

全国职业教育数字化资源共建共享成果

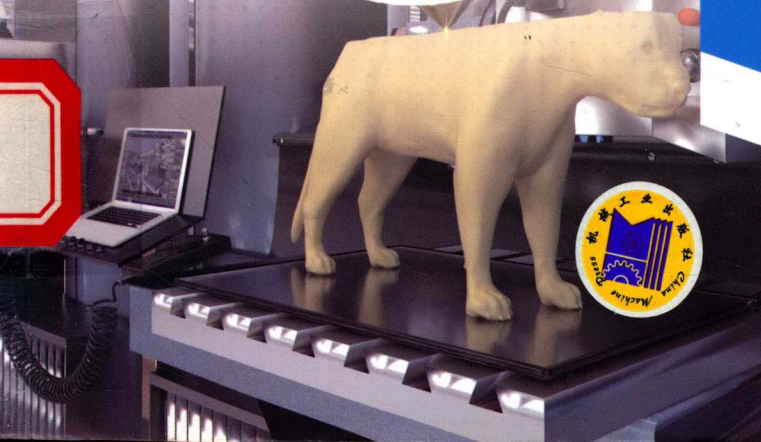
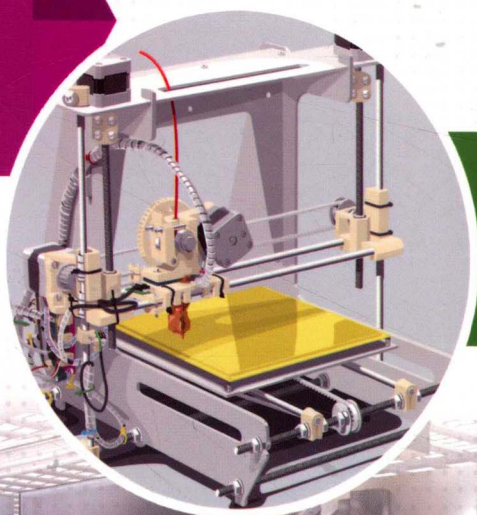



配套电子资源库

# 3D打印 技术概论

高帆◎主编

袁长有 王浩钢◎主审



 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

7  
(385)  
2  
全国职业教育数字化资源共建共享成果

# 3D 打印技术概论

主 编 高 帆

副主编 杨海亮 马延庭

参 编 史毓勇 李仲立 仲健维

王 爽 张建国 虞嘉丞

主 审 袁长有 王浩钢



机械工业出版社

本书是根据教育部数字化资源共建共享联盟于2014年编写的《3D打印技术教学大纲》，同时参考相关职业资格标准编写的。3D打印让人们对未来充满了无穷无尽的想象，用户把所想概念融入产品中进行大胆假设将成为现实。

本书共七章，内容包括3D打印概论、正向三维工程设计、逆向工程设计、3D打印工艺设计及材料分析、制作及后处理、桌面打印机的拆装与维修、3D打印相关软件的安装。

本书可作为职业院校数控、机电、模具等专业教材，也可以作为相关专业参考用书或3D打印爱好者的入门教程，还可作为科普类读物。

为便于教学，本书配套网络资源，选择本书作为参考用书的教师和学生可登录 [www.zh-cn.ptc.com](http://www.zh-cn.ptc.com) 和 [www.cimatron.com.cn](http://www.cimatron.com.cn) 网站，注册和免费下载相关资源。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

3D 打印技术概论/高帆主编. —北京: 机械工业出版社, 2015. 8  
ISBN 978-7-111-51209-7

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 195648 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 齐志刚 责任编辑: 齐志刚 叶蔷薇

责任校对: 李盼 封面设计: 马精明

责任印制: 乔宇

保定市中国画美凯印刷有限公司印刷

2015 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11.5 印张 · 282 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-51209-7

定价: 39.80 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88379833

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: 010-88379649

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前 言

本书是为贯彻《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，落实数字化资源共建共享计划，推进职业教育信息化建设和教学改革，全面提高教学质量，解决职业教育教学在3D打印技术方向无合适教材使用的现状，根据教育部共建共享联盟于2014年编写的《3D打印技术教学大纲》，同时参考相关职业资格标准编写的。

本书主要介绍3D打印技术，重点强调培养学生的思维创造和设计能力，并培养学生将设想变为产品的动手能力。本书编写过程中力求体现简单易学的特色，并注重新技术的普及与推广。本书编写模式新颖，采用团队通力协作、校企深度合作的模式完成。

本书在教学上有以下几点建议：①教学模式采用理实一体化教学；②课程安排在二年级下学期更为合适；③学时可安排在60学时左右。

全书共七章，由安阳市中等职业技术学校高帆主编，编写人员及具体分工如下：蚌埠市高级技工学校史毓勇编写第一章，佳木斯职业学院马廷庭编写第二章第一、二节及第五章第一节，王爽编写第二章第三、四节，佳木斯技师学院仲健维编写第二章第五、六节，安阳市中等职业技术学校杨海亮编写第三章第一节及第四章第一、二节，李仲立编写第三章第二节，高帆编写第五章第二节和第六章、第七章，嘉兴技师学院虞嘉丞编写第四章第三、四节，张建国编写第四章第五、六节。全书由袁长有、王浩钢主审。

