

4D
打印宝典

数字化，智能化，从创意到创造的完美蜕变

4D打印 从创意到现实

徐旺 / 主编

10章

则

张图解

全方位解读4D打印行业的未来发展与应用实战

看透商业模式，剖析行业应用，演练未来实战

清华大学出版社



4D打印

从创意到现实

徐旺 / 主编

清华大学出版社
北 京

内 容 简 介

本书是一本全面揭密 4D 打印的诞生历程、打印原理、发展状况、行业预测、发展优势、商业模式、跨界应用、创新商机、机遇与限制的专著，文中对 4D 打印在制造业、医疗业、军事业、航空业、交通业、食品行业、服饰行业等领域中的应用做了详细的介绍，为传统打印的跨界、转型提供了有效的实战指导。

全书分为 10 章，具体内容包括：感受精彩，走近 4D 打印；明白区别，4D 与 3D 的关系；生活预测，12 大经典应用；发展优势，制造业抢占先机；跨界应用，让 4D 打印飞起来；发展限制，痛点和难点要知晓；抓住契机，影响和机遇同在；掌握尺度，法律和道德并存；商机和创新，4D 打印概念股与创客；环保和强国，4D 打印的未来之途。

本书内容全面、详细，适合于从事图文设计、产品设计、打印印刷等工作的人员，如制造业技术人员、产品开发人员、产品设计师等，以及企业高管、创业者、大学生等关注 4D 打印及新技术的读者，特别是注重创新理念、自主创业的创客一族。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目 (CIP) 数据

4D 打印：从创意到现实 / 徐旺主编. —北京：清华大学出版社，2016
ISBN 978-7-302-43533-4

I. ①4… II. ①徐… III. ①立体印刷 - 印刷术 IV. ①TS853

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 081013 号

责任编辑：杜长清

封面设计：刘超

版式设计：刘洪利

责任校对：赵丽杰

责任印制：李红英

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社总机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印装者：北京亿浓世纪彩色印刷有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：170mm×230mm 印 张：14 字 数：239 千字

版 次：2016 年 6 月第 1 版 印 次：2016 年 6 月第 1 次印刷

印 数：1 ~ 3000

定 价：59.80 元

前言

写作背景

（1）3D 打印的发展与市场基础

目前，3D 打印在医疗产业、航空航天、建筑、工业设计、工程施工、教育、珠宝、模具制造、科研考古以及其他诸多领域都有着较大的应用，其市场规模呈几何级增长态势，预计到 2020 年，全球 3D 打印市场规模将突破 210 亿美元。其中，中国市场的潜力巨大，预计 2016 年国内 3D 打印市场的规模可达到 100 亿元左右，成为全球最大的 3D 打印市场。

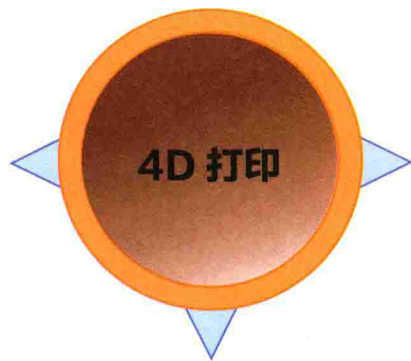
（2）4D 打印的发展优势与未来可能

在 3D 打印已经取得较大发展的基础上，4D 打印作为具有更大发展优势的新技术，可以大幅降低成本，完全取代人工组装；彻底实现零库存，有效简化制造环节；无限组合材料，充分放大创意空间；极大地降低制造的专业性，终结产品的不良率，实现批量生产的一致性……可以预见，在不远的未来，4D 打印将在各行业中实现更大的应用可能，如生物医疗、军事工业、航空航天、制造业、交通工具、食品行业、服饰配件、互联网、金融行业等。

本书从 4D 打印的工作原理与发展优势出发，系统地对 4D 打印的未来发展趋势进行了预测，并通过大量图解来进行辅助说明，为有志于借助 4D 打印来进行企业转型、自主创业的人士提供了全方位的发展与应用解读，并为广大科普爱好者奉献了一本有关 4D 打印的知识宝典。

