

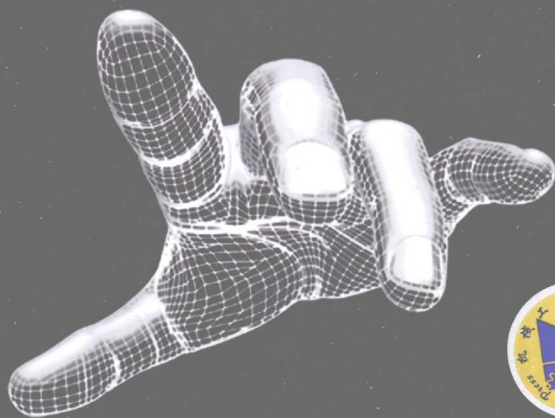
4D PRINTING

Industrial, commercial and social changes in the era of intelligent manufacturing

4D打印

智能制造时代的工业、商业与社会变革

水木然 慕千里◎著



4D打印时代到来，科技，是这个时代最好的信仰

创意即实物，变化即价值；人类正在打印未来
制造业、电子商务、互联网+都将与此相关，世界开始质变，你必须读懂它



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

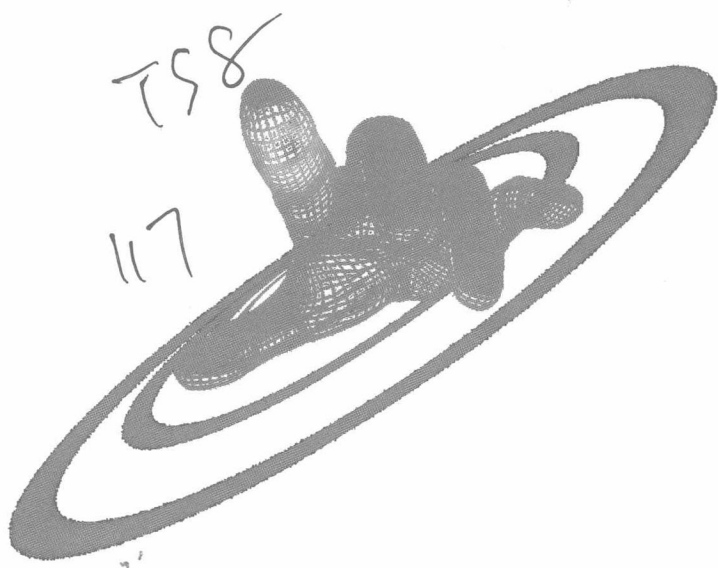
4D PRINTING

Industrial, commercial and social changes in the era of
intelligent manufacturing

4D打印

智能制造时代的工业、商业与社会变革

水木然 慕千里 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

4D 打印是增材制造技术的最新进展,在 3D 打印的基础上增加了时间维度。借助 4D 打印技术,产品可在特定情境下随特定外界刺激实现自动形变、自动修复、自动组装。本书介绍了 4D 打印技术的最新进展和应用前景,并从经济角度出发,结合历史、现实与未来,对智能制造时代的工业、商业与社会变革进行了展望,对以 4D 打印为最前沿的技术革新给未来工作与生活、产业与商业带来的深远影响进行了详细分析。

图书在版编目(CIP)数据

4D 打印:智能制造时代的工业、商业与社会变革/
水木然,慕千里著. —北京:机械工业出版社,2016.1
ISBN 978-7-111-52944-6

I. ①4… II. ①水… ②慕… 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 (2016) 第 026500 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:刘林澍 责任印制:李洋

版式设计:张文贵

三河市宏达印刷有限公司印刷

2016 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

145mm×210mm·6.75 印张·1 插页·111 千字

标准书号:ISBN 978-7-111-52944-6

定价:35.00 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) 88361066 机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:(010) 68326294 机工官博:weibo.com/cmp1952

(010) 88379203 教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

万事万物，周而复始。这个世界有它自己的客观规律，人类自诞生以来就不断地去适应和探索，力争摸清规律，顺势而为。直到4D打印的出现，人类开始“修改”世界。

为什么这样说呢？

或许科技才是这个时代最好的信仰，它的革命性成果总会让我们瞠目结舌。

2D、3D、4D，看起来像个等差数列。2D打印，即在平面上打印，最早是由中国人发明的，印刷术是中国四大发明之一，直到现在我们还经常使用2D打印，比如在纸上打印文档或简历；新兴的3D打印则是在2D打印的基础上增加了一个立体的维度，可以打印立体的物体；而4D打印增加的这个“D”代表的是时间，即打印出来的物体增加了一个“时间维度”。4D打印能够打印出随时间变化而变化的物体，这个物体可以适时而变。

