



3D打印技术与 产品设计

石敏 张志贤 编著

东南大学出版社

3D打印技术与产品设计

石 敏 张志贤 编著



东南大学出版社
SOUTHEAST UNIVERSITY PRESS

· 南京 ·

内 容 提 要

本书从3D打印技术与工业设计对接的技术层面进行剖析,分三个目标来实现教学任务:第一,了解3D打印技术的基本知识,分析3D打印前的产品机构,达到对产品设计中机构原理的理解,在3D打印技术下进行拆件建模分析。第二,分析明了3D打印成型的技术过程和技术运用。第三,学会打印成型后的安装和体感评估。通过实现上述三个目标来达到3D打印技术在工业设计中运用结果的呈现。本书图文并茂,内容丰富,专业性较强。

该书可作为艺术院校与综合性大学艺术院系本科生、专科生的专业用书,也可作为高校教师、设计研究人员以及广大设计界人士的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

3D打印技术与产品设计 / 石敏, 张志贤编著. — 南京: 东南大学出版社, 2017.7
ISBN 978-7-5641-7342-5

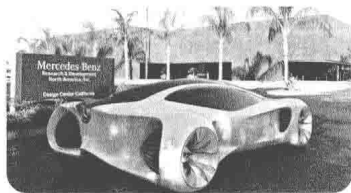
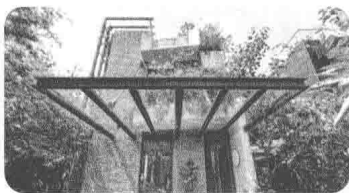
I. ①3… II. ①石… ②张… III. ①立体印刷 - 印刷术 - 教材 IV. ①TS853

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第178584号

3D 打印技术与产品设计

出版发行 东南大学出版社
出 版 人 江建中
社 址 南京市四牌楼2号
邮 编 210096

经 销 全国各地新华书店
印 刷 江苏凤凰数码印务有限公司
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 9.25
字 数 190千字
版 次 2017年7月第1版
印 次 2017年7月第1次印刷
书 号 ISBN 978-7-5641-7342-5
定 价 38.00元

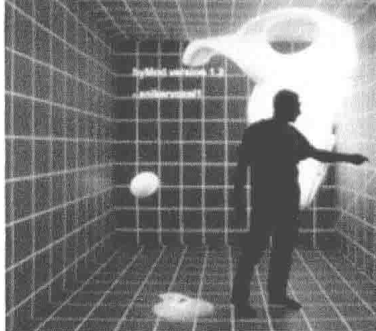


Preface

序

《第三次工业革命》的作者杰里米·里夫金在《经济学人》刊文表示,以 3D 打印技术为代表的数字化制造技术,是引发第三次工业革命的关键因素。3D 打印行业从技术本身的角度来看,工艺技术、研发投入、人才基础、产业形态、材料等领域都是产品设计研究的主体,可以带来明显的科技创新优势。今天,国际产业分工格局正在重塑,制造业是国民经济的主体,也是科技创新的主战场,制造业再次迎来了历史性的机遇和挑战。

传统的工业产品开发,往往是先做手板,通过论证后,再开模具。现在 3D 打印技术,可以直接实现虚拟现实的效果,可以把产品的研发时间减少、费用降低,对分析成本起着良好的作用。比如一些好的理念的设计产品,无论其结构和工艺多么复杂,均可通过数字化建模后,利用 3D 打印技术,短时间内打印出来,分析其结构和体感,便可极大地促进产品的创新设计。以此为目的编写此教材,结合韩国产品研发公司的经验,分析国内教学情况,在国内 3D 打印机开发公司的帮助下,把 3D 打印技术与产品设计流程中的工序相结合,用于 3D 打印技术与产品设计课程中。本教材设定为 32 课时完成教学进程。



3D 打印技术在产品设计课程教学过程中主要应达到以下三个目标:

1. 构建数字化教学模式

构建数字化教学模式是在 3D 打印的基础上提出的一种新型教学模式。其指在教育中集成快速成型和数字制造技术,教师和学生通过这些对象文件,直接使用 3D 打印系统创建物理原型,通过 3D 打印的实体模型,展开多层次、多角度的教与学活动。