发展优势线：

大幅降低成本
完全取代人工组装
彻底实现零库存
有效简化制造环节
无限组合材料
充分放大创意空间
极大地降低制造的专业性
终结产品的不良率
实现批量生产的一致性



行业应用线：

生物医疗
军事工业
航空航天
制造业
交通工具
食品行业
服饰配件
互联网
金融行业

发展优势与行业预测



本书特色

(1) 全面的内容介绍

本书集合了 4D 打印的诞生、工作原理、研发现状、产生的意义、制造业发展优势、应用预测、与 3D 打印的关系等内容,对 4D 打印进行了全面的剖析。

(2) 丰富的图解说明

书中安排了近 200 张内容结构图解,以分总、总分、并列铺陈等方式对内容做了细致、全面的展示与分析,思路清晰,条理分明。

(3) 完备的功能查询

书中紧扣 4D 打印的工作原理和特点,对 9 大主流行业的 4D 打印应用进行了预测,讲解具体,读者可以轻松看透 4D 打印背后有关产品“时间成型”的奥秘。

读者定位

本书适合以下读者:一是从事图文设计、产品设计、打印印刷等工作的人员,如制造业技术人员、产品开发人员、产品设计师;二是希望通过 4D 打印等新技术获得第一桶金的投资者、创业者,如创客一族;三是希望通过 4D 打印实现企业跨界、转型的企业高管与企业家们;四是爱好和想了解 4D 打印的人士。

作者信息

本书由徐旺主编,其他参加编写的人员有周玉姣、柏慧、张瑶、苏高、罗磊、刘斌、罗林、宋金梅、曾杰、周旭阳、袁淑敏、谭俊杰、徐茜、杨端阳、谭中阳、张国文、李四华、陈国嘉等。由于时间仓促,书中难免存在疏漏与不妥之处,欢迎广大读者来信咨询和指正。

编者

目 录

第 1 章 感受精彩，走近 4D 打印	1
1.1 4D 打印的诞生	2
1.1.1 4D 打印诞生的标志	3
1.1.2 4D 打印诞生的背景	4
1.1.3 4D 打印诞生的过程	12
1.2 4D 打印概述	15
1.2.1 什么是 4D 打印	15
1.2.2 4D 打印的原理	16
1.2.3 4D 打印的相关评价	19
1.2.4 4D 打印的意义	21
1.2.5 4D 打印对经济产生的影响	25
1.2.6 4D 打印的应用与研究进展	27
第 2 章 明白区别，4D 与 3D 的关系	29
2.1 4D 打印与 3D 打印的区别	30
2.1.1 打印材料的区别	31
2.1.2 打印方式的区别	38
2.1.3 打印产品的区别	41
2.2 4D 打印与 3D 打印的联系	46
2.2.1 3D 打印是 4D 打印的基础	47
2.2.2 4D 打印与 3D 打印同为数字化制造技术	49



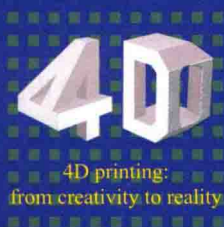
第3章 生活预测, 12大经典应用	51
3.1 饮食预测	52
3.1.1 把技术吃到肚子里	53
3.1.2 食物互联网上线	57
3.2 互联网预测	59
3.2.1 全民用上移动互联网	59
3.2.2 休闲程序员的兴起	61
3.2.3 个人暗网逐渐流行	62
3.3 健康预测	63
3.3.1 健康状态的实时监测	64
3.3.2 认知行为治疗的崛起	65
3.3.3 健身不再需要计步器	65
3.4 购物预测	66
3.4.1 高科技纺织品	67
3.4.2 自己组装的家具	68
3.4.3 数字货币盛行	69
3.4.4 环境智能	70
第4章 发展优势, 制造业抢占先机	71
4.1 制造成本	72
4.1.1 大幅降低制造成本	73
4.1.2 个性化定制成本不变	74
4.2 生产方式	75
4.2.1 取代人工组装	75
4.2.2 零库存	77
4.2.3 有效简化制造环节	78

