



手把手教你

玩转桌面

3D打印机

吕晓冬 李 锋 主编

SHOUBASHOU JIAONI WANZHUAN
ZHUOMIAN 3D DAYINJI



化学工业出版社

手把手教你

玩转桌面

3D打印机

✎ 吕晓冬 李 锋 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书通过 3D 打印技术基础, Pro/E 三维建模, 桌面 3D 打印机介绍及 Cura 软件操作, 快速打印技术应用, 桌面 3D 打印机设备维护、常见故障和打印质量问题五个方面, 详细地描述了 3D 打印技术在实际中的应用, 为学习 3D 打印技术者梳理了思路。

本书可作为各高职院校、高级技工学校、技术学院、技师学院及参加各类 3D 大赛人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

手把手教你玩转桌面 3D 打印机 / 吕晓冬, 李锋主编.
北京: 化学工业出版社, 2017.4

ISBN 978-7-122-29144-8

I. ①手… II. ①吕… ②李… III. ①立体印刷-印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 035305 号

责任编辑: 王 焱 项 激

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 宋 玮

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 北京云浩印刷有限责任公司

装 订: 三河市瞰发装订厂

850mm×1168mm 1/32 印张 7¼ 字数 188 千字

2017 年 6 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 49.80 元

版权所有 违者必究

前言

3D 打印技术是一种非传统加工工艺，也称为增材制造、快速成形等，是近 30 年来全球先进制造领域新兴起的一项集光、机、电、计算机、数控及新材料于一体的先进制造技术。与传统切削加工的“去除法”不同，3D 打印是通过将粉末、液体片状等离散材料逐层堆积“自然生长”成三维实体，大大降低了制造复杂程度。

本书通过 3D 打印技术基础，Pro/E 三维建模，桌面 3D 打印机介绍及 Cura 软件操作，快速打印技术应用，桌面 3D 打印机设备维护、常见故障和打印质量问题五个方面，详细地描述了 3D 打印技术在实际中的应用。本书力求语言精炼、论述清晰、图文并茂。编写人员均为“双师型”教师，他们在实际工作中积累了丰富的工程实践和教学经验，使本书具有实用性与先进性并举的特点及紧扣生产实际的鲜明特色。

本书可作为各高职院校、高级技工学校、技术学院、技师学院及参加各类数控大赛人员的培训教材。

本书由西安航空职业技术学院吕晓冬、陕西航天职工大学李锋主编，陕西航天职工大学郑欣参加编写。在编写过程中得到陕西航天职工大学王红珠、周怀兵、张瑛、许梦芸，陕西科技大学郭小莉的帮助，在此深表谢意。

由于作者水平有限，书中疏漏之处敬请同行及读者不吝指正。

编者
2017 年 1 月



目录

第1章 3D 打印技术基础

1

- 1.1 3D 技术概述 1
- 1.2 3D 打印技术原理 2
 - 1.2.1 三维建模设计 3
 - 1.2.2 切片处理 3
 - 1.2.3 完成打印 4
- 1.3 3D 打印技术的发展和应用 4
 - 1.3.1 3D 打印技术的发展 4
 - 1.3.2 3D 打印技术的应用 8

第2章 Pro/ENGINEER 三维建模

14

- 2.1 Pro/ENGINEER Wildfire5.0 的简介 14
 - 2.1.1 Pro/ENGINEER Wildfire5.0 的特性 14
 - 2.1.2 Pro/ENGINEER Wildfire5.0 的特点 15
- 2.2 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 的用户界面 17
 - 2.2.1 Pro/ENGINEER Wildfire 5.0 操作界面简介 17
 - 2.2.2 菜单栏 18
 - 2.2.3 工具栏 19
 - 2.2.4 导航栏 21
 - 2.2.5 浏览器 22

