打印模型.....	136	6.1.3 处理打印模型.....	206
4.5 话筒插头.....	136	6.2 皮带轮.....	207
4.5.1 创建模型.....	136	6.2.1 创建模型.....	207
4.5.2 打印模型.....	142	6.2.2 打印模型.....	209
4.5.3 处理打印模型.....	143	6.2.3 处理打印模型.....	210
4.6 电话机.....	144	6.3 发动机曲轴.....	210
4.6.1 创建模型.....	144	6.3.1 创建模型.....	211
4.6.2 打印模型.....	156	6.3.2 打印模型.....	220
4.6.3 处理打印模型.....	156	6.3.3 处理打印模型.....	221
第 5 章 电器产品设计与 3D 打印实例 ...	157	6.4 钻头.....	221
(视频讲解: 60 分钟)		6.4.1 创建模型.....	222
5.1 节能灯管.....	158	6.4.2 打印模型.....	229
5.1.1 创建模型.....	158	6.4.3 处理打印模型.....	229
5.1.2 打印模型.....	163	6.5 拨叉.....	230
5.1.3 处理打印模型.....	163	6.5.1 创建模型.....	230
5.2 灯头.....	164	6.5.2 打印模型.....	236
5.2.1 创建模型.....	164	6.5.3 处理打印模型.....	237
5.2.2 打印模型.....	167	第 7 章 曲面造型设计与 3D 打印实例....	238
5.2.3 处理打印模型.....	167	(视频讲解: 69 分钟)	
5.3 电饭煲筒身.....	168	7.1 苹果.....	239
5.3.1 创建模型.....	168	7.1.1 创建模型.....	239
5.3.2 打印模型.....	174	7.1.2 打印模型.....	245
5.3.3 处理打印模型.....	175	7.1.3 处理打印模型.....	245
5.4 锅体加热铁.....	175	7.2 风车.....	246
5.4.1 创建模型.....	175	7.2.1 创建模型.....	246
5.4.2 打印模型.....	180	7.2.2 打印模型.....	248
5.4.3 处理打印模型.....	181		



7.2.3 处理打印模型	249
7.3 饭勺	249
7.3.1 创建模型	250
7.3.2 打印模型	256
7.3.3 处理打印模型	257
7.4 铁锹	257
7.4.1 创建模型	257
7.4.2 打印模型	261
7.4.3 处理打印模型	261
7.5 水果盘	262
7.5.1 创建模型	262
7.5.2 打印模型	265
7.5.3 处理打印模型	265
7.6 灯罩	266
7.6.1 创建模型	266
7.6.2 打印模型	269
7.6.3 处理打印模型	270
7.7 塑料壶	270
7.7.1 创建模型	270
7.7.2 打印模型	281
7.7.3 处理打印模型	282

第8章 电热水壶设计与3D打印实例 ... 283

(视频讲解: 48 分钟)

8.1 创建模型	284
8.1.1 创建热水壶主体曲面	284
8.1.2 创建热水壶出水口	286
8.1.3 创建热水壶主体上端造型	288
8.1.4 创建热水壶主体的修饰特征	292

8.1.5 创建热水壶的把手	294
8.1.6 创建热水壶主体的底面	295
8.1.7 热水壶底座的曲面	297
8.1.8 加厚倒圆角	303

8.2 打印模型	304
----------------	-----

8.3 处理打印模型	311
------------------	-----

第9章 切割机设计与3D打印实例 313

(视频讲解: 70 分钟)

9.1 砂轮	314
9.1.1 创建模型	314
9.1.2 打印模型	315
9.1.3 处理打印模型	316
9.2 把手	316
9.2.1 创建模型	317
9.2.2 打印模型	318
9.2.3 处理打印模型	319
9.3 砂轮盖	319
9.3.1 创建模型	319
9.3.2 打印模型	322
9.3.3 处理打印模型	323
9.4 电动机	323
9.4.1 创建模型	324
9.4.2 打印模型	330
9.4.3 处理打印模型	330
9.5 底座	331
9.5.1 创建模型	331
9.5.2 打印模型	346
9.5.3 处理打印模型	346