从2D到3D是量变，而从3D到4D却是质变，为什么这么说呢？这是因为3D物体是静态的，需要人工控制，而4D物体能够自动对环境做出反应，自行组装、修补或变形。4D打印将人类制造业扩展至时间维度上。它通过使用

对热量、水或者压力敏感的特殊材质来生产增材制造产品，这些产品即使从4D打印机中生产出来很久了，也还能依据环境情况采用非常具体、有目的的方式自动改变形状。在某些情况下，有些物品甚至能恢复到它们原来的形状。这都属于第四度空间的制造业大革命——打印根据编程随时间而变化的物体。

时间维度

时间维度，这个词看起来好像很熟悉。记得牛顿的经典力学吗？经典力学可以反映出三维空间里所有低速物体的运动规律，在爱因斯坦诞生以前，这就是普世真理。但后来爱因斯坦认为，世界并非我们原先所认识的世界，它其实是由空间和时间构成，即：时空，比原来的三维空间的长、宽、高三条轴外又多了一条时间轴，于是真理又前进了一步，这就是“时间维度”的革新之处。

很多科幻电影里的场景正在逐一实现。一根拐杖在下雨的时候就变成了雨伞；房屋建筑可以自动“长”出屋顶、承重墙；在《变形金刚》里，一辆汽车可以瞬间变成机器人……

3D打印方兴未艾，4D打印渐行渐近，未来已来！在我们还在为3D打印惊叹之际，殊不知4D打印正在酝酿时机，以待一鸣惊人。美国陆军已经利用3D打印技术研发用于阿

富汗前线的新装备，而 4D 打印技术可以让军方制造出能适应各种地形的车辆，或能发现有毒气体的制服。

美国“神经系统”（Nervous System）设计工作室利用增材制造技术制作成世界上首件 4D 打印连衣裙。“神经系统”设计工作室声称，这件 4D 连衣裙通过 3 316 个连接点把 2 279 个打印块连在一起，堪称为模特量身定制。

每个人都是一台 4D 打印机

其实每个人都是蛋白质分子按照基因密码的预先设定，组合形成各种细胞和组织，最后靠“4D 打印”完成的“作品”。我们的每一条染色体所蕴藏的基因密码，便是我们这个“产品”最原始的设计程序编码；而我们这一生的成长过程，也就体现着人类这个 4D 打印物在时间这个第四维度基于环境的“催化”而发生的组织变化。

我们已经开始利用 3D 打印的心脏、肢体骨架等对人体衰老病变的器官进行替换。4D 打印的出现，无疑将给我们带来更多可能的优化方案，如心脏支架的更换，将不再需要“动刀”。对 DNA 的编辑将给人类永葆健康的梦想打开一扇窗户，而 4D 打印将是打开这扇窗户的一把金钥匙。

4D 打印的市场规模预计到 2019 年将达到 6 300 万美元，而到 2025 年，4D 打印市场规模预计将达到 5.556 亿美元，凑巧的是，《中国制造 2025》规划也将在这一年完成。

那么，4D 打印究竟会从哪些方面革新传统制造业呢？

1. 大幅降低制造成本

随着产品精密度的提高，传统制造业的成本会随着部件的复杂程度同比例上涨。而对于 4D 打印技术来说，产品结构的复杂程度与制造成本不再有直接关系，4D 打印对整体产品不同部件进行的一体化打印，以及可变形自组装的产品特征将让组装成本化整为零，这可以最大限度地降低产品的生产制造成本。

2. 个性化制造更容易

在传统制造技术条件下，小批量定制的成本一直居高不下，更别说私人订制了。随着 4D 打印技术的成熟，私人定制的成本会变得低廉。因为在传统制造中被认为是很复杂的结构、工艺，在 4D 打印面前都将变得简单，尤其体现在成本不会随部件的复杂程度而波动。

3. 产品自动组装

4D 打印的产品将不再需要厂家或用户自行组装。厂商根据用户的需要，将所制造的产品运送到指定地点放置好后，用户在需要的时候直接给予介质触发，打印物就会实现自动组装，这就取代了当前依赖于人力进行组装搭建或拆解的传统方式，极大程度地降低人力成本。

4. 零库存

传统制造业无法避免地会遇到产品库存问题，而 4D 打印将有效缓解这个难题。厂家根据消费者的想法随时提供产品设计、打印制造的服务，做到“即买即造、即造即销”，真正取代传统的库存销售方式。