在编写过程中，编者参阅了国内外出版的有关书籍和资料，得到了上海福斐科技发展有限公司和郑州叁迪科技有限公司的技术支持，在此一并表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

# 目 录

前言	
<b>第一章 3D 打印概论</b>	1
第一节 3D 打印的历史	1
第二节 3D 打印技术的发展状况	2
第三节 3D 打印技术的分类	4
第四节 3D 打印技术未来的发展	6
第五节 3D 打印技术的应用市场	8
<b>第二章 正向三维工程设计</b>	10
第一节 简单零件设计	10
第二节 钣金造型	23
第三节 自由造型	43
第四节 曲面设计	55
第五节 装配设计	64
第六节 特殊曲面	70
<b>第三章 逆向工程设计</b>	88
第一节 三维数据的获取	88
第二节 三维数据的处理	95
<b>第四章 3D 打印工艺设计及材料分析</b>	103
第一节 熔融沉积技术	103
第二节 紫外光固化技术	112
第三节 立体光固化技术	116
第四节 分层实体制造技术	120
第五节 选择性激光烧结技术	126
第六节 粉末粘接技术	134
<b>第五章 制作及后处理</b>	146
第一节 FDM 技术的制作及后处理	146
第二节 其他技术后处理流程简介	153
<b>第六章 桌面 3D 打印机的拆装与维修</b>	159
第一节 桌面 3D 打印机的安装与使用	159
第二节 桌面 3D 打印机的参数设置	162
第三节 桌面 3D 打印机的维护	163
<b>第七章 3D 打印相关软件的安装</b>	165
第一节 Creo 2.0 系列 Win32/64 详细图文安装教程	165
第二节 Cimatron 单机版软件的安装	169
第三节 切片软件 Cura 的安装	174
<b>参考文献</b>	179

# 第一章 3D 打印概论

## 第一节 3D 打印的历史

3D 打印机出现在 20 世纪 90 年代中期，实际上是利用光固化和纸层叠等技术的快速成型装置。它与普通打印机的工作原理基本相同，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，最终把计算机上的蓝图变成实物。这种打印技术称为 3D 立体打印技术。

### 一、3D 打印简史

1984 年，Charles Hull 发明了将数字资源打印成三维立体模型的技术。1986 年，Chuck Hull 发明了立体光刻工艺，利用紫外线照射将树脂凝固成型，以此来制造物体，并获得了专利。随后他成立一家名为 3D Systems 的公司，专注发展 3D 打印技术。1988 年，3D Systems 开始生产第一台 3D 打印机 SLA-250，体型非常庞大。

1988 年，Scott Crump 发明了另外一种 3D 打印技术——热熔解积压成型（FDM），利用蜡、ABS 树脂、聚碳酸酯（PC）、尼龙等热塑性材料来制作物体，随后也成立了一家名为 Stratasys 的公司。

1989 年，C. R. Dechard 博士发明了选区激光烧结技术（SLS），利用高强度激光将尼龙、蜡、ABS 树脂、金属和陶瓷等材料的粉末烤结，直至成型。

1993 年，麻省理工学院教授 Emanuel Sachs 创造了三维打印（3DP）技术，将金属、陶瓷的粉末通过黏结剂粘在一起成型。1995 年，麻省理工学院的毕业生 Jim Brecht 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，而不是把墨水挤压在纸张上，随后创立了现代的三维打印企业 Z Corporation。

1996 年，3D Systems、Stratasys、Z Corporation 分别推出了型号为 Actua 2100、Genisys、Z402 的三款 3D 打印机产品，第一次使用了“3D 打印机”的称谓。

2005 年，Z Corporation 推出了世界上第一台高精度彩色 3D 打印机 SpeCTRum 2510，同一年，英国巴斯大学的 Adrian Bowyer 发起了开发 3D 打印机项目 RepRap，目标是通过 3D 打印机本身，能够制造出另一台 3D 打印机。2008 年，第一个基于 RepRap 的 3D 打印机发布，代号为 Darwin，它能够打印自身 50% 的元件，体积仅一个箱子大小。

2010 年 11 月，第一台用巨型 3D 打印机打印出整个身躯的轿车出现，它的所有外部组件都由 3D 打印制作完成，包括用 Dimension 3D 打印机和由 Stratasys 公司数字生产服务项目 RedEye on Demand 提供的 Fortus 3D 成型系统制作完成的玻璃面板。

2011 年 8 月，世界上第一架 3D 打印飞机由英国南安普顿大学的工程师创建完成。同年 9 月，维也纳科技大学开发了更小、更轻、更便宜的 3D 打印机，这个超小 3D 打印机重 1.5kg，报价约 1200 欧元。