4.2.4 无限组合材料	78
4.3 生产要求	79
4.3.1 放大创意空间	80
4.3.2 制造专业性降低	81
4.4 生产效率	81
4.4.1 消失的不良率	82
4.4.2 精准的批量一致性	82
第5章 跨界应用，让4D打印飞起来	84
5.1 生物、医疗领域	85
5.1.1 新型医疗植入物	87
5.1.2 微创技术	98
5.1.3 对抗癌症	100
5.2 军事工业领域	104
5.2.1 打通武器装备制造到使用的链路	105
5.2.2 促进大型装备构件的现场制造	108
5.2.3 推动微小型军用机器人的发展	110
5.2.4 变革军事后勤保障流程	112
5.3 服饰行业	113
5.3.1 4D打印连衣裙	113
5.3.2 未来的“百变”衣服和配饰	115
5.4 交通工具	116
5.4.1 “百变”汽车	116
5.4.2 随身自行车	118



第 6 章 发展限制, 痛点和难点要知晓	120
6.1 4D 打印发展的制约因素	121
6.1.1 打印设备	121
6.1.2 打印材料	124
6.1.3 设计软件	126
6.2 4D 打印实际应用为时尚早	126
6.2.1 4D 打印尚处于研发阶段	127
6.2.2 4D 打印专利布局尚处于萌芽期	129
6.3 4D 打印尚难大规模应用	130
6.3.1 4D 打印或先涉航空领域	131
6.3.2 智能复合材料值得长期关注	132
第 7 章 抓住契机, 影响和机遇同在	134
7.1 4D 打印对未来社会的影响	135
7.1.1 工业: 实现制造集约化	136
7.1.2 医疗: 为人体派驻健康卫士	140
7.1.3 消费: 私人定制转向私人工厂	144
7.1.4 创新: 加快产品创新速度	146
7.1.5 商业: 颠覆传统商业模式	148
7.1.6 物流: 实体物流将走向终结	150
7.1.7 法律: 知识产权监管的困扰	153
7.2 4D 打印发展的机遇	155
7.2.1 设备: 技术普及的突围点	155
7.2.2 材料: 智能材料的滥觞	157
7.2.3 软件: 专业设计软件的发展	160

第 8 章 掌握尺度，法律和道德并存	161
8.1 4D 打印与法律	162
8.1.1 4D 打印与知识产权保护	162
8.1.2 4D 打印与税收征管	173
8.1.3 4D 打印与货币监管	174
8.2 4D 打印与道德	175
8.2.1 产品应用的道德挑战	176
8.2.2 道德约束的更高要求	178
第 9 章 商机和创新，4D 打印概念股与创客	181
9.1 4D 打印概念股	182
9.1.1 4D 打印概念股概述	182
9.1.2 4D 打印概念股个股简介	184
9.2 4D 打印和创客	195
9.2.1 创客概述	195
9.2.2 4D 打印发展与创客	197
第 10 章 环保和强国，4D 打印的未来之途	201
10.1 4D 打印与未来环境和资源	202
10.1.1 地球环境与资源现状	202
10.1.2 4D 打印与世界资源	204
10.1.3 4D 打印与环境	206
10.2 4D 打印与未来中国	207
10.2.1 中国的“世界工厂”地位	207
10.2.2 中国发展与 4D 打印	210



第 1 章

感受精彩，走近 4D 打印

学前提示

4D 打印敲响了 2013 年 TED 大会“年轻、智者、未知”的大门，以昂扬的姿态宣告了“把智慧植入材料当中”，为科学研究开辟了一个崭新的领域，其未来可能是又一次科技革命。