5. 创意为王

在传统制造业里，设计师最大的痛苦就是创意很“丰满”，而现实制造却很“骨感”。利用 4D 打印技术，只要设计师能描绘出来的创意构想，都能不折不扣地得到实现，真正做到让设计师创意设计价值获得充分体现。与 3D 打印的预先建模然后使用物料成型并不一样，4D 打印直接将设计内置到物料当中，简化了从“设计理念”到“实物”的创造过程。让物体如机器般“自动”组装，不需要连接任何复杂的机电设备。

6. 降低制造专业性和人才流失的风险

传统制造业总是依赖技术熟练的工人，这就存在所培养的人才流失的风险。而 4D 打印技术可以大大降低对于复杂制造部件的专业技能要求，并且可以帮助制造者承担相当一部分的“高难度”工艺制作，从而有效降低制造的专业门槛和人才流失的风险。

7. 简化制造环节

传统制造业的产品通常由多个零部件组装而成，而不同零部件则需要不同的设备为其配套制造，这就牵扯到分包和管理成本。4D 打印只需一台打印机，根据不同的材料以及用户所设定的不同部件形态直接打印不同的部件或整体产品。打印生成的部件或产品还可以通过自我驱动进行组装。

8. 不良产品生产率将成为过去式

不良产品生产率是决定着传统制造企业经济效益的关键指标。在 4D 打印时代，不良产品生产率这个名词将走向历史的终结，而决定着产品能否满足用户需求的关键将被转移至设计端。也就是说未来决定产品是否合格的关键要素不再是制造环节，而是设计环节：一切将由设计师来决定。

不过，4D 打印技术还有不少瓶颈需要突破。首先是“催化剂”的问题。在现有的 4D 打印实验以及一些 4D 打印技术研发项目中，所有触发变形材料变形的“催化剂”都是水。水作为“催化剂”虽然很常见，成本也很低，但 4D 打印技术要想进一步普及，就必须开发出更多的“催化剂”，比如声、光、电、热，并对应产品的使用情境，这样 4D 打印的适用范围才能足够大。

目 录

前言

第 1 部分 4D 时代 /001

第 1 章 让大家成为“上帝” /003

第 2 章 2D 打印：中国奉献世界的印刷术 /017

第 3 章 3D 打印：从创造“集中”到创造“发散” /023

第 4 章 4D 打印：3D 打印的沿袭和升华 /045

第 2 部分 4D 打印，第四次工业革命的标志 /053

第 5 章 第一次工业革命，“规模制造”与欧洲兴起 /055

第 6 章 第二次工业革命，“科学制造”与世界大战 /065

第 7 章 第三次工业革命，“网络制造”进入人类视野 /072

第 8 章 第四次工业革命，“智能制造”时代即将到来 /078

第 3 部分 4D 打印，帮助传统企业实现“互联网+”战略 /083

第 9 章 4D 打印，加快“互联网+”战略实现 /085

第 10 章 4D 打印，如何协助传统企业互联网化 /094

第 11 章 定制模式，电子商务未来的发展趋势 /0101

第 12 章 大数据信息化，4D 打印商业模式的基础 /110

第13章 分布式制造，彻底打通互联网和制造业 /115

第14章 4D打印，“云计算”的一个成功案例 /123

第4部分 4D打印，推动生活大变革 /129

第15章 4D打印时代，“山寨”货还存在吗 /130

第16章 4D打印时代，网购尚能饭否 /140

第17章 4D打印，中国新一轮造富运动的起点 /152

第5部分 4D打印时代，中华民族伟大复兴 /161

第18章 国际政治经济格局新变动 /162

第19章 4D打印技术，改变世界格局的源动力 /166

第20章 中国应借助3D、4D打印技术实现民族全面复兴 /170

第6部分 4D打印，我们应该做好哪些准备？ /183

第21章 国家应为4D打印保驾护航 /184

第22章 4D打印，从“中国智造”到“中国创造” /197

参考文献 /206

第 1 部分

4D 时代

3D 打印，当下势头最劲的新技术之一，已经历了从概念到流行、从流行到产业化运作的阶段。像航天零件、医学假肢、房子、车子，甚至手枪，仿佛世界上任何东西都可以通过 3D 打印机打印出来。正当大家还在为 3D 打印技术的伟大创举欢欣雀跃时，2013 年在美国举行的 TED 大会上，来自麻省理工学院的蒂比茨团队已经向世人展示了其 4D 打印的初步技术。