2. 建立产品模型制作的方式和运用理念

3D 打印技术在运作理念方面对产品设计专业的教师和学生提出了新的要求,分析产品机构,快速打印模型,进行体感试验,从而达到人们对产品的人性化需求。

3. 推动 STEM (STEM 是科学、技术、工程、数学四门学科英文首字母的缩写) 教育

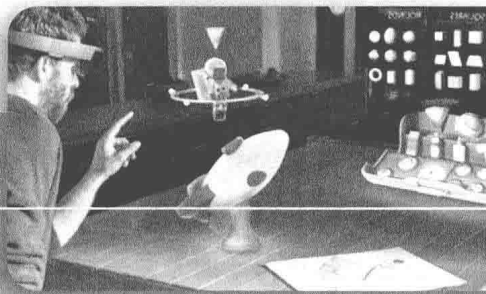
知识经济时代的教育目标之一是培养具有 STEM 素养的人才,把 3D 打印技术引入教育领域,便可培养学生的科技素养和数字化素养,提升学生的设计能力和解决问题能力。

随着企业产品开发的需求,我们积极地将 3D 打印技术引入设计教学和课程中,逐步加强 3D 打印技术在产品设计应用上的引导,使得 3D 打印技术在产品设计的“教与学”中起到积极的促进作用。

目录

Contents

第一章 3D 打印技术概述及其现状	1
第一节 3D 打印技术概述	1
第二节 3D 打印技术现状	7
第二章 3D 打印中产品的机构分析	16
第一节 产品外观结构设计的内在联系	16
第二节 产品的拆解与装配	27
第三节 快速成型技术	47
第四节 三维模型的工艺制造	51
第五节 快速制模技术	54
第三章 3D 打印过程及 3D 打印机维修方法	57
第一节 打印过程	57
第二节 3D 打印机维修方法	73
第三节 3D 打印机的常见问题	83
第四章 3D 打印产品的体感研究	96
第一节 人机交互	96
第二节 用户体验	111
第五章 3D 打印的未来运用与展望	126
第一节 3D 打印在现实中的运用	126
第二节 3D 打印的发展趋势	133
附录	140
后记	142



第一章

3D 打印技术概述及其现状

近几年随着科学技术的发展,3D 打印已经在产品设计中起到了不可缺失的作用。它是虚拟现实的最直接的呈现,把产品的未来像变为现实的手段,给予设计师在感性上的体验与研究。

如果从历史的角度回顾 3D 打印的发展历程,则最早可以追溯到 19 世纪末,由于受到两次工业革命的刺激,18 至 19 世纪欧美国家的商品经济得到了飞速的发展,产品生产技术的革新便成为一个永恒的话题,为了满足科研探索和产品设计的需要,快速成型技术从这一时期已经开始萌芽,如 Willeme 光刻实验室也在这个阶段开展了商业的探索,可惜受到技术限制没能获得很大的成功。

快速成型技术在商业上获得真正意义的发展是从 20 世纪 80 年代末开始的,在此期间也涌现过几波 3D 打印的技术浪潮,但总体上看 3D 打印技术仍保持着稳健的发展。2007 年开源的桌面级 3D 打印设备发布,此后新一轮的 3D 打印浪潮开始酝酿。2012 年 4 月,英国著名的经济学杂志《经济学人》上一篇关于第三次工业革命的封面文章全面掀起了新一轮的 3D 打印浪潮。

第一节 3D 打印技术概述

随着各种新型 3D 打印技术的出现,“Three Dimension Printing”一词已无法充分表达出各种成型系统、成型材料及成型工艺等所包含的内容。因此,关于什么是“Three Dimension Printing”,目前有多种定义。

Terry Wohlers 和美国制造工程师协会(SME)对 3D 打印技术进行如下定义:3D 打印系统依据三维 CAD 模型数据、CT 与 MRI 扫描数据以及由三维实物数字化系统创建的数据,把所得数据分成一系列二维平面,又按相同序列沉积或固化出物理实体。颜永年等对 3D 打印的描述为:3D 打印技术是基于离散、堆积成形原理的新型数字化成形



技术,是在计算机的控制下,根据零件的 CAD 模型,通过材料的精确堆积,制造原形或零件。3D 打印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黏合材料,通过逐层打印的方式来构造物体的技术。

因此,该词已变得较为模糊和不明确,于是,有些文献用其他词语来表示其原来的含义,如: Free Form Fabrication, Solid Freeform Fabrication, Automated Fabrication, Solid Imaging, Additive Manufacturing, Layered Manufacturing, Direct CAD Manufacturing, Material Increase Manufacturing, Instant Manufacturing 等,但都因未得到像 3D 打印这样被广泛认可的程度而较少被人采用。