1.1.2 3D 打印的应用领域

介绍本章中涉及的 3D 打印

利用 3D 打印技术，工程师可以设计并制造出原型，用于验证设计。3D 打印技术还可以用于制造最终产品，如定制化的零件、模具、甚至整个产品。3D 打印技术还可以用于制造复杂的几何形状，如多孔结构、内部通道等。3D 打印技术还可以用于制造大型结构，如房屋、桥梁等。3D 打印技术还可以用于制造生物组织、器官等。3D 打印技术还可以用于制造艺术品、装饰品等。3D 打印技术还可以用于制造工业设备、机械零件等。3D 打印技术还可以用于制造航空航天部件、汽车零件等。3D 打印技术还可以用于制造医疗设备、手术器械等。3D 打印技术还可以用于制造能源设备、环保设备、农业设备等。3D 打印技术还可以用于制造教育设备、科研设备等。3D 打印技术还可以用于制造军事设备、国防设备等。3D 打印技术还可以用于制造太空探索设备、深海探测设备等。3D 打印技术还可以用于制造其他各种设备和产品。

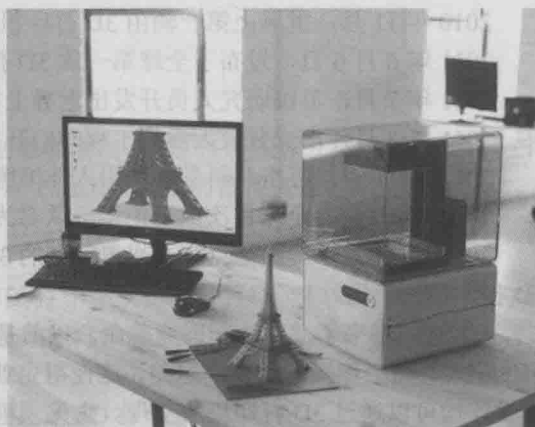
第 1 章

3D 打印概述

3D 打印是科技融合体模型中最新的高“维度”的体现之一，近些年来 3D 打印机逐渐进入人们的视野。所谓“3D 打印机”，就是打印三维立体物件的机器，听起来很玄妙，其实已经存在很久了。3D 打印机，是快速成型技术的一种机器，它是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。过去其常在模具制造、工业设计等领域被用于制造模型，现正逐渐用于一些产品的直接制造，意味着这项技术正在逐渐普及。

3D 打印机能打印出汽车、步枪甚至房子，听起来不可思议，那么 3D 打印机的原理是什么呢？本章将进行简要探讨。

任务驱动&项目案例



3D 打印技术，是指以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。3D 打印技术可以制造出各种复杂的几何形状，如多孔结构、内部通道等。3D 打印技术还可以制造出大型结构，如房屋、桥梁等。3D 打印技术还可以制造出生物组织、器官等。3D 打印技术还可以制造出艺术品、装饰品等。3D 打印技术还可以制造出工业设备、机械零件等。3D 打印技术还可以制造出航空航天部件、汽车零件等。3D 打印技术还可以制造出医疗设备、手术器械等。3D 打印技术还可以制造出能源设备、环保设备、农业设备等。3D 打印技术还可以制造出教育设备、科研设备等。3D 打印技术还可以制造出军事设备、国防设备等。3D 打印技术还可以制造出太空探索设备、深海探测设备等。3D 打印技术还可以制造出其他各种设备和产品。



Note

1.1 3D 打印基本简介

3D 打印 (3D printing) 技术又称三维打印技术, 是一种以数字模型文件为基础, 运用粉末状金属或塑料等可粘合材料, 通过逐层打印的方式来构造物体的技术。它无须机械加工或任何模具, 就能直接从计算机图形数据中生成任何形状的零件, 从而极大地缩短产品的研制周期, 提高生产率和降低生产成本。灯罩、身体器官、珠宝、根据球员脚型定制的足球靴、赛车零件、固态电池以及为个人定制的手机、小提琴等都可以用该技术制造出来。