2.2.6	信息提示栏	22
2.2.7	设计区	23
2.2.8	选择过滤器	23
2.3	图形文件的基本操作	23
2.3.1	新建文件	23
2.3.2	保存文件	24
2.3.3	关闭文件	26
2.3.4	打开文件	27
2.4	鼠标的操作	28
2.5	系统的基本设置	29
2.5.1	设置工作目录	29
2.5.2	设置工作环境	29
2.6	草图设计及基准特征的建立	31
2.6.1	基本几何图元的绘制及编辑	31
2.6.2	绘制基本几何图元	34
2.6.3	编辑图形	36
2.6.4	编辑尺寸	37
2.6.5	添加约束	38
2.6.6	绘制4个圆	39
2.6.7	使用工具按钮设置图形要素的显示形式	40
2.6.8	存储图形	40
2.6.9	关闭当前工作窗口	41
2.7	实例1:高级几何图元的绘制及编辑	41
2.7.1	绘制椭圆形圆角	41
2.7.2	绘制坐标系	42
2.7.3	绘制样条线	43
2.8	实例2:草图的几何约束及尺寸标注	43

2.8.1	绘制草图	43
2.8.2	使用几何约束编辑图形	44
2.8.3	绘制圆	45
2.8.4	镜像图形	45
2.8.5	标注并编辑尺寸	46
2.8.6	存储图形	48
2.9	实例 3: 卫浴手柄造型设计	48
2.9.1	新建一个零件文件	48
2.9.2	创建圆筒主体曲面	49
2.9.3	创建手柄曲面	49
2.9.4	合并圆筒与手柄曲面	54
2.9.5	填充圆筒与手柄端面	55
2.9.6	实体化曲面	57
2.9.7	创建圆筒内孔	58
2.9.8	创建手柄通槽	59
2.9.9	倒圆角	60

第 3 章 桌面 3D 打印机介绍及 Cura 软件操作

62

3.1	桌面 3D 打印机介绍	62
3.1.1	3D 打印机的分类	62
3.1.2	桌面 3D 打印机的结构	65
3.1.3	耗材的安装	69
3.2	Cura 软件操作	73
3.2.1	Cura 软件的安装	73
3.2.2	Cura 软件参数的设置	73
3.2.3	模型导入和 Cura 软件对 模型切片	79
3.3	桌面 3D 打印机平台调节	90

3.3.1 粗调打印平台 91

3.3.2 精调打印平台 92

第 4 章 快速打印技术应用 95

4.1 铸造类零件打印 95

4.1.1 托架打印 96

4.1.2 管件阀体打印 113

4.1.3 节温器打印 128

4.2 镂空模型打印 142

4.2.1 多面形镂空件打印 142

4.2.2 复杂镂空件打印 159

4.3 玩具模型打印 175

4.3.1 弓箭打印 175

4.3.2 玩具蝎子打印 192

第 5 章 桌面 3D 打印机设备维护、 常见故障和打印质量问题 206

5.1 桌面 3D 打印机设备维护 206

5.2 3D 打印机常见故障 209

5.3 3D 打印质量问题 214

参考文献 217

3D 打印技术基础

3D 打印诞生于 20 世纪 80 年代，用于将虚拟世界中任意复杂的 3D 数字化模型变成客观世界真实存在的 3D 实体。通俗地说，只要你能够设计出来作品，就能够通过 3D 打印技术打印出来。3D 打印无需机械加工或者任何模具，就可加工任意复杂的中空形状，解决了许多过去无法或难以通过“减材制造”的复杂结构零件（如复杂的航空发动机叶片）的成形问题。而且产品结构越复杂，3D 打印的制造效率及优势就愈加显著，主要体现在研制周期缩短、原材料节省等方面。现今 3D 打印在电影、游戏、动漫、医疗、教育、建筑、生产等领域发挥着独特的作用。

1.1 3D 技术概述

3D 打印，是快速成形（rapid prototyping, RP）或增材制造（additive manufacturing, AM）技术的一种，它是一种以 3D 数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可黏合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。

3D 打印常在模具制造、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，已经有使用这种技术打印而成的零部件。这项技术在珠宝、鞋类、工业设计、建筑、汽车、航空航天、医疗、教育、地理信息系统、土木工程、枪支等领域都有所应用。

1.2 3D 打印技术原理

3D 打印技术出现在 20 世纪 90 年代中期，是利用光固化和层叠等技术的最新快速成形技术。它与普通打印工作原理基本相同，打印机内装有液体或粉末状“打印材料”，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。说简单一点，3D 打印就是断层扫描的逆过程。断层扫描是把某个物体假想切成无数叠加在一起的片，3D 打印就是将这一片一片打印出来，同时叠加在一起，最终形成一个立体物体。3D 打印时，软件通过计算机辅助设计（CAD）完成一系列数字“切片”，并将这些切片的信息传递给 3D 打印机，由它将薄型层面堆叠在一起，直至所要打印的固态物体成形。3D 打印机与传统打印机的区别就在于它使用的“墨水”是实实在在的原材料。