没错，这个时代变化就是那么快！你稍不留神，就可能错过一次革命！

什么是 4D 打印？什么又是 2D、3D 打印？它们之间究竟是什么关系？

按通俗的理解，2D 打印是二维打印，即我们平常所说的

印刷，就是让信息在一个平面上得以体现；而 3D 打印是三维打印，打印出来的物品是一个有体积有结构的立体物件；4D 打印则是在之前 3D 打印的基础上再加上一个维度——“时间”，让打印出来的物品自己会变化，比如能自我组装成为一个成品、能根据外部环境变化自我变换形状、能自我修复已经损坏的部件等。而且，这些改变并不是人为控制的，产品从 4D 打印机里一出来就有了自主变化的能力。这样看起来，我们像不像一个“造物主”呢？

第1章

让大家成为“上帝”

小故事

很多人都看过漫画《七龙珠》吧，还记得其中的“万能胶囊”吗？对，就是那种可以随身携带的小容器。每次扔出去，“嘭”的一声后，就能瞬间变形成五花八门的现代化工具，如房屋、摩托车，甚至飞机等。几年前，若是有人告诉你这个“万能胶囊”或许会在不久的将来成为现实，你肯定以为他是在开玩笑。

现在，借助最新的4D打印技术，给物体添加“时间”维度，让它们变得拥有“智能记忆”功能，在特定时间、特定条件下自动“变形”为预先设定的形态已逐渐成为现实。

一、4D打印技术诞生成长

2013年，在洛杉矶TED（技术、娱乐、设计）大会上，

来自麻省理工学院的蒂比茨团队展示了首款 4D 打印产品，该 4D 物体外形就像一根管子由数层塑料制成，外加一层“智能”材料，该“智能”材料能够在吸水时变形，让产品自动变成一种理想的形状。

2014 年，美国科罗拉多大学波德分校力学工程系副教授杰瑞·齐和新加坡技术与设计大学的马丁·杜领导的科研团队将拥有“形状记忆”能力的聚合纤维混入传统 3D 打印技术使用的复合材料中，制造出可以像“变形金刚”一样变换出各种形状的复合材料。马丁·杜表示：“我们制造出了可以基于不同的物理力学原理自动变形的复合材料，从而对蒂比茨的 4D 打印概念进行了扩展，使用‘形状记忆’复合纤维赋予复合材料令人满意的形状变化，其中的关键在于纤维的设计架构，包括其位置、方位等。”

二、4D 打印不是 4D 电影

在翻阅 4D 打印相关材料时，我们曾发现起初大家想象中的 4D 打印，是指在立体印刷的基础上加入动感、嗅觉、听觉等多方位的人体感受。这是不是很像“4D 电影”？百度百科对于“4D 电影”的定义是“四维电影”，即将震动、吹风、喷水、烟雾、气泡、气味、布景、人物表演等特技

效果引入3D立体影片中，从而形成一种独特的表演形式。

其实这种理解是不对的，按照蒂比茨给出的定义，4D打印就是借助软件在打印材料中设定模型和时间程序，以使材料在指定时间或刺激作用下变形为所需的模型。

三、4D打印的核心关键点

（一）增材制造技术

增材制造技术，又称快速成型技术，是近20年来信息技术、新材料技术与制造技术多学科融合发展的先进制造技术。增材制造依据CAD数据逐层累加材料的方法制造实体零件。其制造原理是材料逐点累积形成面，逐面累积成为体。增材制造技术可以制造出任意复杂形状的三维实体，最近发展的智能材料3D打印技术使制造任意复杂形状的智能材料结构成为可能。

（二）可编程材料（Programmable Matter, PM）

综上所述，4D打印最核心的核心在于材料，这些材料必须是智能材料，具有可模仿生物体的自增殖性、自修复性、自诊断性和环境适应性等特点。据了解，各界认为4D

打印所需要的智能材料一般包括电活性聚合物、形状记忆材料、压电材料、磁致伸缩材料等。

（三）催化剂

除了智能材料外，4D 打印还有另一项非常关键的决定性因素，即要有能够触发 4D 打印产品自我组装或自我形变的“催化剂”。这些“催化剂”不仅仅包括水，根据不同的智能材料，还可能包含光、热、声音、震动、气体，甚至是电磁场。

也就是说，通过软件设定好模型后，在特定环境下，无需人为干预，无需额外提供能量，4D 打印生产的智能产品便可按照事先的设计，在规定的时间内进行自我组装。

或许要不了多久，利用 4D 打印技术，科幻电影中的场景就会逼真地发生在我们身边：一根拐杖在下雨的时候就变成了雨伞；房屋建筑可以自动“长”出屋顶、承重墙等。

四、颠覆造物模式

（一）实现“造物动态变化”

本质上，4D 打印的技术原理是建立 3D 打印技术之上