2012 年 3 月，维也纳大学的研究人员宣布利用二光子平版印刷技术突破了 3D 打印的最

小极限，展示了一辆长度不到 0.3mm 的赛车模型。同年 7 月，比利时 International University College Leuven 的一个研究组测试了一辆几乎完全由 3D 打印的小型赛车，其车速达到了 140km/h。同年 12 月，美国分布式防御组织成功测试了 3D 打印的枪支弹夹，如图 1-1 所示。

## 二、我国 3D 打印发展简史

1990 年，华中科技大学王运赣教授在美国参观访问时接触了刚问世不久的快速成型机。最初，王运赣教授想从最早出现的基于光敏树脂原料的光固化立体成型技术做起。然而，液态光敏树脂材料的价格太高，华中科技大学转攻以纸为原料的分层实体制造技术（LOM）。1991 年，华中科技大学在时任校长、已故著名机械制造专家黄树槐的主持下，成立快速制造中心，研发基于纸材料的快速成型设备。1994 年，华中科技大学快速制造中心研制出国内第一台基于薄材纸的 LOM 样机，1995 年参加北京机床博览会时引起轰动。LOM 技术制作冲模，约比传统方法节约 1/2 成本，生产周期也大大缩短。

1992 年，西安交通大学卢秉恒教授（国内 3D 打印业的先驱人物之一）赴美做高级访问学者，发现了快速成型技术在汽车制造业中的应用，回国后随即转向研究这一领域，1994 年成立先进制造技术研究所。1995 年 9 月 18 日，卢秉恒教授（现为中科院院士）的样机在国家科委论证会上获得了很高的评价，并争取到了“九五”国家重点科技攻关项目 250 万元的资助。1997 年，卢秉恒团队卖出了国内第一台光固化快速成型机。

我国的 3D 打印起步并不晚，像彦永年、王华明、王运赣、史玉升、卢秉恒等教授都是早期就加入研究的先驱。总体而言，我国在核心技术有先进的一面，但在产业化方面的发展还稍显滞后。

经过 20 多年的发展，这个产业以美国、以色列、德国领跑全球，中国紧随其后。

## 第二节 3D 打印技术的发展状况

### 一、3D 打印：第三次工业革命

2012 年 3 月 19 日，美国总统奥巴马在卡内基梅隆大学宣布创立美国“制造创新国家网络”计划，由政府主导、联邦政府和工业部门共同斥资 10 亿美元，逐步建立 15 个“制造创新中心”，组成创新网络。

2012 年 4 月 21 日，英国《经济学人》刊文《第三次工业革命》，认为 3D 打印技术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。

2012 年 8 月 16 日，美国“国家增材制造创新中心”作为其首个“样板示范”创新中心剪彩成立。作为新技术研究、开发、示范、转移和推广的基础平台，它号称要成为增材制造技术全球卓越中心，并提升美国制造全球竞争力。

3D 打印机的出现是对生产方式的一个革新，使设计师与产品之间建立了直接联系。它



图 1-1

一方面保证了设计者的想法和创意能够原汁原味地体现出来，另一方面可以大大降低制作成本（图 1-2）。而随着科技的不断进步，3D 打印机用于大规模制造变为可能。

## 二、3D 打印发展现状

### 1. 3D 打印规模化发展

3D 打印规模化发展尚需 8 ~ 10 年。3D 打印机的用途很广，但是目前还处于概念设计阶段。3D 打印技术的产业化主要体现在先进材料的突破、生产成本的降低、工艺的完善及应用规模的扩大。Wohlers 公司发布的报告称，2011 年，全球 3D 打印市场规模为 17.1 亿美元，年增长率达 29.4%，并将保持两位数的增长势头；2015 年，快速成型制造业的产品销售额与服务将达到 27 亿美元；2019 年，将会增长到 65 亿美元。3D 打印产业发展快速，预计通过 8 ~ 10 年时间将实现规模化发展。虽然我国的 3D 打印技术已经取得了长足的进步，但主要还停留在设计和样机开发阶段，尚未实现规模化生产。2012 年，世界增材制造的总产值大概是 11 亿美元，而我国是两亿元人民币左右。我国在 3D 打印研究方面比较领先，主要研究力量集中在武汉、深圳、北京、西安等城市。2013 年，中国首个 3D 打印工业园落户武汉东湖高新区。2015 年，我国可以初步实现产业化，预计到 2020 年实现产业化。