感受精彩， 走近 4D 打印

4D 打印的诞生

- 4D 打印诞生的标志
- 4D 打印诞生的背景
- 4D 打印诞生的过程

4D 打印概述

- 什么是 4D 打印
- 4D 打印的原理
- 4D 打印的相关评价
- 4D 打印的意义
- 4D 打印对经济产生的影响
- 4D 打印的应用与研究进展

1.1 4D 打印的诞生

手机展销会上, 那些在极短的时间内制造出的琳琅满目的手机外壳(如图 1-1 所示); 在 2012 年伦敦奥运会上, 那列由我国著名雕塑家黄剑女士创作的青铜群雕——《2012 伦敦马球图》(如图 1-2 所示); 美国国家地理网站上, 那只生活在 3.9 亿年前, 浑身尖刺、硬甲覆盖的远古生物立体模型; 在奥地利首都维也纳举行的 Space for the city 展览会上, 展出的那个名为 Morzinplatz-Schwedenplatz 的城市规划模型……以上这些, 都是利用 3D 打印技术制造的, 范围涉及各类科学和工业领域, 其应用范围之广、成品制作之新奇时常让人叹为观止。那么, 号称比 3D 打印多一个维度的 4D 打印, 究竟又将展示给人们怎样的视觉盛宴呢?

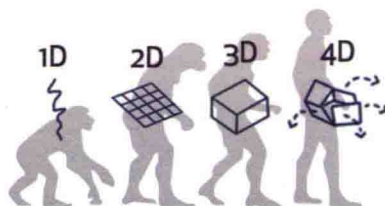


■ 图 1-1 3D 打印手机壳



■ 图 1-2 2012 伦敦马球图

首先, 需要对打印有一些基本的了解。如图 1-3 所示展示了 1D 到 4D 的概念模型。在日常生活中, 人们普遍认知的“打印”就是 2D 打印, 也就是在平面上进行的打印, 包含 X、Y 两个维度。3D 打印, 通俗的理解就是在 X、Y 两个维度的基础上增加一个 Z 的维度, 就构成了三维立体空间。



■ 图 1-3 1D 到 4D 的概念模型

4D 打印，顾名思义，就是在 3D 打印 X、Y、Z 立体维度的基础上增加一个维度 T，即时间维度，这就意味着 4D 打印融入了时间，实现了空间维度与时间维度的统一。

你也许会问：“时间也是可以打印的吗？”在以前，人们会毫不犹豫地回答：“不可以。”

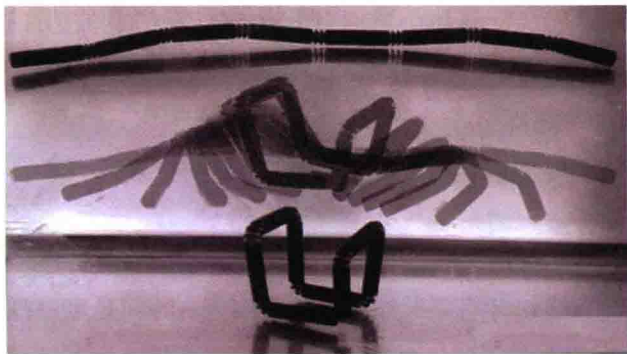
但是，在科学技术发展日新月异的今天，在美国斯凯拉·蒂比茨（Skylar Tibbits）的科学词典里，却有着截然不同的答案——时间是可以打印的。4D 打印技术就可以打印出能随时间变化而改变的物体，而这种改变可以理解为自我组装。

1.1.1 4D 打印诞生的标志

自 20 世纪 70 年代以来，计算机软件、印刷设备和材料等领域的科学技术日渐发展成熟，在此基础上，3D 打印技术取得了长足的发展。现今，业内异常热闹，欲“毕其功于一役”，有种想要一举改变制造业模式的态势。虽然很多人仍对 3D 打印持观望态度，甚至是了解极少，然而社会的发展并不会以人们的接受与否为基准。俗话说：“你永远跟不上科技的脚步”，新技术总是以超乎预见的速度发展，正如智能穿戴在一夜之间就从科幻片中走出并进入了日常生活中一样。4D 打印也是如此，在很多人还闻所未闻时，一夜之间便进入了人们的视野。

2013 年 2 月 25 日至 3 月 1 日，在美国加利福尼亚州长滩，主题为“年轻、智者、未知”的 TED（technology, entertainment, design，即技术、娱乐、设计）2013 大会正如火如荼地进行。振奋人心的演讲，令人惊叹的照片，精彩纷呈。