传统的“去材加工”机床是在做减材成形，即通过切削方式，如车、铣、磨等工艺方式将原材料上不需要的地方去掉，但在这个过程中会存在“伸不进、够不着”的问题。3D 打印这种一层一层堆积起来做“加法”（增材制造）的工艺具有如下优势：不需要刀具、模具，所需要的工装、夹具大幅度减少；生产周期大幅度缩短；可制造出传统工艺方法难以加工，甚至无法加工的结构；材料利用率也大幅度提高。因此，3D 打印特别适合复杂结构的快速制造、个性化定制、高附加值的产品制造。同时，由于可以生成任意复杂结构、形状的产品，在零部件设计上可以采用最优结构设计，而不需考虑加工问题，解决了复杂精细零部件的设计和制造难题。

3D 打印有许多不同的技术。3D 打印的主流技术包括 FDM、SLA、SLS、3DP、LOM 等。FDM 是把塑料熔化成半融状态拉成丝，用线构建面，一层一层堆积起来；而光固化 SLA 是把本来液态的光敏树脂，用紫外线照射，照到什么位置，什么位置就从液态变成固态。SLS 和 SLA 理论上是一样，不同之处就是 SLS 用激光烧结粉末，如尼龙粉、金属粉等。3D 打印常用材料有尼龙玻璃纤维、耐用

性尼龙材料、石膏材料、铝材料、钛合金、不锈钢、橡胶类材料。
表 1.1 是 3D 打印技术与材料对照表。

表 1.1 3D 打印技术与材料对照表

类型	累积技术	基本材料
挤压	熔融沉积式(FDM)	热塑性塑料, 可食用材料
线	电子束自由成形制造(EBF)	几乎任何合金
粒状	直接金属激光烧结(DMLS)	几乎任何合金
	电子束熔化成形(EBM)	钛合金
	选择性激光熔化成形(SLM)	钛合金, 钴铬合金, 不锈钢, 铝
	选择性热烧结(SHS)	热塑性粉末
	选择性激光烧结(SLS)	热塑性塑料、金属粉末、陶瓷粉末
粉末层喷头 3D 打印	石膏 3D 打印(PP)	石膏
层压	分层实体制造(LOM)	纸、金属膜、塑料薄膜
光聚合	立体平版印刷(SLA)	光固化树脂
	数字光处理(DLP)	光固化树脂

1.2.1 三维建模设计

3D 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。

1.2.2 切片处理

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黏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 XY 方

向的分辨率是以 dpi（像素每英寸）或者微米来计算的。一般厚度为 $100\mu\text{m}$ ，即 0.1mm ，也有部分打印机如 Objet Connex 系列还有 3D Systems' ProJet 系列可以打印出 $16\mu\text{m}$ 薄的一层。而平面方向则可以打印出与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 $50\sim 100\mu\text{m}$ 。用传统方法制造出一个模型通常需要数小时到数天，根据模型的尺寸及复杂程度而定。而用 3D 打印技术则可以将时间缩短为数小时，具体时间由打印机的性能以及模型的尺寸和复杂程度而定。

传统的制造技术如注塑法可以较低的成本大量制造聚合物产品，而 3D 打印技术则可以更快、更有弹性、以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 3D 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。

1.2.3 完成打印

3D 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），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，再进行表面打磨，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，比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。

1.3 3D 打印技术的发展和應用

1.3.1 3D 打印技术的发展

近年来，我们从各类媒体上获得关于 3D 打印的新闻逐渐增多，比如时尚的衣服、个性的鞋子、营养的食物、后现代化的房子和自行车、汽车、无人驾驶飞机等被打印出来，3D 打印正在以一种不可思议的速度渗透进人们生活中的各个方面。