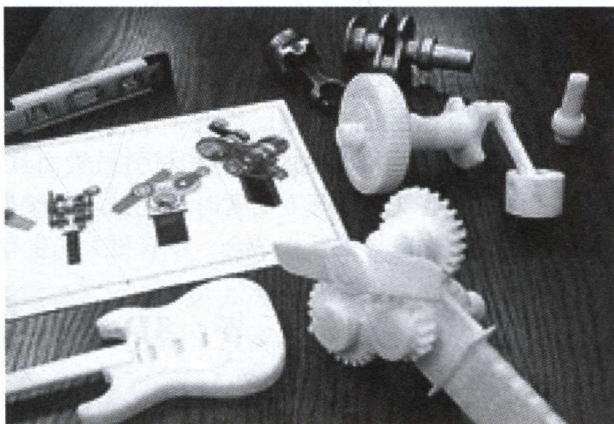


图 1-2

### 2. 3D 打印个人消费

3D 打印个人消费将成为亮点。3D 打印技术会像计算机和网络一样进入普通家庭，价格越来越便宜，性能却越来越卓越，将融入甚至改变人们的生活。

经过 20 多年的探索和发展，3D 打印技术有了长足的进步，目前已经能够在 0.01mm 的单层厚度上实现 600dpi 的精细分辨率。目前国际上较先进的产品可以实现 25mm/h 的垂直速率，并可实现 24 位色彩的彩色打印。

我国有 40 多家 3D 打印企业，如北京隆源、深圳普力得科技、武汉滨湖机电、长沙华曙高科、南京紫金立德、宝岩自动化、西安铂力特等，能拿出产品的有近 10 家，其中产量过百台的仅 4 家，而拥有核心技术的就更少了。我国的 3D 打印产业，整体面临核心环节对外依赖、耗材技术滞后等重大制约问题。在硬件方面，自动化控制系统与国外相比还有较大的差距，运行稳定性有待提高；在软件方面与国外也有很大差距。3D 打印的核心在软件。软件之于 3D 打印机，好比大脑之于人。缺了软件，设计师灵感再多，也变不成模型，打不出实物。作为 3D 打印支撑技术的软件系统，现为美国、以色列几家大公司控制，国内近乎空白。在市场方面，3D 打印的需求九成在欧美，全球行业集中度极高，欧美两家龙头企业已占七成份额。过度依赖外需、内需启动缓慢，使国产 3D 打印产业的生存现状不容乐观。从核心技术、应用材料到市场渠道，我国 3D 产业链与国外的差距还很大。

从理论上讲，能够设计或想象出来的东西，全部能打印出来。相信在未来，3D 打印确实能改变几乎整个制造业。但现在，3D 打印技术及其产业还很不成熟，仍然处于“拓荒



阶段”，替代不了传统制造业。目前，3D 打印技术具有制造物体周期短，适应单件个性化需求，在大型薄壁件、蜂窝状复杂结构部件、钛合金等难加工、易热成型零件制造方面具有较大优势。但这也只是对传统工艺的补充，是“锦上添花”的技术。现在 3D 打印技术存在着制造成本高、制造效率低、制造精度尚不能令人满意、工艺与装备研发不充分、尚未进入大规模工业应用等方面的问题。因此，不能把 3D 打印万能化。现今的 3D 打印技术还不能打印超过 1000 个零部件的物体，打印材料昂贵而且有限，打印尺寸也受限制，打印出的东西在机械强度、电气属性等方面暂时都无法与传统制造业相抗衡。现今，3D 打印技术只有跟传统制造业的改造与提升相结合，才有更大的生存空间。

### 第三节 3D 打印技术的分类

3D 打印技术实际上是一系列快速原型成型技术的总称，其基本原理都是叠层制造，由疾速原型机在 X—Y 平面内经过扫描的办法构成工件的截面形状，而 Z 坐标连续地做层面厚度的位移，最终构成三维制件。

3D 打印机可以从很多方面进行分类，如成型技术、应用领域、打印尺寸精度和打印材料等。

#### 一、按照成型技术分类

当前市场上的疾速成型技术分为 3DP 技术、熔融层积成型技术、立体平版（SLA）印刷技术、选区激光烧结技术、激光（DLP）成型技术和紫外线（UV）成型技术等。

##### 1. 3DP 技术

选用 3DP 技术的 3D 打印机运用规范喷墨打印技术，将液态连接体铺放在粉末薄层上，以打印横截面数据的办法逐层创立各部件，创建三维实体模型。选用这种技术打印成型的样品模型与实际产物具有相同的颜色，还能够将五颜六色的剖析成果直接描绘在模型上，模型样品传递的信息较大。

##### 2. 熔融层积成型技术

熔融层积成型技术是将丝状的热溶性材料加热融化，同时三维喷头在计算机的操控下，依据截面概括信息，将材料挑选性地涂敷在作业台上，疾速冷却后形成一层截面。一层成型完成后，机器作业台降低一个高度（即分层厚度）再成型下一层，直至形成整个实体外型，如图 1-3 所示。其成型材料品种多，成型件强度和精度较高，首要适用于成型小塑料件。

##### 3. 立体平版印刷技术

立体平版印刷技术以光敏树脂为原料，经过计算机操控激光，按零件的各分层截面信息在液态的光敏树脂外表进行逐点扫描，被扫描区域的树脂薄层发生光聚合反应而固化，构成零件的一个薄层。一层固化完成后，



图 1-3

作业台下移一层厚的间隔，然后在原先固化好的树脂外表上再敷一层新的液态树脂，直至得到三维实体模型。该办法成型速度快，自动化程度高，可成型任意杂乱形状，尺寸精度高，首要应用于杂乱和高精度的精密工件快速成型。