其中，年仅 28 岁的美国计算机科学家、麻省理工学院（MIT）建筑部讲师斯凯拉·蒂比茨首次通过视频向外界展示了一个技惊四座的“魔术”——将一根奇特材质的线状物体放入水中，然后人们发现，这一线状物体竟如电影特技一般，慢慢发生扭曲变形，最终变形为“立方体”，如图 1-4 所示。这毫无悬念地收获了在场观众的惊叹和艳羡，也给世界科技界提供了又一新的可供思考和研发的项目。可以预见，这一技术将来得到广泛应用时，人们会永远铭记这一历史性时刻。



■ 图 1-4 4D 打印“立方体”

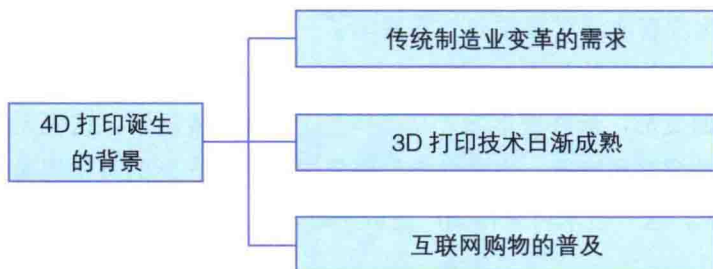
在斯凯拉·蒂比茨的 TED 大会演讲视频中，能在水中改变形状的线状物体是通过将吸水聚合材料与碱性塑料组合，通过 3D 打印机制造而成的，形成这类效果的技术被定义为 4D 打印。

这一实验向人们诠释了一种不同以往的制造理念和模式，产品是可以随时间“生长”、变化的，能够自我组装，这标志着 4D 打印的诞生。

1.1.2 4D 打印诞生的背景

一种新的科学技术的诞生，总是在一定的社会大环境下发生的，不能离开现有社会的经济发展需求和人们的生活需求；另外，还必须具有一定的技术支撑，即必须在已有技术发展到相当程度且已能够支撑起新技术研发的基础时，新技术才会产生。4D 打印的诞生也是如此。

概括地说，4D 打印诞生的背景有 3 个方面，如图 1-5 所示。



■ 图 1-5 4D 打印诞生的背景

1. 传统制造业变革的需求

制造业一般是指加工工业,属于三次产业分类中的第二产业,在国民经济各产业中占有举足轻重的地位。

从最开始的纯手工制造到渐渐发展为后来的机器大生产、佐以人工操作,在这一发展过程中传统制造业可以说是饱经沧桑。

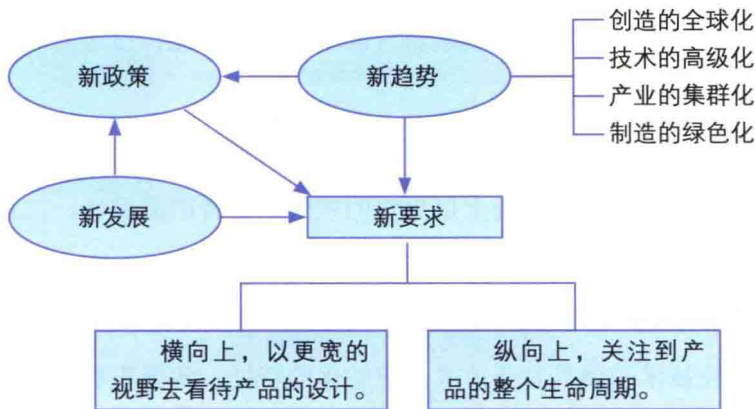
今天,随着社会科学技术的发展,制造业也相应地提出了新的变革需求,特别是自20世纪40年代,第三次技术革命(又称现代技术革命)开始并以迅猛的速度向前发展的情况下。

作为其主要标志的原子能、空间技术和电子计算机技术的广泛应用,尤其是信息技术革命的发展,引起了传统制造业领域的自动化与大发展,产生了高新技术制造产业。世界制造业的格局发生了重大的变化,如图1-6所示。