本书对该词分别从广义角度及狭义角度作如下定义。针对工程领域而言,其广义上的定义为:通过概念性的具备基本功能的模型快速表达出设计者意图的工程方法;针对制造技术而言,其狭义上的定义为:一种根据 CAD 信息数据把成型材料层层叠加而制造零件的工艺过程。

一、3D 打印的成型原理

分层制造三维物体的思想雏形,可追溯到 4000 年前,中国出土的漆器用黏结剂把丝、麻黏结起来铺敷在底胎(类似 3D 打印的基板)上,待漆干后挖去底胎成型。国际上也发现古埃及人在公元前就已将木材切成板后重新铺叠制成像现代胶合板似的叠合材料。

1892 年,Blanthier 主张用分层方法制作三维地图模型。1979 年东京大学的中川威雄教授,利用分层技术制造了金属冲裁模、成形模和注塑模。20 世纪 70 年代末到 80 年代初,美国 3M 公司的 Alan J. Hebert (1978 年)、日本的小玉秀男(1980 年)、美国 UVP 公司的 Charles (1982 年)和日本的丸谷洋二(1983 年),各自独立地首次提出了 3D 打印的概念,即利用连续层的选区固化制作三维实体的新思想。Charles 在 UVP 的资助下,完成了第一个 3D 打印系统——Stereo Lithography Apparatus (SLA),并于 1986 年该系统获得专利,这是 3D 打印发展的一个里程碑。随后许多 3D 打印的概念、技术及相应的成型机也相继出现。

3D 打印技术经过 20 年左右的发展,其工艺已经逐步完善,发展了许多成熟的加工工艺及成型系统。其具体成型过程是:首先用 CAD 软件设计出零件的 CAD 模型,然后根据具体工艺要求,将其按一定厚度分层,即将其离散为一系列二维层面,将这些离散信息同加工参数相结合,驱动成型机顺序加工各单元层面并彼此黏合,从而得到与 CAD 模型对应的三维实体,即物理模型或原型,原型再经过打磨等处理后即成零件。



3D 打印各成型工艺都是基于离散—叠加原理而实现快速加工原型或零件的。首先建立三维 CAD (Computer Aided Design, 计算机辅助设计) 模型, 然后对其切片分层 (一般为 Z 向), 得到许多离散的平面, 再把这些平面的数据信息传给成型系统的工作部件, 控制成型材料有规律地、精确地、迅速地层层堆积起来而形成三维的原型, 后经处理便成零件。从成型的角度, 零件可视为一个空间实体, 它是点、线、面的集合。3D 打印的成型过程是体一面一线的离散与点一线一面的叠加的过程, 即三维 CAD 模型—二维平面 (实体)—三维原型的过程。

二、3D 打印的特点

3D 打印技术较之传统的诸多加工方法展示了以下的优越性:

- ① 可以制成几何形状任意复杂的零件, 而不受传统机械加工方法中刀具无法达到某些型面的限制。
- ② 曲面制造过程中, CAD 数据的转化 (分层) 可百分之百地全自动完成, 而不是依靠数控切削加工中需要高级工程人员数天复杂的人工辅助劳动才能转化为完全的工艺数控代码。
- ③ 不需要传统的刀具或工装等生产准备工作, 任意复杂零件的加工只需在一台设备上完成, 因而降低了新产品的开发成本, 大大缩短了开发周期, 其加工效率亦远胜于数控加工。
- ④ 属于非接触式加工, 没有刀具、夹具的磨损和切削力所产生的影响。
- ⑤ 加工过程中无振动、噪声和切削废料。
- ⑥ 设备购置投资低于数控机床。

三、3D 打印的成型工艺

总的来说, 物体成型的方式主要有以下四类: 减材成型、受压成型、增材成型、生长成型。① 减材成型: 运用分离技术把多余部分的材料有序地从基体上剔除出去, 如传统的车、铣、磨、钻、刨、电火花和激光切割都属于减材成型。② 受压成型: 利用材料的可塑性在特定的外力下成型, 传统的锻压、铸造、粉末冶金等技术都属于受压成型。受压成型多用于毛坯阶段的模型制作, 但也有直接用于工件成型的例子, 如精密铸造、精密锻造等成型均属于受压成型。③ 增材成型: 其又称堆积成型, 主要利用机械、物理、化学等方法通过有序地添加材料而堆积成型的方法。④ 生长成型: 指利用材料的活性进行成型的方法, 自然界中的生物个体发育属于生长成型。随着仿生学、生物化学和生命科学的发展,