1.1.1 3D 打印发展历史

3D 打印技术的核心制造思想最早起源于 19 世纪末的美国, 20 世纪 80 年代已有雏形, 其学名为“快速成型”(SLS)。1979 年, 类似过程由 RF. Housholder 获得专利, 但没有被商业化。在 20 世纪 80 年代中期, SLS 被美国德克萨斯州大学奥斯汀分校的 Deckard 博士开发出来并获得专利。到 20 世纪 80 年代后期, 3D 打印技术发展成熟并被广泛应用。

1995 年, 麻省理工学院创造了“三维打印”一词, 当时的毕业生 Jim Bredt 和 Tim Anderson 修改了喷墨打印机方案, 变为把约束溶剂挤压到粉末床的解决方案, 而不是把墨水挤压在纸张上的方案。

在此之前, 三维打印机数量很少, 大多集中在“科学怪人”和电子产品爱好者手中, 他们主要用来打印如珠宝、玩具、工具、厨房用品之类的东西, 甚至有汽车专家打印出了汽车零部件, 然后根据塑料模型去订制真正市面上买到的零部件。

人们可以在一些电子产品商店购买到这类打印机, 工厂也在进行直接销售。不过物以稀为贵, 一套三维打印机的价格从一般的 750 美元到上等质量的 27000 美元不等。

科学家们表示, 三维打印机的使用范围还很有限, 不过在未来的某一天人们一定可以通过 3D 打印机打印出更多更实用的物品。

2005 年, 市场上首个高清晰彩色 3D 打印机 Spectrum Z510 由 ZCorp 公司研制成功。

2010 年 11 月, 世界上第一辆由 3D 打印机打印而成的汽车 Urbee 问世。

2011 年 6 月 6 日, 发布了全球第一款 3D 打印的比基尼。

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。

2011 年 8 月, 南安普敦大学的工程师们开发出世界上第一架 3D 打印的飞机。

2012 年 11 月, 苏格兰科学家利用人体细胞首次用 3D 打印机打印出人造肝脏组织。

2013 年 10 月, 全球首次成功拍卖一款名为“ONO 之神”的 3D 打印艺术品。

2013 年 11 月, 美国德克萨斯州奥斯汀的 3D 打印公司“固体概念”(SolidConcepts) 设计制造出 3D 打印金属手枪。

3D 打印带来了世界性制造业革命, 以前是部件设计完全依赖于生产工艺能否实现, 而 3D 打印机的出现, 将会颠覆这一生产思路, 这使得企业在生产部件时不再考虑生产工艺问题, 任何复杂形状的设计均可以通过 3D 打印机来实现。它无须机械加工或模具, 就能直接从计算机图形数据中生成任何形状的物体, 从而极大地缩短了产品的生产周期, 提高了生产效率。尽管仍有待完善, 但 3D 打印技术市场潜力巨大, 势必成为未来制造业的众多突破技术之一。



Note

1.1.2 3D 打印的应用领域

利用 3D 打印机,工程师可以验证开发中的新产品,把手中的 CAD 数字模型用 3D 打印机制造成实体模型,可以方便地对设计进行验证并及时发现问题,相比传统的方法可以节约大量的时间和成本。

3D 打印机也可以用于小批量产品的生产,这样就可以快速地把产品的样品提供给客户,或进行市场宣传,不用等模具制造好后才制造成品,对于某些小批量定制的产品甚至连模具的成本都可以省去,如电影中用到的各种定制道具。如图 1-1 所示,左边的是某工艺品的原型,右边的是 3D 打印出来的复制品,从造型上看,两者基本上没有什么差别。如图 1-2 所示,电影《机械公敌》中的奥迪 RSQ 汽车就是使用 3D 打印制作的。



