

# 3D 打印

蜀地一书生  
著

## 从技术到 商业实现



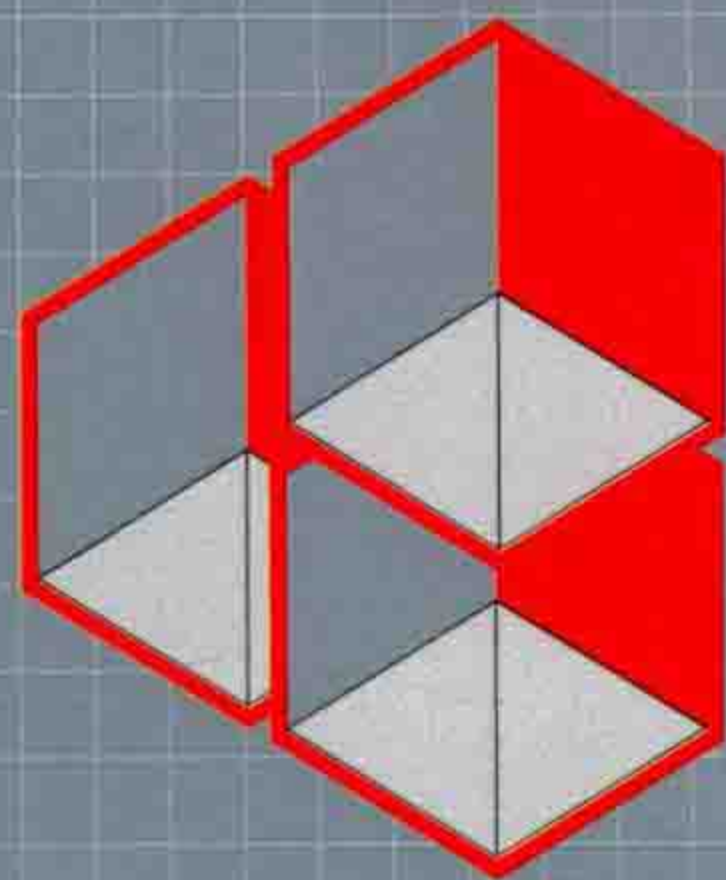
3D Printing



From  
Technology



to  
Business



化学工业出版社



蜀地一书生 著



# 3D 打印

## 从技术到 商业实现

3D Printing

From  
Technology  
to  
Business



化学工业出版社

· 北京 ·

这是一本人人都能看懂的3D打印的书，采用大话的形式，深入浅出地介绍了增材制造的概念、主流3D打印技术、3D打印的商业应用、3D打印的内容设计方法、3D打印机的硬件、各种3D打印的材料及应用领域、3D打印行业主要厂商，最后还介绍了3D打印对我国工业4.0的重大影响，内容包含了3D打印的方方面面，帮助读者全面了解3D打印。

如果你对3D打印有兴趣，这本书就适合你阅读。

### 图书在版编目(CIP)数据

3D打印：从技术到商业实现 / 蜀地一书生著. —北京：  
化学工业出版社，2017.7  
ISBN 978-7-122-29694-8

I. ①3… II. ①蜀… III. ①立体印刷-印刷术-普及  
读物 IV. ①TS853-49

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第108689号

---

责任编辑：宋 辉  
责任校对：王 静

装帧设计：王晓宇

---

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 装：北京方嘉彩色印刷有限责任公司  
710mm×1000mm 1/16 印张13 字数179千字 2017年8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：58.00元

版权所有 违者必究



3D打印从2013年进入大众视野，各种媒体的宣传不断涌现，许多报道反而让3D打印蒙上了一层更加神秘的面纱。要么被神化成造物神器，要么被贬低为华而不实，这对3D打印技术的发展反而造成了伤害。

因此，写一本“让人人都能看懂3D打印的书”是笔者的初衷。高新技术更需要幽默文笔，简单描述才能更加普及。本书并非学术著作，当成通俗小说来看，看完乐一乐，同时了解3D打印，若能如此，则不负笔者初心。

本书的内容涵盖范围较广：从3D打印技术的起源讲起，剖析了增材制造技术对制造业带来的变革，系统介绍了主流的3D打印技术（包括热门的金属3D打印技术），然后结合具体案例分析3D打印在各行各业的应用前景以及商业机会，并通过拆机的方式让大家对3D打印机这样的“神器”有一个形象直观的认识。