生长成型技术将得到长足的发展。

3D 打印技术从狭义上来说主要是指增材成型技术。从成型工艺上看, 3D 打印技术突破了传统成型方法, 通过快速自动成型系统与计算机数据模型结合, 无需任何附加的传统模具制造和机械加工就能够制造出各种形状复杂的原型, 这使得产品的设计生产周期大大缩短, 生产成本大幅下降。

这里按成型方法对 3D 打印工艺分类, 可分为两大类: 基于激光或其他光源的成型技术, 如立体光造型 (Stereo Lithography, SL, 从该技术成型过程角度而言, 应称之为光固化成型)、叠层实体制造 (Laminated Object Manufacturing, LOM)、选择性激光烧结 (Selected Laser Sintering, SLS)、形状沉积制造 (Shape Deposition Manufacturing, SDM) 等; 基于喷射的成型技术, 如熔融沉积制造 (Fused Deposition Modeling, FDM)、三维印刷成型 (Three Dimensional Printing, 3DP) 等。

1. 光固化成型

1987 年, 美国 3D Systems 公司推出了名为 Stereo Lithography Apparatus (SLA) 的快速成型装置, 中文直译为立体印刷装置, 有人称之为激光立体造型、激光立体光刻、光造型等。因为目前 SL 中的光源不再是单一的激光器, 还有其他新的光源, 如紫外灯等, 但是各种 SL 使用的成型材料均是对某特种光束敏感的树脂, 因此, 以下称 SL 工艺为光固化成型。光固化成型具有的加工方式有自由液面式和约束液面式。

(1) 自由液面式。

自由液面式 SL 的成型过程是, 液槽中盛满液态光固化树脂 (即光敏树脂), 一定波长的激光光束按计算机的控制指令在液面上有选择地逐点扫描固化 (或整层固化), 每层扫描固化后的树脂便形成一个二维图形。一层扫描结束后, 升降台下降一层厚度, 然后进行第二层扫描, 同时新固化的一层牢固地黏在前一层上, 如此重复直至整个成型过程结束。

(2) 约束液面式。

约束液面式与自由液面式的方法正好相反, 光从下面往上照射, 成型件倒置于基板上, 即最先成型的层片位于最上方, 每层加工完之后, Z 轴向上移动一层距离, 液态树脂充盈于刚加工的层片与底板之间, 光继续从下方照射, 最后完成加工过程。

2. 叠层实体制造

1984 年, Michael Feygin 提出了叠层实体制造 (Laminated Object Manufacturing, LOM) 方法, 并于 1985 年组建 Helisys 公司, 1992 年推出第一台商业机型 LOM-I015。

叠层实体制造其成型过程是, 根据 CAD 模型各层切片的平面几何信息驱动激光头,



对底部涂覆有热敏胶的纤维纸(厚度 $0.1 \sim 0.2 \text{ mm}$) 进行分层实体切割。随后工作台下降一层高度,送进机构又将新的一层材料铺上并用热压辊碾压使其紧黏在已经成型的基体上,激光头再次进行切割运动切出第二层平面轮廓,如此重复直至整个三维零件制作完成。其原型件的强度相当于优质木材的强度。

3. 选择性激光烧结

1986 年,美国 Texas 大学的研究生 Deckard 提出了选择性激光烧结 (Selected Laser Sintering, SLS) 的思想,并于 1989 年获得第一个 SCS 技术专利,之后组建了 DTM 公司,于 1992 年推出 Sinters Talion 2000 系列 SLS 成型机。

选择性激光烧结的成型过程是,由 CAD 模型各层切片的平面几何信息生成 X-Y 激光扫描器在每层粉末上的数控运动指令,铺粉器将粉末一层一层地撒在工作台上,再用滚筒将粉末滚平、压实,每层粉末的厚度均对应于 CAD 模型的切片厚度。各层铺粉被二氧化碳激光器选择性烧结到基体上,而未被激光扫描、烧结的粉末仍留在原处起支撑作用,直至烧结出整个零件。

4. 熔融沉积制造

Scott Crump 在 1988 年提出了熔融沉积制造 (Fused Deposition Modeling, FDM) 的思想,1991 年开发了第一台商业机型。熔融沉积制造是一种制作速度较快的快速成型工艺。FDM 的成型材料可用铸造石蜡、尼龙(聚酯塑料)、ABS 塑料,可实现塑料零件无注塑成型制造。