1986 年, 查尔斯.W.哈尔 (Charles W.Hull, 如图 1.1 所示) 开发了第一台商业 3D 印刷机。

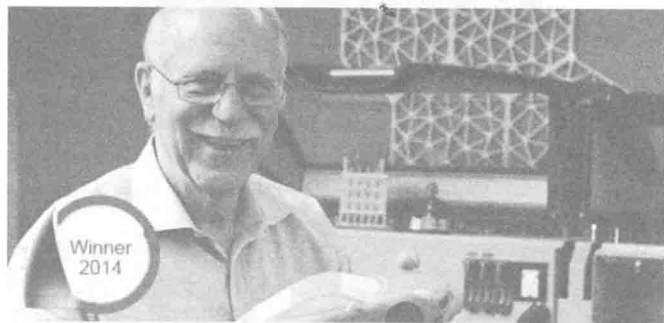


图 1.1 Charles W.Hull

1993 年, 麻省理工学院获 3D 印刷技术专利。

1995 年, 美国 ZCorp 公司从麻省理工学院获得唯一授权并开始开发 3D 打印机。

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

世界上第一台 3D 打印车 (见图 1.2) 已经问世——这辆由美国 Local Motors 公司设计制造, 名叫 “Strati” 的小巧两座家用汽车开启了汽车行业新篇章。这款创新产品在 2014 美国芝加哥国际制造技术展览会上公开亮相。用 3D 打印技术打印这辆汽车并完成组装需 44h。整个车身上靠 3D 打印出的部件总数为 40 个, 相较传统汽车 20000 多个零件来说可谓十分简洁。充满曲线的车身先由黑色塑料制造, 再层层包裹碳纤维以增加强度, 这一制造设计尚属首创。汽车由电池提供动力, 最高时速约 64km, 车内电池可供行驶 190~240km。尽管汽车的座椅、轮胎等可更换部件仍以传统方式制造, 但用 3D 制造这些零件的计划已经提上日程。制造该轿车的车间里有一架超大的 3D 打印机, 能打印长 3m、宽 1.5m、高 1m 的大型零件, 而普通的 3D 打印机只能打印 25cm^3 大小的东西。



图 1.2 3D 打印技术打印的车

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发布了世界上第一架 3D 打印的飞机，见图 1.3。



图 1.3 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”（solid concepts）设计制造出 3D 打印金属手枪。

3D 打印技术目前面临着以下几个问题亟待解决。

- 一是与传统切削加工技术相比,产品尺寸精度和表面质量相差较大(制造精度一般仅相当于铸造件),产品性能还达不到许多高端金属结构件的要求。
- 二是加工速度和大批量生产效率还是比较低,不能满足工业领域的需求。
- 三是设备和耗材成本仍然还是很高,如基于金属粉末的打印成本远高于传统制造。

2014 年 7 月,美国南达科塔州一家名为 Flexibe Robotic Environments (FRE) 的公司公布了最新开发的全功能制造设备 VDK6000,兼具有金属 3D 打印(增材制造)、车床(减材制造,包括:铣床、激光扫描、超声波间距、等离子焊接、研磨/抛光/钻孔)及 3D 扫描功能。

2015 年 7 月,中国建筑公司盈创与迪拜联手打造全球首栋 3D 打印办公楼。迪拜计划使用一台 20ft (约 6.1m) 高的打印机建造一个占地面积约 2000ft^2 (185m^2) 的一层建筑,室内家具和结构部件也将通过 3D 打印而成。该项目由迪拜和中国建筑公司盈创联手完成。采用 3D 技术,将使建筑施工时间和工人成本降低至少一半,还可减少 30%~60% 的建筑垃圾。

2015 年 9 月 7 日,西安交通大学医学院第二附属医院顺利完成了一次颈椎 3D 打印钛合金钢板经口腔植入手术,这意味着全国首例颈椎 3D 打印钛合金钢板经口腔植入手术获得成功。西安铂力特激光成形技术有限公司(以下简称“铂力特”)利用自身纯熟的金属 3D 打印工艺制成此定制钛合金钢板。

2015 年 11 月 02 日,国产大飞机 C919 中央翼缘条出自 3D 打印机。此客机的中央翼条长达 3m,是利用 3D 打印技术制造的大型钛合金构件。西北工业大学教授黄卫东说,针对 C919 的 3D 打印技术,采用了激光成形件加工中央翼缘条。3D 打印技术的融入直接解决了 C919 飞机钛合金结构件的制造问题,具有划时代的意义。

2015 年 12 月 14 日,Revolution 科研人员 Jemma Redmond 和 Stephen Gray 在 Ourobotics 项目中共同开发了一款低成本生物打