#### 4. 选区激光烧结技术

选区激光烧结技术采用红外激光器作为能源，使用的造型材料多为粉末材料。加工时，首先将粉末预热到稍低于其熔点的温度，然后在刮平棍子的作用下将粉末铺平；激光束在计算机的控制下根据分层截面信息进行有选择的烧结，一层完成后再进行下一层烧结，全部烧结完后去掉多余的粉末，就可以得到一个烧结好的零件。目前成熟的工艺材料为蜡粉及塑料粉，用金属粉或陶瓷粉进行烧结的工艺还在研究之中。该办法制造工艺简单，材料可选范围广，成本较低，成型速度快，首要应用于铸造业直接制造快速成型模具。

#### 5. 激光成型技术

激光成型技术和立体平版印刷技术相似，不过它是运用高分辨率的数字光处理器投影仪来固化液态光聚合物，逐层进行光固化的。因为每层固化时经过幻灯片似的片状固化，因而其速度比同类型的立体平版印刷技术速度更快。该技术成型精度高，在材料特点、细节和表面质量方面可媲美注射成型的耐用塑料部件。

#### 6. 紫外线成型技术

紫外线成型技术和立体平版印刷技术相似，不一样的是它使用紫外线照射液态光敏树脂，一层一层地由下而上堆栈成型，成型的过程中不发生噪声，在同类技术中成型的精度最高，一般应用于精度需求高的珠宝和手机外壳等。

### 二、按照打印材料分类（表 1-1）

表 1-1

序号	加工方式	主要加工对象	加工方式简介
01	激光烧结成型	热塑性塑料、金属粉末、陶瓷粉末	利用激光照射材料，使材料熔融后烧结成型
02	熔融沉积成型	热塑性塑料、金属、蜡、可食用材料	将热熔性材料加热融化，通过喷头挤出，而后固化成型
03	分层实体制造	纸、金属膜、塑料薄膜	将一层层被加工材料相互黏结，然后切割成型
04	粉末黏结成型	陶瓷粉末、金属粉末、塑料粉末、石膏粉末	铺设粉末，然后喷射黏结剂，让材料粉末黏结成型
05	电子束熔化成型	金属	利用电子束轰击材料，使材料熔融后烧结成型
06	光固化成型	光敏树脂	通过紫外光或者其他光源照射凝固成型，逐层固化

### 三、按照应用领域分类

3D 打印机按照应用领域一般分为 4 类：桌面型 3D 打印机、多色桌面级 3D 打印机、工业级 3D 打印机和多色工业级 3D 打印机。工业级 3D 打印机（图 1-4）的精度虽然可以达到

几微米，但成本高达几十万元甚至上百万元，一般的家庭很难接受，相比来说，桌面级 3D 打印机比较亲民，几千到几万元就可以购买。



图 1-4

## 第四节 3D 打印技术未来的发展

3D 打印 (3D Printing) 技术作为快速成型领域的一种新兴技术，目前正成为迅猛发展的潮流。近一段时间，3D 打印技术吸引了国内外新闻媒体和社会公众的热切关注。英国《经济学人》杂志封面的文章对 3D 打印技术的发展做了介绍并进行了展望，文章认为：3D 打印技术未来的发展将使大规模的个性化生产成为可能，这将会带来全球制造业经济的重大变革。很多新闻媒体乐观地认为 3D 打印产业将成为下一个具有广阔前景的朝阳产业。图 1-5 中为 3D 打印的建筑。



图 1-5

### 一、3D 打印产业的未来发展前景

《Wohlers Report 2014》介绍了 3D 打印的所有方面，包括其历史、应用、进程、制造商。该报告还涵盖了政府、学术界和产业界等在研究与开发、投资、协作活动等方面的发展，并对该产业在世界上的情况进行了总结。

3D 打印技术要进一步扩展其产业应用空间，目前仍面临着多方面的瓶颈和挑战。

#### 1. 成本

现有 3D 打印机的造价仍普遍较为昂贵，给其进一步普及应用带来了困难。

#### 2. 打印材料

目前 3D 打印的成型材料多采用化学聚合物，选择的局限性较大，成型品的物理特性较差，而且安全方面也存在一定隐患。

#### 3. 精度、速度和效率

目前 3D 打印成品的精度还不尽如人意，打印效率还远不适应大规模生产的需求，而且

受打印机工作原理的限制，打印精度与速度之间存在严重冲突。

#### 4. 产业环境

3D 打印技术的普及将使产品更容易被复制和扩散，制造业面对的盗版风险将大增，现有知识产权保护机制难以适应产业未来发展的需求。

Gartner 公司 2011 年发布的最新技术发展展望报告判断：3D 打印技术目前正在进入概念炒作的高峰阶段，其技术还有待充分成熟，主流市场也有待进一步培育。Gartner 公司研究人员认为，3D 打印技术成熟到适应市场需求还需要 5~10 年的时间。在这一较为漫长的发展过程中，产业可能会面临增长长期望落空、技术遭遇瓶颈以及投资撤离等风险。