FDM 工艺的成型过程是,直接由计算机控制的喷头挤出熔融状态的热塑材料沉积成原型的每一薄层。整个模型从基座开始,由下而上逐层生成。

FDM 工艺的关键是保持半流动成型材料刚好在凝固温度点上,通常控制在比凝固温度高几摄氏度,以保证半流动熔丝材料从 FDM 喷嘴中挤压出来,很快凝固,形成精确的薄层。每层厚度一般为 $0.127 \sim 0.25 \text{ mm}$,层层叠加,最后形成原型。

5. 三维印刷成型

三维印刷 (Three Dimension Printing, 3DP) 成型工艺是麻省理工学院 (MIT) Emanuel Sachs 等人研制的,后被美国的 Soligen 公司以 DSPC (Direct Shell Production Casting) 名义商品化,用以制造铸造用的陶瓷壳体和芯子。3DP 工艺与 SLS 工艺类似,采用粉末材料成型,如陶瓷粉末、金属粉末。所不同的是材料粉末不是通过烧结连接起来的,而是通过喷头用黏结剂(如硅胶)将零件的截面“印刷”在材料粉末上面。

3DP 工艺的成型原理是将粉末由储料桶送出,再用滚筒将送出的粉末在加工平台上铺上一层很薄的原料,喷嘴依照 3D 计算机模型切片后定义出来的轮廓喷出黏结剂,黏着



粉末。做完一层,加工平台自动下降一点,储料桶上升一点,刮刀由升高了的储料桶上方把粉末推至工作平台并把粉末推平,再喷黏结剂,如此循环便可得到所要加工的形状。

由于完成原型制作后,原型件是完全被埋没于工作台的粉末中,操作员小心地把工件从工作台中挖出,再用气枪等工具吹走原型件表面的粉末。一般刚成型的原型件本身很脆弱,在压力下会粉碎,所以原型件完成后需涂上一层蜡、乳胶或环氧树脂等渗透剂以提高其强度。

6. 形状沉积制造

形状沉积制造 (SDM) 是 Carnegie Mellon 大学的专利,该工艺的成型过程是,把熔融的金属(即基体材料)层层喷涂到基底上,用数控 (NC) 方式铣去多余的材料,每层的支撑材料喷涂到其他区域,再进行铣削,支撑材料可视零件的特征是在基体材料之前或之后喷涂。

3D 打印的成型工艺的比较如下。

SL 工艺使用的是遇到光照射便固化的液体材料(也称光敏树脂),当扫描器在计算机的控制下扫描光敏树脂液面时,扫描到的区域就发生聚合反应和固化,这样层层加工即完成了原型的制造。SL 工艺所用激光器的激光波长有限制,一般采用 UV He-Cd 激光器 (325nm) 和 UV Ar⁺ 激光器 (351nm, 364nm)。采用这种工艺成型的零件有较高的精度且表面光洁,但其缺点是可用材料的范围较窄,材料成本较高,激光器价格昂贵,从而导致零件制作成本较高。

LOM 工艺的层面信息通过每一层的轮廓表示,激光扫描器动作由这些轮廓信息控制,所采用的材料是具有厚度信息的片材。这种加工方法只需要加工轮廓信息,所以可以达到很高的加工速度,但其缺点是材料范围很窄,每层厚度不可调整。以纸质的片材为例,每层轮廓被激光切割后会留下燃烧的灰烬,且燃烧时有较大的烟雾,而采用 PVC 薄膜作为原料的工艺。由于材料较贵,利用率较低,导致模型成本较高。

SLS 工艺使用固体粉末材料,该材料在激光的照射下,吸收能量,发生熔融固化,从而完成每层信息的成型。这种工艺的材料适用范围很广,特别是在金属和陶瓷材料的成型方面有独特的优点。其缺点是所成型的零件精度和表面粗糙度较差。

FDM 工艺不采用激光作能源,而是用电能加热塑料丝,使其在挤出喷头前达到熔融状态,喷头在计算机的控制下将熔融的塑料丝喷涂到工作平台上,从而完成整个零件的加工过程。这种方法的能量传输和材料传输均不同于前面的 3 种工艺,系统成本较低。其缺点是,由于喷头的运动是机械运动,速度有一定限制,所以加工时间稍长;成型材料适用范围不广;喷头孔径不可能很小。因此,原型的成型精度较低。



3DP 工艺是一种简单的三维印刷成型技术,可配合 PC 使用,操作简单,速度快,适合办公室环境使用,其缺点是由于采用石膏粉末等作为成型材料的工艺,其工件表面顺滑度受制于粉末的大小,所以工件表面粗糙,需用后处理加以改善,并且原型件结构较松散,强度较低;对于采用可喷射树脂等作为成型材料的工艺,由于其喷墨量很小,每层的固化层片一般为 $10 \sim 30 \mu\text{m}$,加工时间较长,制作成本较高。