图 1-1 3D 打印与实物对比



图 1-2 3D 打印制作的奥迪 RSQ 汽车

至于家用和个人市场方面,应用就因人而异了,不过要推广开来的话可是困难重重,首先目前个人用 3D 打印机并不便宜,价格从几千到几万都有。其次,3D 打印的原材料也不便宜,这些材料的价格便宜的几百元一公斤,最贵的要四万元左右。

1.1.3 3D 打印技术五大发展趋势

在近几年中,更多的资本、更多的公司、更多的创意都涌向了 3D 打印领域。据此,行业也对未来 3D 打印发展前景进行了预测,认为未来 3D 打印的以下五大发展趋势值得关注。

1. 更好、更快、更廉价

企业家正从各方面涌向 3D 打印领域。在未来,3D 打印不仅是一种打印、扫描和共享内容的新方式,而且还将增加打印的精密度、规模以及更好的选择材料,而且打印成本也将下降。总体而言,功能性材料将进入市场,而且还将出现更加先进的打印程序,不久的将来将会看到更加先进的 3D 打印机走向市场。一些初创型企业也会研发出更快、更便宜的 3D 打印设备。

2. 传统公司需要创新和改进

为了维持自己在快速增长的 3D 打印行业内的统治地位,传统的 3D Systems 公司和 Stratasys 公司



Note

都将执行简单的战略,即要么收购对方,要么阻击对方。然而这种并购并不一定会产生效果,毕竟,整合业务或业务并购都非常困难,因此这样的措施或许还会适得其反。随着惠普等公司进入 3D 打印市场,再加上一些初创企业的冲击,促使传统的 3D 打印巨头急需加速内部创新,并努力推出更好、更便宜的解决方案,从而增加他们的市场份额。对这些公司而言,需要改进的两大重要领域就是 3D 打印速度和材料价格。

3. 3D 照相馆的崛起

一些公司已经开设了一些小规模的小店内 3D 大头照拍摄馆。简单的 3D 扫描设备和软件将会越来越普及,而且消费成本也会越来越低,甚至还会出现一些便携式的 3D 拍摄设备。以后还将有更多的新企业开设 3D 拍摄馆。更为重要的是,这些扫描和拍照工具将为大规模的定制化拍摄奠定基础,并能够让更多的公司为每一个客户拍摄定制化的 3D 照片。

4. 战争武器

尽管使用类似于机器人的热熔胶枪来制作一支真枪,并不是获得武器的最有效方式,但这种做法肯定会产生轰动效应。以后更多的枪支、手榴弹以及一些更夸张的武器将会出现。管理者也会担忧 3D 打印机可能会成为混乱状态的最终工具。

5. 医疗神器

3D 打印技术最具潜力的作用将体现在医疗健康领域。人们已经看到从颅骨和面部植入假体材料到低成本的假体,再到可更换的气管等在内的诸多 3D 打印产品。未来,在此领域还将充满更多的新创意。尽管打印完全功能的器官还需要一段时间,但是,为个别患者定制打印某种器官的能力将会出现。医生们也因为有了强大的 3D 打印工具而更加舒适,并能够获得更好的体验,与此同时,人们的生活也会因此而更加美好。

1.1.4 发展前景

1. 价格因素

大多数桌面级 3D 打印机的售价在 2 万元人民币左右,一些仿制品价格可以低到 6000 元。但是据 3D 打印机代理商透露,这些仿制的 3D 打印机虽然价格低,但质量很难保障。

对于桌面级 3D 打印机来说,由于仅能打印塑料产品,因此使用范围非常有限,而且对于家庭用户来说,3D 打印机的使用成本仍然很高。因为在打印一个物品之前,用户必须要懂得 3D 建模,然后将数据转换成 3D 打印机能够读取的格式,最后再进行打印。