总之，从中长期来看，3D 打印产业具有较为广阔的发展前景，但目前产业到成熟阶段尚有较大距离，对于 3D 打印市场规模的短期发展不宜过分高估。因此，现阶段产业界对 3D 打印领域的投入应以加强创新研发、技术引进和储备为主，尤其要重视自主知识产权的建设和维护，争取在未来的市场竞争中占据有利地位，如图 1-6 所示。如受到概念炒作影响，在技术尚未充分完善的现阶段大规模投入产能进行扩张，则投资回报将面临较大的风险。

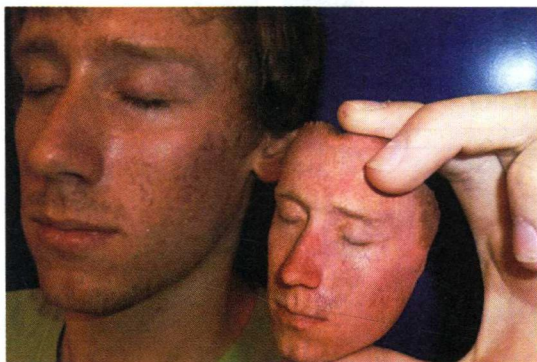


图 1-6

## 二、3D 打印技术未来发展的主要趋势

随着智能制造的进一步发展成熟，新的信息技术、控制技术、材料技术等不断被广泛应用到制造领域，3D 打印技术也将被推向更高的层面。未来，3D 打印技术的发展将体现出精密化、智能化、通用化以及便捷化等趋势，主要如下：

提升 3D 打印的速度、效率和精度，开拓并行打印、连续打印、大件打印和多材料打印的工艺方法，提高成品的表面质量和物理性能，以实现直接面向产品的制造；开发更为多样的 3D 打印材料，如智能材料、功能梯度材料、纳米材料、非均质材料和复合材料等，特别是金属材料直接成型技术有可能成为今后研究与应用的又一个热点；3D 打印机的体积小、桌面化，成本更低廉，操作更简便，更加适应分布化生产、设计与制造一体化的需求以及家庭日常应用的需求；软件集成化，实现计算机辅助设计/计算机辅助工艺过程设计/快速成型技术（CAD/CAPP/RP）的一体化，使设计软件和生产控制软件能够无缝对接，实现设计者直接联网控制的远程在线制造；拓展 3D 打印技术在生物医学、建筑、车辆、服装等更多行业领域的创造性应用。

## 第五节 3D 打印技术的应用市场

### 一、应用领域

#### 1. 功能应用

通过与数控加工、铸造、金属冷喷绘、硅胶模等制造手段相结合，3D 打印技术在模具、模型和零件制造方面已经成为重要手段。其功能应用分类如图 1-7 所示。

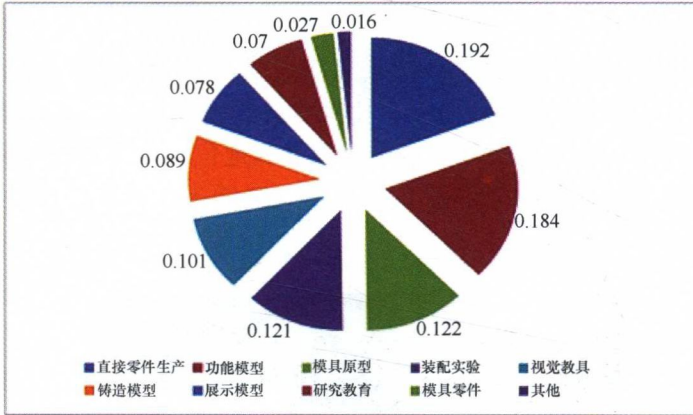


图 1-7

#### 2. 具体行业

3D 打印技术在消费电子产品、航天航空、交通运输、生物医学等领域得到了广泛的应用。从趋势上来看，在航空器和口腔医学领域的增速较快。其市场应用分类如图 1-8 所示。