第二节 3D 打印技术现状

随着新一轮 3D 打印热潮的兴起,第三次工业革命也被人们频频提及。3D 打印技术被认为是第三次工业革命的驱动力和诱因,而这很可能是一种认识的误区。

回顾历史上前两次工业革命,我们清楚,驱动工业生产的动力是能源,能源是予以区分工业革命性质的根本性因素。第一次工业革命是以蒸汽作为驱动,第二次工业革命是以电力作为驱动,前两次工业革命本质上均是消耗煤炭、石油等不可再生能源而维持的社会化大生产,而第三次工业革命也应该随新能源的发展而开展。

第三次工业革命所使用的能源应该是清洁的、可再生的,而且不受限于空间分布,能源传递的方式也应该从原来集中式输送转变为分布式共享。未来我们所使用的能源网与当前的互联网十分相似,在信息网络中每一个终端都可以是信息源,每个人都可以通过终端电脑发布信息,信息通过纵横交错的网线广泛分享。能量网络与之相似,每家每户都可以配有“发电机”,这些“发电机”用于收集大自然的可再生能源,如太阳能、风能、潮汐能等,并将其转化为电能。最早的阶段可能是“小农经济”模式,每家每户自给自足,当这些发电设备转化率达到一定程度时,每家每户可以把多余的电力通过能量网络传递出去与众人分享。

也许这样的构想似乎还有点远,但这正是第三次工业革命带来的变革,可再生能源很大程度上突破了能源空间分布的界限,因此第三次工业革命的能源分布方式是离散的。我们知道生产力决定生产关系,工业革命的产生必须以能源的变革作为推动力,而 3D 打印影响的正是第三次工业革命的生产方式。新的能源革命为我们提供了分散的能源获取方式,未来我们将一定程度上不再依赖于集约式的能量供应,3D 打印技术的发展又提供了分散式的生产工具,因此有理由相信第三次工业革命与 3D 打印技术将会给我们带来一个社会化创造的未来。



第三次工业革命本质上是能源的革命,新的能源分布方式影响了我们对传统能源的认识,也影响了社会化的生产方式,而 3D 打印技术的发展则把商品生产推向多元化、个性化。

一、3D 打印技术的国内现状

近年来,国内有诸多关于 3D 打印技术对设计的影响的研究,许多学者意识到了 3D 打印技术对传统的设计行业可能带来的巨大影响,从设计产业的诸多方面进行了探讨,学界的大部分观点都倾向于认同 3D 打印技术的巨大潜力将带来设计的显著变化。同时也有学者从知识产权和技术瓶颈等方面着眼,谨慎地审视 3D 打印技术可能存在的问题,这对设计理念的研究也具有很重要的参考价值。然而大部分的研究都是从宏观着眼,分析了未来设计的发展趋势和可能,较少提出有针对性的设计理念和具体的设计模式,更有对设计师这一职业可能发生变化的探讨。

3D 打印并不是一门新的技术,它在工业生产领域已经默默奉献了近 30 年,不过那时候 3D 打印被称为快速成型技术 (Rapid Prototype),国内的科研机构最早也在 20 世纪 80 年代末 90 年代初引进了这门技术并展开了研发。随着这些年 3D 打印技术的发展,我国 3D 打印技术已经在产品设计、模具制造、医学、航天等领域得到应用。

目前,在 3D 打印设备生产与研发领域国内已有一批骨干型公司,这些专门从事设备生产与研发的公司主要分为两大类型。一类是拥有官方与学术背景早期从大学实验室和科研机构分立出来的,这些公司通常拥有政府支持且规模庞大,有雄厚的资金和人才储备,主要从事工业级 3D 打印设备的研发。另一类以创客群体为主导,这些公司主要由个人爱好者创办,规模较小,主要从事消费级桌面 3D 打印机的研发,这些小团队研发的产品主要基于国外的开源项目。

除了基础的设备生产与研发企业,国内还出现了多家专门从事 3D 打印服务的企业,他们的服务范围非常广,涵盖了工业级应用与业余消费级应用,但现阶段主要还是复制国外的模式,由于当前整体产业发展还处于初级阶段,这些公司的营业规模相当有限,更多的还是满足专业级的工业需求。早期无论是政府官方还是 3D 打印行业的产业联盟,他们把重点都放在基础技术的研发上,而现在有了新的动向。大家对 3D 打印的行业应用愈加重视,许多团队也开始在 3D 打印行业淘金,如个性商品定制、玩具定制、3D 照相馆等一批应用型的企业如雨后春笋般涌现。