2. 原材料

3D 打印不是一项高深艰难的技术,它与普通打印的区别就在于打印材料。

据了解,以色列的 Object 是掌握最多打印材料的公司。它已经可以使用 14 种基本材料并在此基础上混搭出 107 种材料,两种材料的混搭使用、上色也已经成为现实。但是,这些材料种类与人们生活的大千世界里的材料相比,还相差甚远,而且价格很高。

3. 社会风险成本

如同核反应既能发电,又能破坏一样。3D 打印技术在初期就让人们看到了一系列隐忧,而未来的发展也会令不少人担心。如果任何物体都能彻底复制,想到什么就能制造出什么,听上去很美的同



时,也着实让人恐惧。

4. 著名的 3D 打印悖论

3D 打印是一层层地来制作物品,如果想把物品制作得更精细,则需要每层厚度减小;如果想提高打印速度,则需要增加层厚,而这势必影响产品的精度质量。若生产同样精度的产品,同传统的大规模工业生产相比,没有成本上的优势,尤其是在考虑到时间成本和规模成本之后。

5. 整个行业没有标准,难以形成产业链

21 世纪 3D 打印机生产商是百花齐放。3D 打印机缺乏标准,同一个 3D 模型用不同的打印机打印,所得到的结果是大不相同的。

此外,打印原材料也缺乏标准,3D 打印机厂商都想让消费者买自己提供的打印原料,这样他们能获取稳定的收入。这样做虽然可以理解,毕竟普通打印机也走这一模式,但 3D 打印机生产商所用的原料一致性太差,从形式到内容千差万别,这让材料生产商很难进入,研发成本和供货风险都很大,难以形成产业链。

表面上是 3D 打印机捆绑了 3D 打印材料,事实上却是材料捆绑了打印机,非常不利于降低成本和抵抗风险。

6. 意料之外的工序: 3D 打印前所需的准备工序,打印后的处理工序

很多人可能以为 3D 打印就是在计算机上设计一个模型,不管多复杂的内面、结构,单击一下按钮,3D 打印机就能打印一个成品。这个印象其实不正确。真正设计一个模型,特别是一个复杂的模型,需要大量的工程、结构方面的知识,需要精细的技巧,并根据具体情况进行调整。用塑料熔融打印来举例,如果在一个复杂部件内部没有设计合理的支撑,打印的结果很可能是会变形的。后期的工序也通常避免不了。媒体将 3D 打印描述成打印完毕就能直接使用的神器。可事实上制作完成后还需要一些后续工艺:或打磨,或烧结,或组装,或切割,这些过程通常需要大量的手工工作。

7. 缺乏杀手铜产品及设计

都说 3D 打印能给人们巨大的生产自由度,能生产前所未有的东西。可直到现在,这种“杀手”级别的产品还很少,几乎没有。做些小规模饰品、艺术品是可以的,做逆向工程也可以的,但要谈到大规模工业生产,3D 打印还不能取代传统的生产方式。如果 3D 打印能生产别的工艺所不能生产的产品,而这种产品又能极大提高某些性能,或能极大改善生活的品质,这样或许能更快地促进 3D 打印机的普及。

1.2 3D 打印机

说到 3D 打印,就不得不提 3D 打印机。3D 打印机又称三维打印机,是一种累积制造技术,通过打印一层层的粘合材料来制造三维物体。现阶段三维打印机被用来制造产品,销售逐渐扩大,价格也开始下降。

3D 打印机(3D Printers)是可以“打印”出真实的 3D 物体的一种设备,由一位名为恩里科·迪尼(Enrico Dini)的发明家设计的。3D 打印机不仅可以“打印”出一幢完整的建筑,如图 1-3 所示,甚至可以在航天飞船中给宇航员打印任何所需的物品的形状。2014 年,美国“太空制造”公司为国