书中用较大篇幅介绍了3D打印的两个核心问题：3D内容和打印材料，这两个问题是3D打印发展的主要瓶颈。在3D内容领域，笔者结合自己多年的工作经历总结了主要的内容创建途径，并探讨了解决3D内容问题的思路和方法。在3D打印材料领域，笔者客观陈述了材料发展的现状，让更多人走出3D打印材料太少、太单一的认识误区，增强对3D打印技术的信心。这两章图文并茂、视角独特、观点新颖，是本书的重点。

3D打印源自制造业，也必将回归制造业，制造业是立国之本、兴国之器、强国之基。笔者最后分析了3D打印跟工业4.0的关系，增材制造和智能制造的关系，让读者对3D打印的未来充满期待。

后记是一篇有趣的文章，就让小明同学代表我们，体验一下未来时代3D打印、虚拟现实、智能制造的生活场景吧！

感谢化学工业出版社能够出版此书，让更多读者了解这项技术并参与



其中。需要说明的是，书中观点仅为书生一家之言，欢迎有不同见解的读者一起讨论交流。

本书编写得到了罗成超、王芳芳、李彩霞、廖益、张华舸的帮助，在此表示感谢。

更感谢广大读者，你们，一直是书生坚持科普的原动力。

欢迎关注书生微信：qiushuiyinma



蜀地一书生



1	第1章 3D打印，从糖画说起
5	第2章 增材制造，为改变制造业而生
6	2.1 瓶颈一：传统制造方法的材料浪费
8	2.2 瓶颈二：传统制造很难实现个性化定制
14	2.3 瓶颈三：传统制造对创新和创意的限制
22	第3章 主流3D打印技术简介
23	3.1 熔融沉积快速成型技术（FDM）
25	3.2 光固化成型技术（SLA）
27	3.3 三维粉末粘接技术（3DP）
29	3.4 选择性激光烧结技术（SLS）
31	3.5 选择性激光熔融技术（SLM）
33	3.6 激光近净成形技术（LENS）
34	3.7 聚合物喷射技术（PolyJet）
35	3.8 多射流熔融技术（MJF）
37	3.9 连续液体界面生产技术（CLIP）



**40** ————— **第4章 曙光在前，应用决定成败**

42 ————— 4.1 传统方法无法或者很难制造的产品

46 ————— 4.2 产品原型样件制造

49 ————— 4.3 个性化定制的产品

57 ————— 4.4 对成本不敏感的行业

64 ————— 4.5 跳出制造业

**70** ————— **第5章 3D打印，内容先行**

71 ————— 5.1 设计和创造

83 ————— 5.2 拷贝和复制

95 ————— 5.3 利用公共资源

101 ————— 5.4 3D内容的知识产权问题

**103** ————— **第6章 神器不神奇，拆机看3D打印**

105 ————— 6.1 桌面级3D打印机

114 ————— 6.2 光固化3D打印机



117 ————— 6.3 工业级 3D 打印机

124 ————— 6.4 增减材混合机床

125 ————— 6.5 其他 3D 打印机

## **130 ————— 第7章 有料没料，关键看材料**

132 ————— 7.1 工程塑料

136 ————— 7.2 生物塑料

139 ————— 7.3 热固性塑料

140 ————— 7.4 光敏树脂

142 ————— 7.5 金属材料

148 ————— 7.6 其他材料

## **154 ————— 第8章 3D 打印江湖，谁为武林盟主**

155 ————— 8.1 3D 打印硬件

175 ————— 8.2 3D 打印技术服务

179 ————— 8.3 3D 打印软件



183 ————— 第9章 3D打印与工业4.0

192 ————— 后记 小明同学在2045年的一天

200 ————— 参考文献



# 第 1 章

## 3D 打印，从糖画说起

3D printing: 3D 打印：从技术到商业实现  
from technology to business



十几年之前，那时候书生还在CAD（计算机辅助设计）行业做技术支持，去海南参加一个国外厂商组织的行业会议，会间休息时看见展台旁边摆了一台正方形的机器，不停地如蜘蛛吐丝般地往外吐材料，大约半小时之后一位同事拿了个黑不溜秋看似塑料材质的活动扳手过来，说这就是那台机器打印出来的，不用组装就能活动调节卡口的大小。于是拿过来把玩了一下，虽然表面不太光滑，但的确可以活动，心想这个还有点意思。