3D 打印行业若要健康发展,必须拥有一个完善的生态链,目前国内这样的生态链仅能看到雏形。我国涉足 3D 打印领域其实并不晚,核心技术与基础技术的研发也



已经探索多年,尽管这样我们和发达国家相比还存在不小的差距,其主要表现在以下几个方面。

1. 研发能力偏科严重

国内对 3D 打印技术的研究力量主要集中在高校实验室和研究所,早期主要是为满足军事、航空方面的重量级需求,因此我国在大型激光烧结技术方面处于国际先进水平,如华曙高科研制的选择性激光尼龙烧结设备还出口到美国。

此外,根据国内媒体报道,我国已利用 3D 打印技术制造出提供飞行器使用的大型钛合金主承力构件,在新型歼击机的研制工作中也采用了超大尺寸的激光增材钛合金构件。尽管如此,国内从事 3D 打印的企业大多还以仿制、代理国外产品为主,甚至很多企业都还没有实现盈利。由于国内企业研发能力的薄弱,而且用于研发的高精密电子元件、耗材等多数都要依赖国外进口,这一系列的问题都紧紧地束缚着国内的科研企业。而占据 3D 打印产业主导地位的美国 3D Systems、Stratasys 等公司,每年都投入 1000 多万美元研发新技术,研发投入占销售收入的 10% 左右。两家公司不仅研发设备、材料和软件,而且以签约开发、直接购买等方式,获得大量来自企业外部的相关细分专利技术,相比之下,我们的投入就略显不足了。

2. 没有成熟的产业链

3D 打印的预期市场是非常庞大的,但是现在并没有完全打开,3D 打印机的销售情况仍未达到理想状态。3D 打印技术未能有效地在企业中得到应用,业界对 3D 打印技术的重要性认识不足,一些已引进 3D 打印设备的企业也未能充分发挥其作用。由于目前的 3D 打印技术设备价格太昂贵,因此广大中小型企业很少能得到 3D 打印技术服务,甚至应用企业还没有完全接受 3D 打印机,制造和服务企业也未能直接得益于 3D 打印技术的发展,目前国内还没有形成一个成熟的产业链。

3. 缺乏宏观规划

3D 打印产业上游包括材料技术、控制技术、光机电技术、软件技术,中游是立足于信息技术的数字化平台,下游涉及国防科工、航空航天、汽车摩配、家电电子、医疗卫生、文化创意等行业,其发展将会深刻影响先进制造业、工业设计业、生产性服务业、文化创意业、电子商务业及制造业信息化工程。

但是,在我国工业转型升级、发展智能制造业的相关规划中,对 3D 打印这一交叉学科的技术总体规划与重视程度却远远不够。至今为止,国内并没有建立发展 3D 打印技术的统一协调管理体系。目前存在相当多“低水平重复”的现象,这使得有限的投入未能发挥更好的作用,尤其是在学、产、研结合方面力度不够,影响科研成果的商品化直至



产业化。

中国的优势就在于拥有巨大的市场,预计中国 3D 打印市场规模将达万亿级。从国外的实践来看,3D 打印不仅能快速制造出高精密与结构复杂的模具与零部件产品,还将能替代众多劳动密集型的制造业,包括文教体育用品、工艺美术品、纺织服装、化学纤维、橡胶、塑料制品、家具等(2011 年上述国内产业产值已超过 7 万亿元)。随着 3D 打印技术的不断成熟,未来即使上述产业只有 10% 被替代,也将形成万亿级的 3D 打印市场,相信不远的未来,3D 打印机将与个人电脑一样普遍并孕育出巨大的消费市场。

二、3D 打印技术的国外现状

国际上对于 3D 打印技术与设计之间的关系的研究要早于国内,由于 3D 打印技术发端于美国,所以美国的相关研究也较为全面,提出了很多与制造业和设计相关的前沿思想和理论。一些研究者从经济学的角度讨论了制造业在 3D 打印技术影响下所产生的一系列变化,例如彼得·马什在《新工业革命》一书中提出制造业的规模化经济模型不再适用于 3D 打印制造产业;克里斯·安德森在《创客》一书中提出的产品长尾理论,都对 3D 打印技术对于制造业乃至产品设计的影响进行了较为理性的探讨和预测。同时,基于 3D 打印技术的商业应用,欧美等国在民用化研究上遥遥领先,已经有很多成功的企业和产品案例值得我们研究和学习。而对于 3D 打印制造产业中的职业演变,国际上也有相关的研究值得参考。例如 Frick Lindsey 发表于 *Machine Design* 上的“*Will the 3D printing revolution kill engineering jobs?*”等文章探讨了 3D 打印制造业中工程师职能的变化。