Note



际空间站提供了一台 3D 打印机，供宇航员在太空中直接生产零部件，无须再从地球运输零部件。

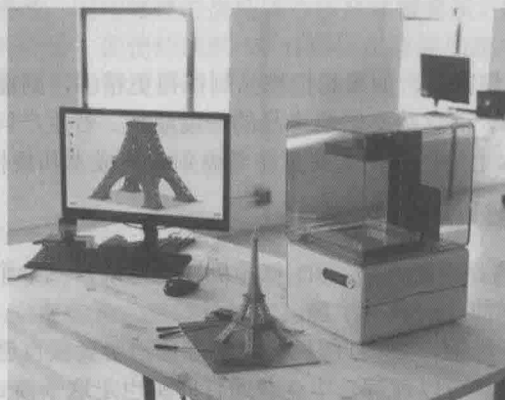


图 1-3 3D 打印埃菲尔铁塔

1. 家用 3D 打印机

德国发布了一款迄今为止最高速的纳米级别微型 3D 打印机——Photonic Professional GT。这款 3D 打印机能制作纳米级别的微型结构，以最高的分辨率、快速的打印速度，打印出不超过人类头发直径的三维物体。

2. 最小的 3D 打印机

据了解，世上最小的 3D 打印机来自维也纳技术大学，由其化学研究员和机械工程师研制。这款迷你 3D 打印机只有大装牛奶盒大小，重量约 3.3 磅（约 1.5 千克），造价 1200 欧元（约 1.1 万元人民币）。相比于其他的打印技术，这款 3D 打印机的成本大大降低。研发人员还在对打印机进行材料和技术的进一步实验，希望能够早日面世。

3. 最大的 3D 打印机

华中科技大学史玉升科研团队经过十多年努力，实现重大突破，研发出全球最大的 3D 打印机。这一 3D 打印机可加工零件长宽最大尺寸均达到 1.2 米。从理论上说，只要长宽尺寸小于 1.2 米的零件（高度无须限制），都可通过这部机器“打印”出来。这项技术将复杂的零件制造变为简单的由下至上的二维叠加，大大降低了设计与制造的复杂度，让一些传统方式无法加工的奇异结构制造变得快捷，一些复杂铸件的生产由传统的 3 个月缩短到 10 天左右。

大连理工大学参与研发的最大加工尺寸达 1.8 米的世界最大激光 3D 打印机进入调试阶段，其采用“轮廓线扫描”的独特技术路线，可以制作大型工业样件及结构复杂的铸造模具。这种基于“轮廓失效”的激光三维打印方法已获得两项国家发明专利。该激光 3D 打印机只需打印零件每一层的轮廓线，使轮廓线上砂子的覆膜树脂碳化失效，再按照常规方法在 180℃ 加热炉内将打印过的砂子加热固化和后处理剥离，就可以得到原型件或铸模。这种打印方法的加工时间与零件的表面积成正比，大大提升打印效率，打印速度可达到一般 3D 打印机的 5~15 倍。

4. 彩印 3D 打印机

这种类型的 3D 打印机新产品 ProJet x60 系列于 2013 年 5 月上市。ProJet 品牌主要有 4 种造型方法的装置。其余 3 种均是使用光硬化性树脂的类型，包括用激光硬化光硬化性树脂液面的类型、从喷嘴喷出光硬化性树脂后照射光进行硬化的类型（这种类型的造型材料还可以使用蜡）、向薄膜上的光



硬化性树脂照射经过掩模的光的类型。高端机型 ProJet 660Pro 和 ProJet 860Pro 可以使用 CMYK (青色、洋红、黄色、黑色) 4 种颜色的粘合剂, 而实现 600 万色以上的颜色 (ProJet 260C 和 ProJet 460Plus 使用 CMY 3 种颜色的粘合剂)。



Note

1.3 3D 打印的材料

3D 打印存在许多不同的技术。它们的不同之处在于以可用的材料的方式, 并以不同层构建创建部件, 如表 1-1 所示。3D 打印常用材料有尼龙玻纤、耐用性尼龙材料、石膏材料、铝材料、钛合金、不锈钢、镀银、镀金、橡胶类材料。