图 1-1 3D 打印的活动扳手

当时打印出来的东东大概就是这个样子（图 1-1）。

虽然十几年前就接触了3D打印，但当时也仅仅是觉得有点意思而已。不仅是我，我们这些制造业数字化信息化领域的从业者，也没有几个人对这个技术有太大的兴趣。

那时候国内连3D设计都刚起步不久，我们这群人天南海北到处推销三维CAD软件，大多数客户连3D的基本概念都没有，作为技术支持的我们虽然名片上印的头衔都是技术经理咨询顾问，其实主要工作就是扫盲。

那时候国内连3D设计都刚起步不久，

直到有一天，具体来说就是2013年2月13日，美国总统奥巴马发表了新任期内的首份国情咨文，在这份国情咨文里奥巴马绘制了一份完整的经济蓝图，其中有两个新变化：一是鼓励产业回归，二是重视3D打印技术（图 1-2）。

3D打印技术就这样走入全球民众的视野，让这项有些古老的技术重新焕发青春，彻底咸鱼翻身。这项技术长远来说可能会拯救制造业，但当时就拯救了美国3D Systems、Stratasys这些岌岌可危的上市公司，以及大洋彼岸在苦苦支撑濒临倒闭的中国3D打印企业。一夜之间，凡是跟3D打印沾点边的公司股价无一例外全部暴涨，幸福来得猝不及防。最搞笑的是连机床制造这种跟3D打印是竞争关系的行业都大涨了好几天！这一次不仅做到了鸡犬升天，而且实现了雨露均沾。



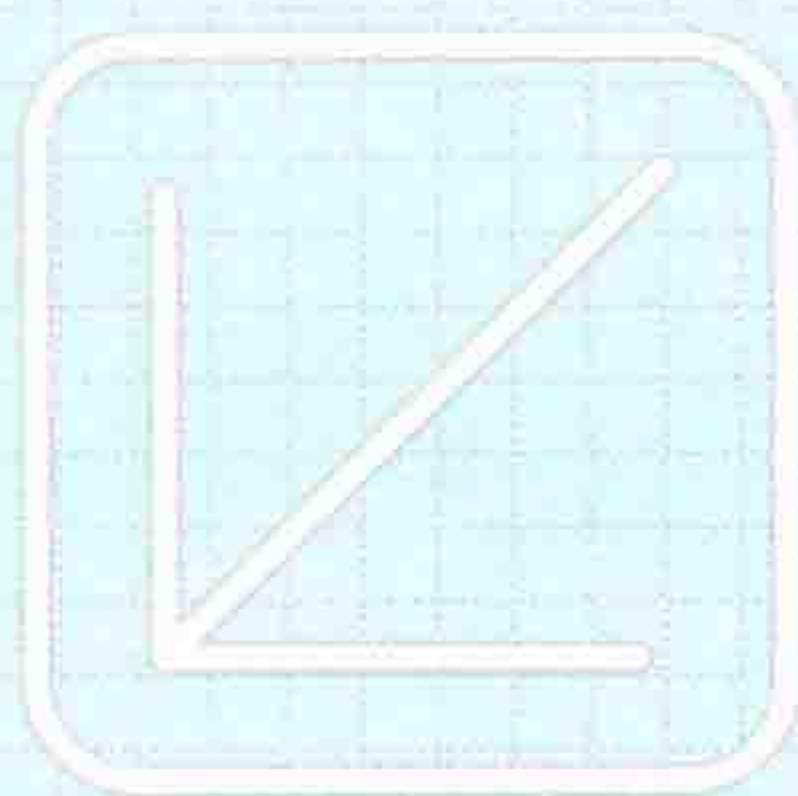
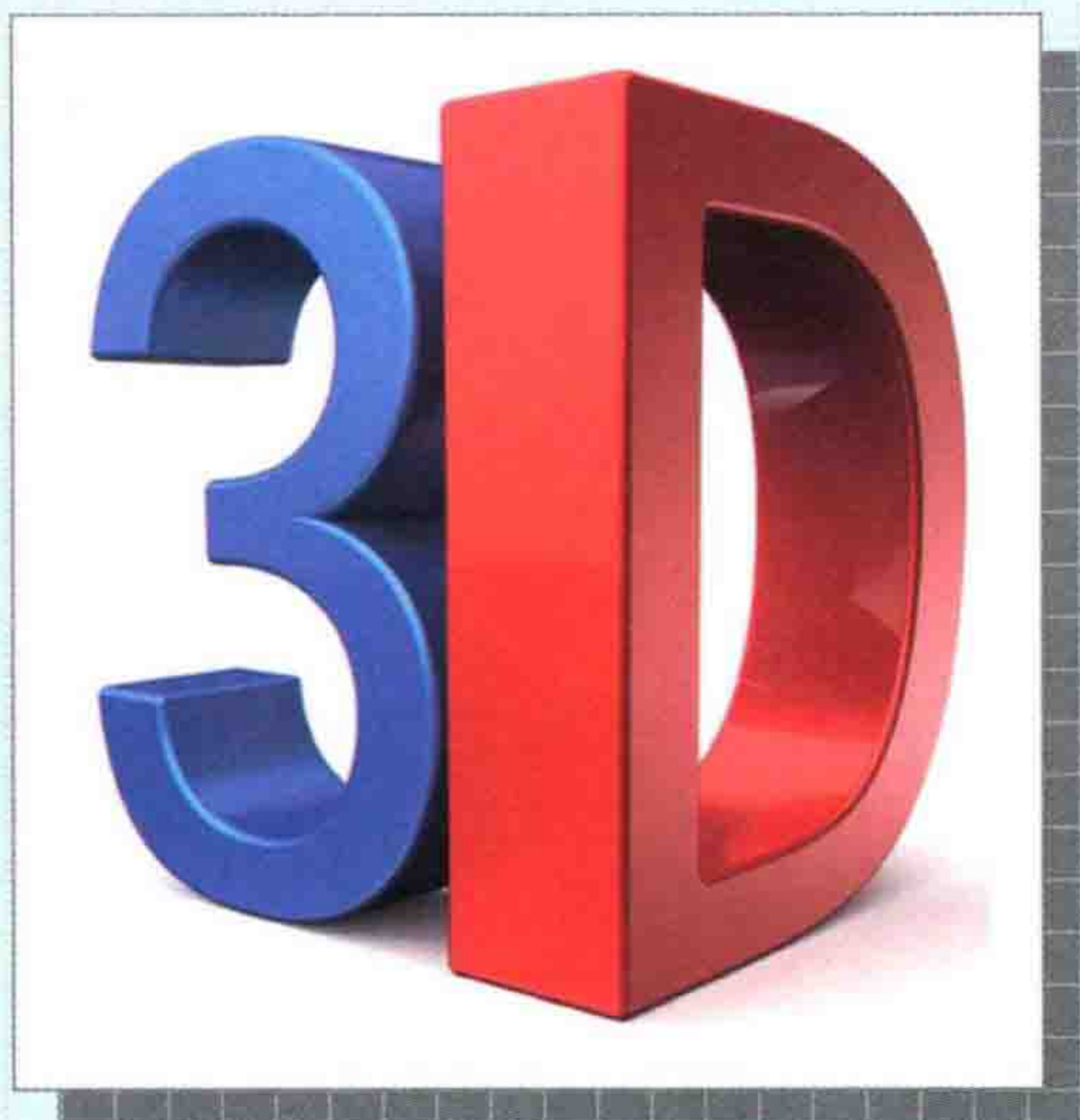