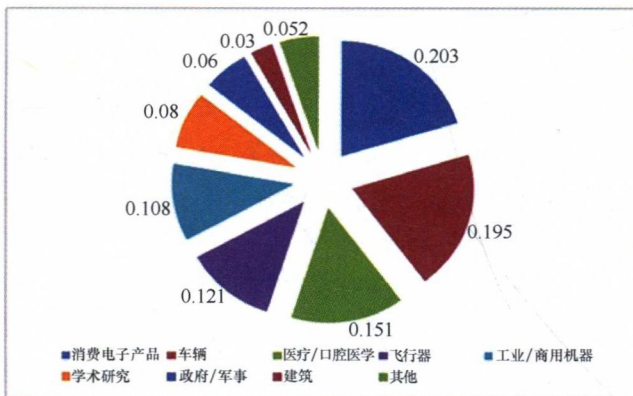


图 1-8

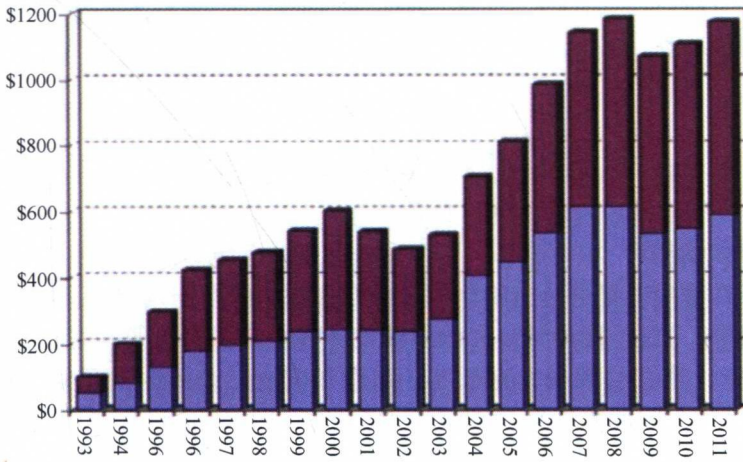
### 二、行业增速

1) 工业级打印机的销售自 1988 年刚发明时的 34 台，已发展至 2012 年 7771 台的规模，24 年间年均复合增速达 25.4%，产值达 6.2 亿美元，目前保持稳步增长的态势。

2) 美国是 3D 打印设备的主要保有区域，2010 年美国保有量占比 38.3%，中国占

比 8.6%。

3D 打印全球服务和设备市场规模如图 1-9 所示。



注：蓝色部分代表产品，紫色部分代表服务，其中2010和2011年是估计数据

图 1-9

3D 打印未来市场展望如图 1-10 所示。

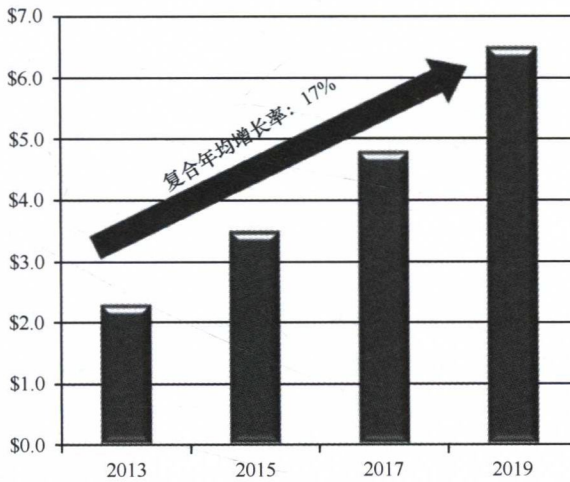


图 1-10

## 第二章 正向三维工程设计

### 第一节 简单零件设计

#### 一、3D 建模技术简介

通俗来讲，3D 建模就是通过三维制作软件在虚拟三维空间构建出具有三维数据的模型。三维建模设计不同于二维绘图设计。二维绘图设计在一个平面上即可完成，而三维建模设计在三维空间中进行，建立的模型具有长度、高度和宽度三个方向的尺寸。在三维建模设计中，首先建立在工作空间的坐标系（包括原点、坐标轴和基准平面），然后在草绘平面绘制模型的特征截面或扫描轨迹，并根据参照平面放置特征截面的各图形元素，对二维特征截面进行拉伸、旋转和扫描等操作，可生成三维模型的基础特征。特征是构成三维模型的基础，各种各样的三维模型就是由不同的特征按照一定的设计要求进行组合所形成的集合体。

下面介绍机械类常用 3D 建模软件。

#### 1. CATIA

CATIA 是法国达索公司的产品开发旗舰软件。它可以帮助制造厂商设计他们未来产品的整套解决方案，并支持从项目前阶段、具体的设计、分析、模拟、组装到维护在内的全部工业设计流程。目前，CATIA 在设计与工程软件中占有大部分的市场份额。CATIA 的界面赏心悦目，并且拥有易用而强大的功能，可以为汽车、航空航天、造船等行业提供强大的功能支持。

#### 2. SolidWorks

SolidWorks 为达索系统（Dassault Systemes, S. A）下的子公司，专门负责研发与销售机械设计软件的视窗产品。SolidWorks 软件是世界上第一个基于 Windows 开发的三维 CAD 系统，由于技术创新符合 CAD 技术的发展潮流和趋势，成为 3D 解决方案的全球领导者，帮助数百万的工程师和设计师通过创新取得成功。Solid Works 软件在产品的设计、仿真、发布、数据管理和环境影响评估方面可提供直观的使用体验。

#### 3. UG

UG（Unigraphics NX）是 Siemens PLM Software 公司出品的一个产品工程解决方案，它为用户的产品设计及加工过程提供了数字化造型和验证手段。UG 针对用户的虚拟产品设计和工艺设计的需求，提供了经过实践验证的解决方案。它功能强大，可以轻松实现各种复杂实体及造型的构建。UG 在诞生之初主要基于工作站，但随着 PC 硬件的发展和个人的迅速增长，其在 PC 上的应用取得了迅猛的增长，已经成为模具行业三维设计的一个主流应用。