表 1-1 打印材料

类 型	累 积 技 术	基 本 材 料
挤压	熔融沉积式 (FDM)	热塑性材料, 共晶系统金属、可食用材料
线	电子束自由成形制造 (EBF)	几乎任何合金
粒状	选择性激光熔化成型 (SLM)	钛合金, 钴铬合金, 不锈钢, 铝
	直接金属激光烧结 (DMLS)	几乎任何合金
	电子束熔化成型 (EBM)	钛合金
	选择性激光烧结 (SLS)	热塑性塑料、金属粉末、陶瓷粉末
	选择性热烧结 (SHS)	热塑性粉末
光聚合	数字光处理 (DLP)	光硬化树脂
	立体平版印刷 (SLA)	光硬化树脂
层压	分层实体制造 (LOM)	纸、金属膜、塑料薄膜
粉末层喷头三维打印	石膏 3D 打印	石膏

下面介绍常用的几种 3D 打印材料。

1. 工程塑料

工程塑料是指被用作工业零件或外壳材料的工业用塑料, 是强度、耐冲击性、耐热性、硬度及抗老化性均优的塑料。工程塑料是当前应用最广泛的一类 3D 打印材料, 常见的有 Acrylonitrile Butadiene styrene (ABS) 类材料、Polycarbonate (PC) 类材料、尼龙类材料等。ABS 材料是 Fused Deposition Modeling (FDM, 熔融沉积造型) 快速成型工艺常用的热塑性工程塑料, 具有强度高、韧性好、耐冲击等优点, 正常变形温度超过 90℃, 可进行机械加工 (钻孔、攻螺纹)、喷漆及电镀等。

2. 光敏树脂

光敏树脂即 Ultraviolet Rays (UV) 树脂, 由聚合物单体与预聚体组成, 其中加有光 (紫外光) 引发剂 (或称为光敏剂)。在一定波长的紫外光 (250~300nm) 照射下能立刻引起聚合反应完成固化。光敏树脂一般为液态, 可用于制作高强度、耐高温、防水材料。目前, 研究光敏材料 3D 打印技术的主要有美国 3Dsystem 公司和以色列 Object 公司。常见的光敏树脂有 Somos NEXT 材料、树脂 Somos11122 材料、Somos19120 材料和环氧树脂等。



3. 橡胶类材料

橡胶类材料具备多种级别弹性材料的特征, 这些材料所具备的硬度、断裂伸长率、抗撕裂强度和拉伸强度, 使其非常适合于要求防滑或柔软表面的应用领域。3D 打印的橡胶类产品主要有消费类电子产品、医疗设备以及汽车内饰、轮胎、垫片等。

4. 金属材料

近年来, 3D 打印技术逐渐应用于实际产品的制造, 其中, 金属材料的 3D 打印技术发展尤其迅速。在国防领域, 欧美发达国家非常重视 3D 打印技术的发展, 不惜投入巨资加以研究, 而 3D 打印金属零部件一直是研究和应用的重点。3D 打印所使用的金属粉末一般要求纯净度高、球形度好、粒径分布窄、氧含量低等。目前, 应用于 3D 打印的金属粉末材料主要有钛合金、钴铬合金、不锈钢和铝合金材料等, 此外还有用于打印首饰用的金、银等贵金属粉末材料。



Note

1.4 3D 打印步骤

首先要有三维模型数据, 如动物模型、人物或者微缩建筑等。然后通过 SD 卡或者 USB 优盘把它复制到 3D 打印机中, 进行打印设置后, 打印机就可以把它们打印出来, 3D 打印机的工作原理和传统打印机基本一样, 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, 打印原理是一样的。3D 打印机主要是在打印前在电脑上设计了一个完整的三维立体模型, 然后再进行打印输出。