图 1-2 3D 打印



所以推动产业发展的最大力量是政府，无数人衷心感谢“洋雷锋”奥巴马同志！

之所以说 3D 打印技术是一项有些古老的技术，是因为它起步于 20 世纪 70 年代末，已经有 30 几年的发展历史了，以下是一些重要的里程碑：

- 1979 年，美国科学家 RF Housholder 获得类似“快速成型”技术的专利，但没有被商业化。
- 1986 年，美国人查尔斯·赫尔（Charles Hull）创办了世界上第一家 3D 打印技术公司 3D Systems。
- 1988 年，美国人斯科特·克伦普（Scott Crump）发明了 FDM（熔融沉积成型）技术，并于 1989 年成立了 3D 打印公司 Stratasys。
- 1993 年，麻省理工学院获 3D 印刷技术（3DP）专利。
- 1995 年，美国 ZCorp 公司从麻省理工学院获得 3DP 专利的唯一授权并开始开发 3D 打印机。
- 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。

后面的事大家基本都知道，书生就不在这里赘述了。反正 2005 年以后 3D 打印技术快速发展，成功实现大规模商业化，2013 年在美国政府



的热捧之下成为科技界万众瞩目的网红，就是这么个过程。

3D 打印的理论和技术的起源自美国，这没有异议。但要说普及和应用，我们中国绝对是最早开始的，如图 1-3 所示。

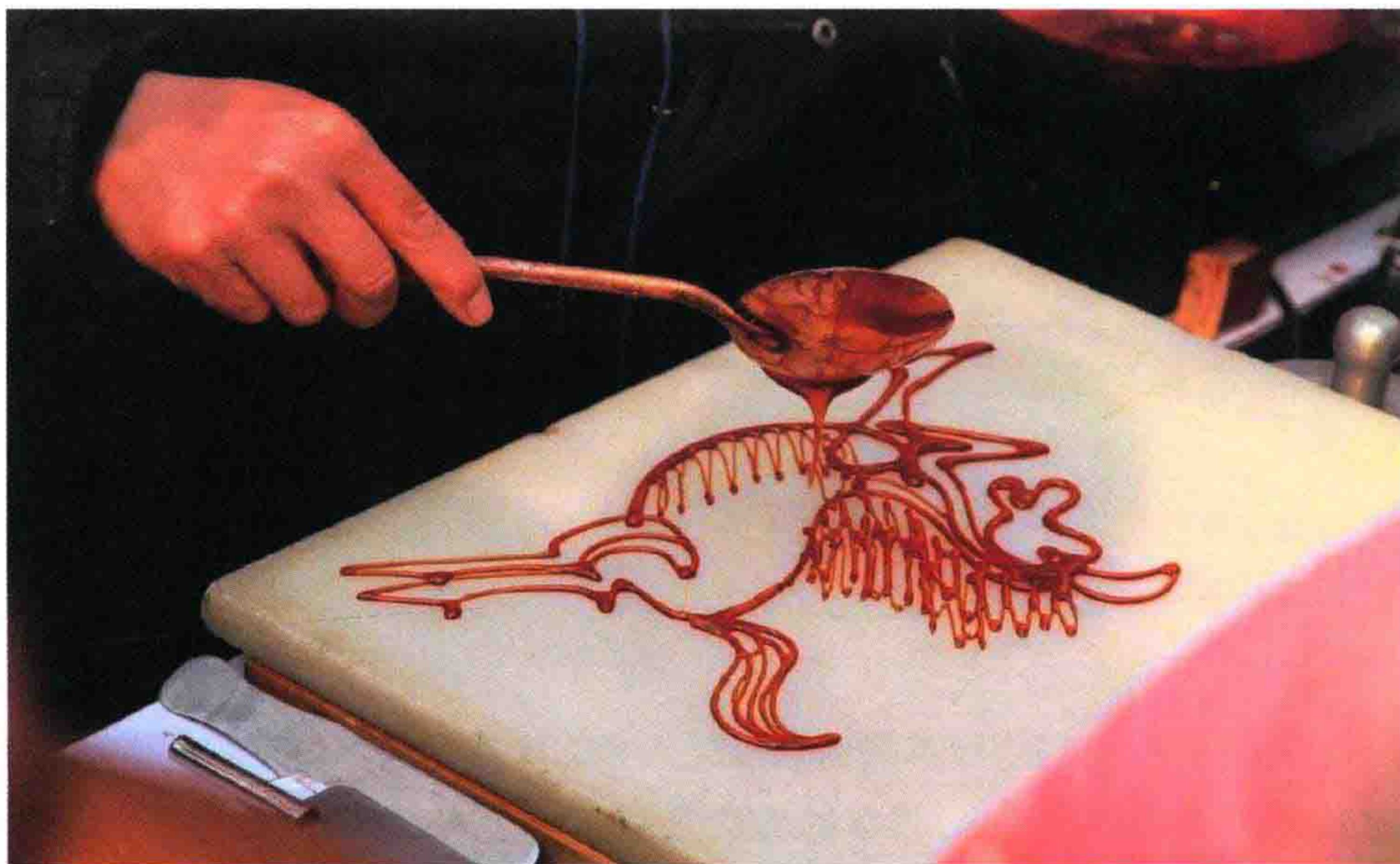


图 1-3 中国的糖画

这张图相信每位 60 后 70 后甚至 80 后的记忆里都有，这看起来跟 3D 打印这种高大上的技术没有任何相关性，但其本质是一样的，都是增材制造——通过材料堆积形成物体。

回顾一下做糖画的过程：融化的糖汁用小勺舀起，然后在平板上绘制图案，层层堆积形成一个个有厚度的造型：龙、凤、鱼、猴等各种飞禽走兽，一气呵成且不浪费一滴糖汁！这就是典型的 3D 打印过程。