2012 年克里斯·安德森带来他的新作《创客:新工业革命》,这本书将一群热衷于将各种新奇想法变成现实的人带入公众视野,他们就是创客,同时让人们了解了创客运动即将带来的伟大革新。

在这本书中,克里斯·安德森写道:下一次工业革命正在发生,而发生的地点并不在实验室,也不在公司中,而是在千千万万普通人的家中。这些创造者已经有了属于他们的真正强大的工具,例如 3D 打印机、3D 扫描仪、CAD 工业设计软件和激光切割机。这些工具与过去的业余爱好者的诸如小型电锯、小型金属研磨机和特殊胶枪一类的工具完全不同,它们使得发明者们能够直接将数码蓝图打印成实物。这无疑降低了制造业的门槛,任何人都可以将自家的客厅变成工厂。

过去数以万计的产品因为需求量太小而无法进行规模化生产,但对于个人而言,产量又太大。很多人不得不放弃自己的想法,或者将专利转让给企业,自己只得到微薄的



回报。随着创客运动的兴起,越来越多的“小作坊”加入到制造业,他们的生产模式更加灵活,可以让更多人的灵感变成现实,而不是被大工厂高昂的费用粉碎。而且随着 3D 打印机等生产设备的进步,“小作坊”也可以生产出不次于大工厂的高质量产品。

克里斯·安德森在阿里巴巴上就发现了很多小型工厂,他们可以提供很小量的定制生产服务。通过几封电子邮件和即时消息联络之后(阿里巴巴的软件可以实现中英文的实时互译),一家公司指导克里斯·安德森完成了各项设计选择,比如轴长和电机绕组等参数。一切谈妥之后,只需要用信用卡或 Paypal 进行支付就可以了。十天后,一个大大的箱子就送到了他的门口,里面是数千个克里斯·安德森定制的小型电动机,用泡沫塑料整齐地包装、固定。每个电动机外面都覆有一层略油的薄膜,防止腐蚀;另附一张看上去非常正式的收据。最重要的是,这些电动机完全是按照克里斯·安德森的设计制作的,而价格不到零售产品的十分之一。

随着创客运动的进行,千篇一律的大众产品变得缺乏竞争力,更具个性的定制产品才是主流。人们被工业时代压榨的求新欲望得到释放。就像现在的网游,每个人都乐于仔细设计自己角色的样貌,而在几年前这是不可能的。一旦这种求新的欲望被释放,传统工业那种流水线下的一模一样的产品将成为满足生存必需的底层产品,而个性化定制的产品才是提升生活品质的保证。届时,大型工厂那种规模化生产将不再具有优势,而微工厂可以提供灵活的生产方式和更具针对性的设计服务,这些足以使微工厂抗衡甚至超越大工厂。相信不久就会是微工厂和制造领域创业公司的爆发期。

英国为 300 名中学生免费开展 3D 打印体验活动。快速新闻传播集团(RNCG)、3D Systems 公司和 Black Country Atelier 宣布了一项倡议,其于 2013 年 9 月 25 日至 26 日在英国伯明翰为中学生提供为期两天的 3D 打印体验活动“TCT Bright Minds UK”。该计划倡议邀请 300 名学童在教室里学习使用 CAD 以及 3D 打印技术,Black County Atelier 将提供相应所需设备。RNCG 首席营运官称在 2013 年与巨头的新合作伙伴关系使他们能够更好地宣传 TCT 活动,为英国的学生免费提供 3D 打印技术和软件的培训。此次活动使几百名师生累计相关的技术经验,为 3D 打印技术搬进课堂做了准备,更为新的设计和工业革命做了准备,真正激发出新一代的设计和工程师。

新西兰实施教育课程拓展计划,根据这个计划,从幼儿园到小学六年级的学生都将有机会在课堂中使用到 3D 打印机。新课程标准指示,在新西兰,学生将有机会学习模型设计,并在 3D 打印机上制造,但暂时没有介绍表明 3D 打印机是否每个学校都会拥有。根据权威机构发表的报告,3D 打印技术已经挑战澳洲和新西兰制造业,新举措将使得未来工程师进入这个领域,并学习这种技能和技术。这将对制造业的未来产生深远影响。