三维模型数据的获得方式简单来讲有 3 种。

- ☒ 通过三维软件建模获得。
- ☒ 通过扫描仪扫描实物获得其模型数据。
- ☒ 通过拍照的方式拍取实物多角度照片, 然后通过电脑相关软件将照片数据转化成模型数据。

3D 打印与激光成型技术一样, 采用了分层加工、叠加成型来完成 3D 实体打印。每一层的打印过程分为两步, 首先需要在需要成型的区域喷洒一层特殊胶水, 胶水液滴本身很小, 且不易扩散。然后是喷洒一层均匀的粉末, 粉末遇到胶水会迅速固化黏结, 而没有胶水的区域仍保持松散状态。这样在一层胶水一层粉末的交替下, 实体模型将会被“打印”成型, 打印完毕后只要扫除松散的粉末即可“刨”出模型, 而剩余粉末还可循环利用。

1. 三维设计

三维打印的设计过程是: 先通过计算机建模软件建模, 再将建成的三维模型“分区”成逐层的截面, 即切片, 从而指导打印机逐层打印。设计软件和打印机之间协作的标准文件格式是 STL 文件格式。一个 STL 文件使用三角面来近似模拟物体的表面。三角面越小其生成的表面分辨率越高。PLY 是一种通过扫描产生的三维文件的扫描器, 其生成的 VRML 或者 WRL 文件经常被用作全彩打印的输入文件。

2. 打印过程

打印机通过读取文件中的横截面信息, 用液体状、粉状或片状的材料将这些截面逐层地打印出来, 再将各层截面以各种方式粘合起来从而制造出一个实体。这种技术的特点在于其几乎可以制造出任何形状的物品。打印机打出的截面的厚度 (即 Z 方向) 以及平面方向即 X-Y 方向的分辨率是以 dpi (像



素每英寸)或者微米来计算的。一般的厚度为 100 微米,即 0.1 毫米,也有部分打印机如 Objet Connex 系列还有三维 Systems' ProJet 系列可以打印出 16 微米薄的一层。而平面方向则可以打印出跟激光打印机相近的分辨率。打印出来的“墨水滴”的直径通常为 50 到 100 个微米。用传统方法制造出一个模型通常需要数小时到数天,根据模型的尺寸以及复杂程度而定。而用三维打印的技术则可以将时间缩短为数个小时,当然其是由打印机的性能以及模型的尺寸和复杂程度而定的。传统的制造技术如注塑法可以以较低的成本大量制造聚合物产品,而三维打印技术则可以以更快、更有弹性及更低成本的办法生产数量相对较少的产品。一个桌面尺寸的三维打印机就可以满足设计者或概念开发小组制造模型的需要。

3. 制作完成

三维打印机的分辨率对大多数应用来说已经足够(在弯曲的表面可能会比较粗糙,像图像上的锯齿一样),要获得更高分辨率的物品可以通过如下方法:先用当前的三维打印机打出稍大一点的物体,再稍微经过表面打磨即可得到表面光滑的“高分辨率”物品。有些技术可以同时使用多种材料进行打印。有些技术在打印的过程中还会用到支撑物,如在打印出一些有倒挂状的物体时就需要用到一些易于除去的东西(如可溶的东西)作为支撑物。

1.5 3D 打印技术

快速成型技术从出现以来,出现了十几种不同的方法。本书仅介绍目前工业领域较为常用的工艺方法,目前占主导地位的快速成型技术共有如下 6 类。

1.5.1 FDM 打印技术

熔积成型法(Fused Deposition Modeling, FDM)是将丝状的热熔性材料加热融化,同时三维喷头在计算机的控制下,根据截面轮廓信息,将材料选择性地涂敷在工作台上,快速冷却后形成一层截面。一层成型完成后,机器工作台下落一个高度(即分层厚度)再成型下一层,直至形成整个实体造型,打印原理如图 1-4 所示。



图 1-4 FDM 打印原理