印机 Revolution，这款机器能够在一种生物打印结构中使用 10 种不同的材料（甚至更多），可应用的范围包括人体组织、制药、食品、合成生物学、电子、电池，甚至纺织品等。该机器可以支持所有凝胶状的材料，包括胶原、明胶、海藻酸盐、壳聚糖等。

2016 年，瑞士联邦工学院在 3D 打印领域的业绩有：通过生物聚合物和软骨细胞打造了一只耳朵和鼻子的生物打印；通过在三维（3D）打印的基础上加上合成物的局部控制的组合物（第四维度）和颗粒方向（第五维度）的材料设计实现的 5D 打印；可制造更高性能触摸屏的 3D 打印金银纳米墙技术。他们拥有的核心技术是专利的 FluidFM 技术，FluidFM 技术是一种重塑微管的技术，FluidFM 移液器微管（见图 1.4）孔径仅为人类头发的 1/500。

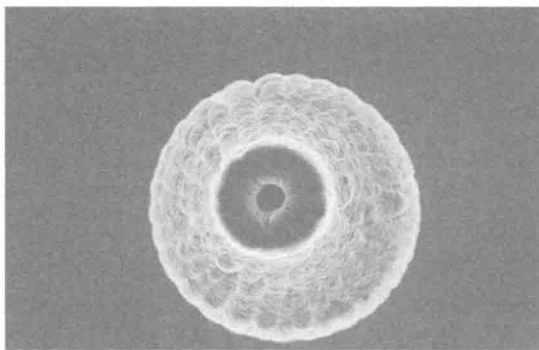


图 1.4 FluidFM 移液器微管

CytoSurge 与瑞士联邦工学院的联合使得 FluidFM 技术与 3D 打印深度结合，瑞士联邦工学院通过整合 FluidFM Probes 到打印机上，这项技术不仅可以实现例如金、银、铜这些金属的纳米级打印，还可以打印细胞和复合材料。

1.3.2 3D 打印技术的应用

3D 打印需要依托多个学科领域的尖端技术，包括信息技术、精密机械和材料科学三大技术。通过与数控加工、铸造、金属冷喷

漆、硅胶模等制造手段结合，在航空航天、汽车摩托车、家电、生物医学等领域得到一定的应用，在工程和教学研究等应用领域也占有独特地位。

2014年7月1日，美国海军试验了利用3D打印等先进制造技术快速制造舰艇零件，希望借此提升执行任务速度并降低成本。采用3D打印及其他先进制造方法，能够显著提升执行任务速度及预备状态，降低成本，避免从世界各地采购舰船配件。考虑到成本、海军后勤与供应链现存的漏洞以及面临的资源约束，先进制造与3D打印的应用越来越广，他们设想了一个由技术娴熟的水手支持的先进制造商的全球网络，找出问题并制造产品。

2014年8月31日，美国宇航局的工程师们刚刚完成了3D打印火箭喷射器的测试（见图1.5）。这项研究在于提高火箭发动机某个组件的性能，由于喷射器内液态氧和气态氢一起混合反应，这里的燃烧温度可达到大约 3315°C ，可产生约9tf的推力，验证了3D打印技术在火箭发动机制造上的可行性。这项测试工作在阿拉巴马亨茨维尔的美国宇航局马歇尔太空飞行中心进行，这里拥有较为完善的火箭发动机测试条件，工程师可验证3D打印部件在点火环境中的性能。制造火箭发动机的喷射器需要精度较高的加工技术，如果使用3D打印技术，就可以降低制造上的复杂程度，在计算机中建立喷射器的三维图像，打印的材料为金属粉末，在较高的温度下，金属粉末可被重新塑造成我们需要的样子。火箭发动机中的喷射器内有数十个喷射元件，要建造大小相似的元件需要一定的加工精度，该技术测试成功后将用于制造RS-25发动机，其作为美国宇航局未来太空发射系统的主要动力，该火箭可运载宇航员超越近地轨道，进入更遥远的深空。马歇尔太空飞行中心的工程部主任克里斯认为3D打印技术在火箭发动机喷射器上的应用只是第一步，其最终目的在于测试3D打印部件如何能彻底改变火箭的设计与制造，并提高系统的性能，更重要的是可以节省时间和成本。该测试中，两具火箭喷射器进行了点火，每次5s，设计人员创建的复杂几何流体模型允许氧气和氢气充分混合，压力为 $1400\text{lb}/\text{in}^2$ 。