再往前追溯，在中国传统神话故事《神笔马良》里，穷苦孩子马良拥有一支所画即所得的神笔：“他用笔画了一只鸟，鸟扑扑翅膀，飞到天上去，对他叽叽喳喳地唱起歌来。他用笔画了一条鱼，鱼弯弯尾巴，游进水里去，对他一摇一摆地跳起舞来”。“神笔马良”的部分描述，很符合 3D 打印技术创造万物的特性，也描绘了 3D 打印技术发展的无限可能。



## 第2章

# 增材制造，为改变制造业而生



3D printing: 3D 打印：从技术到商业实现  
from technology to business



其实“增材制造”才是3D打印的真名，“3D打印”这个词是为了方便大众理解这项技术而创造的别名。

增材制造（Additive Manufacturing）技术是采用材料逐渐累加的方法制造产品的技术。相对于传统的去除材料、切削加工的技术，是一种创新的产品制造技术。增材制造不需要传统的刀具、夹具以及多道加工工序，可快速精密地制造出任意复杂形状的物体，从而实现了“自由制造”，解决了许多复杂结构物体的成形难题，减少了加工工序，缩短了加工周期。而且产品结构越复杂，其制造优势就越显著。

不得不说“3D打印”这个别名取得非常通俗易懂，一下子就让人记住的同时自然而然产生联想：打印是平面的，3D打印自然就是立体的啰。

虽然3D打印技术现在衍生出了各种各样的应用方向，如制造、创意、医疗、生物、艺术、建筑等等，似乎包罗万象无所不能，然而这项技术诞生之初，其目的毫无疑问是要解决传统制造技术的瓶颈问题。

那么问题就来了：传统制造技术有哪些瓶颈呢？作为一名理工男，也做过近10年的工程师，书生虽不敢妄称专家，但还是可以从几个方面谈一些自己的理解和体会。

## 2.1 瓶颈一：传统制造方法的材料浪费

既然3D打印叫“增材制造”，那么传统的制造方法可以对应叫做“减材制造”，即通过去除材料的方法进行制造。为方便大家理解，我拿最常见的螺栓举个例子：

见图2-1，以这颗螺栓为例，通过去除材料的方式将毛坯加工成成品，材料浪费大约在15%~20%，这意味着有五分之一左右的材料变成了铁屑，这对制造企业而言是很大的成本。要知道中国制造业平均的利润率不到5%，如果能节省这部分材料，利润率肯定会有所



图2-1 螺栓的毛坯和成品



提高。

再举一个极端的例子：钛合金大型整体构件（图 2-2）是飞机的重要组成部分，采用传统方法制造这样的产品是做“减法”：首先要制作大型锻造模具，然后用压力达几万吨的水压机进行毛坯锻造，最后对毛坯进行大量切削加工，猜一下要切除掉多少材料才能得到成品吗？90%！90%的材料都要被切削浪费掉。



图 2-2 钛合金大型整体构件

这可是钛合金啊！如果说普通的钢铁浪费一点还能承受，钛合金这种贵重金属如此浪费，即使是飞机这种对成本不敏感的产品，也一样会觉得肉疼。可能有人会说这些铁屑之类的材料不是可以回收利用的吗，怎么会浪费呢？实际上很多企业也在试图回收这些材料，但是回收的成本太高，经济上不可行，大多还是低价处理掉或者当垃圾扔掉。

雷军 2014 年在小米手机发布会上有一段“一款钢板的艺术之旅”的主题演讲，完整演示了一块钢板变成手机壳的减材制造过程（图 2-3），能把最简单的加工制造说得这么清新脱俗，不得不佩服小米的品牌包装能力。感兴趣的可以自己上网找视频看看。





图 2-3 手机壳的减材制造工序

理想状态的制造应该是没有材料浪费的制造，这就是增材制造（3D 打印）的终极目标。增材制造采用材料逐渐累加的方法制造产品，需要多少材料就使用多少材料，增之一分则太长，减之一分则太短。

## 2.2 瓶颈二：传统制造很难实现个性化定制

除了材料浪费之外，传统制造方式的每一个步骤都会产生成本，通过批量生产和大规模制造，这些成本被分摊到可以接受的范围之内，形成了价廉物美的产品。因此大批量制造是传统制造业成功的关键。

正如硬币的正反面，这也恰恰是其短板和瓶颈。

看惯了千篇一律的产品，很多人越来越喜欢个性化的产品，从汽车到手机，从房屋到珠宝，个性化消费的趋势越来越明显，与众不同已成为这个时代的标签。

消费的趋势要求制造业必须响应个性化的需求，制造业也不断在往这个方向进化，柔性生产、工业 4.0、智能制造等概念层出不穷，但传统的