#### 4. Creo Parametric

Creo Parametric 是美国 PTC 公司于 2010 年 10 月推出的 CAD 软件包。Creo Parametric 是整合了 PTC 公司三个软件（Pro/Engineer 的参数化技术、CoCreate 的直接建模技术和 ProductView 的三维可视化技术）的新型 CAD 软件包，针对不同的任务将采用更为简单化的子

应用方式，所有子应用采用统一的文件格式。Creo Parametric 的前身是 Pro/Engineer 软件，Pro/Engineer 是参数化技术的最早应用者，在目前的三维造型软件领域中占有重要地位，作为当今世界机械 CAD/CAE（计算机辅助工程）/CAM（计算机辅助制造）领域的新标准而得到业界的认可和推广，是现今主流的 CAD/CAM/CAE 软件之一，特别是在国内产品设计领域占据重要位置。

## 5. Cimatron CAD/CAM

Cimatron CAD/CAM 系统是以色列 Cimatron 公司的 CAD/CAM/PDM（产品数据管理）产品，是较早早在微机平台上实现三维 CAD/CAM 全功能的系统。该系统提供了比较灵活的用户界面，优良的三维造型和工程绘图，全面的数控加工，各种通用、专用数据接口以及集成化的产品数据管理。Cimatron CAD/CAM 系统自从 20 世纪 80 年代进入市场以来，在国际上的模具制造业备受欢迎。近年来，Cimatron 公司为了在设计制造领域发展，着力增加了许多适合设计的功能模块，每年都有新版本推出，市场销售份额增长很快。

### 二、拉伸和旋转

以下所有操作均在 Creo 环境中运行。

#### 1. 拉伸


通过将 2D 草绘截面沿与草绘平面垂直的方向平移一定距离而生成的 3D 几何称为拉伸几何或拉伸。拉伸可以添加或移除材料，最终生成的拉伸几何可以是实体或曲面，如图 2-1 所示。按住 <Ctrl> 键可以同时选择多个草绘区域以用于拉伸。



图 2-1

### 【操作步骤】

1) 创建或打开至少具有一个草绘截面的零件。

2) 单击“拉伸”按钮.

3) 选择具有草绘线和实体边的封闭草绘区域，出现“选项”工具栏和线性拖动器，系统将自动创建拉伸实体。

4) 拖拉线性拖动器来调整拉伸的深度和方向，或者双击深度值并输入新值。

拉伸参数如下所示（图 2-2）。

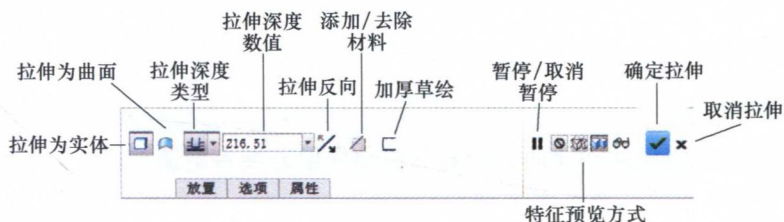


图 2-2





——创建实体拉伸。


——创建曲面拉伸。


——自草绘平面以指定深度值拉伸截面。


下拉列表框——设置“侧1”的深度值。


——在各个方向上，以指定深度值的一半拉伸草绘平面每一侧的截面。

——将截面从放置参考拉伸至其到达的第一个曲面。此选项在“装配”模式下不可用。


——将截面从放置参考拉伸至其到达的最后一个曲面。

——将截面拉伸，使其与选定曲面相交。此选项在“装配”模式下不可用。

——将截面拉伸至一个选定点、曲线、平面或曲面。

——将拉伸深度方向反向至草绘的另一侧；反向移除功能，从草绘的相对侧移除材料；将加厚方向切换到草绘的一侧、另一侧或两侧。

——沿拉伸移除材料，以便为实体特征创建切口或为曲面特征创建面组修剪。

——为草绘添加厚度以创建薄实体、薄实体切口或进行薄曲面修剪。激活“加厚”按钮后，弹出可用于设置厚度值的下拉列表框。

## 2. 旋转

通过绕中心线旋转草绘的截面来创建特征。旋转几何可以是实体，也可以是曲面，如图 2-3 所示。旋转可以添加或移除材料。



旋转为实体







旋转为曲面



旋转为薄板

图 2-3

## 【操作步骤】

- 1) 创建或打开带有线性图元的草绘。
- 2) 单击“旋转”（Revolve）按钮.
- 3) 选择要进行旋转的草绘截面，出现“选项”工具栏。
- 4) 单击按钮并在草绘平面上选择一个线性参考来用作旋转轴，出现角度拖动器。
- 5) 单击或按钮。
- 6) 旋转拖动器以创建旋转曲面，或者双击角度值并输入新值。

## 三、扫描和抽壳

### 1. 扫描

将二维截面沿着指定的轨迹线扫描生成三维实体特征。使用扫描建立增料或减料特征