当前制造业发展的形势如图1-7所示。

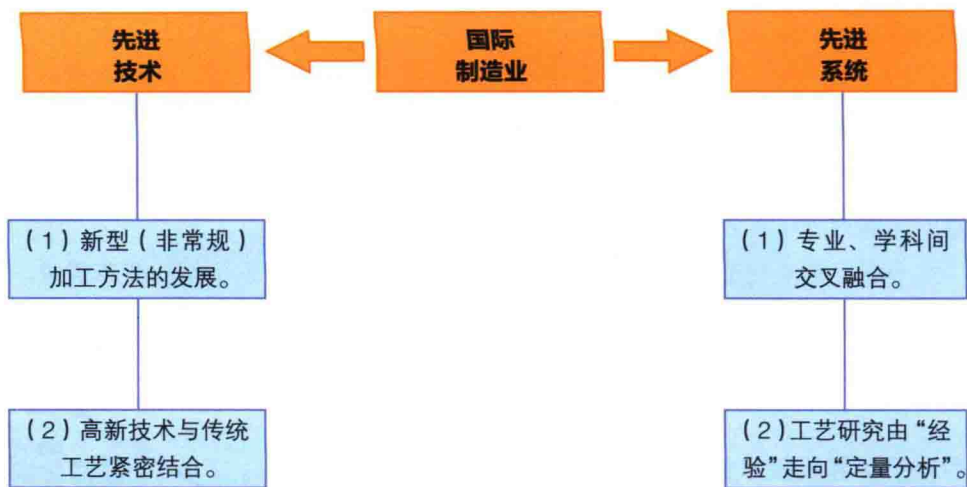


■ 图 1-6 制造业信息化发展趋势



■ 图 1-7 当前制造业发展形势

现今,美国、日本等发达国家纷纷开展了大量的对策研究,调整产业政策与技术政策,提出了许多新概念、新思想、新观点,先后诞生了许多先进制造技术与系统,如图1-8所示。



■ 图 1-8 国际制造业采用或准备采用的先进制造技术和系统

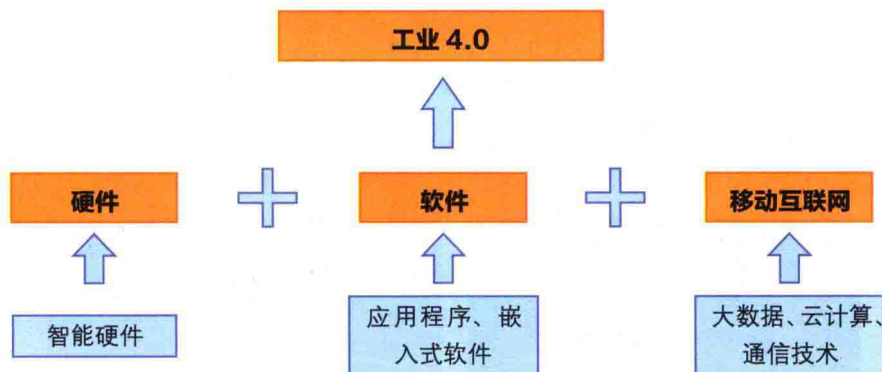
这些先进的制造技术和系统使现代制造技术由传统意义上的单纯机械加工技术转变为集机械、电子、材料、信息和管理等诸多技术于一体的先进制造技术，实现制造业的高技术化。

美国政府的“新一代制造计划”和日本政府提出的 3R 环境保护的新概念向人们揭示了世界制造业的发展新趋势，即创造的全球化、技术的高级化、产业的集群化和制造的绿色化。

而现代制造业发展趋势赖以生存的信息技术发展对产品的设计理念及其实现提出了新的要求，一是在横向上以更宽的视野去看待产品设计，二是在纵向上更关注产品的整个生命周期，即从满足人的需求出发，进行产品创意、方案构思、试制、加工生产，直到营销、售后服务、产品毁弃处理。

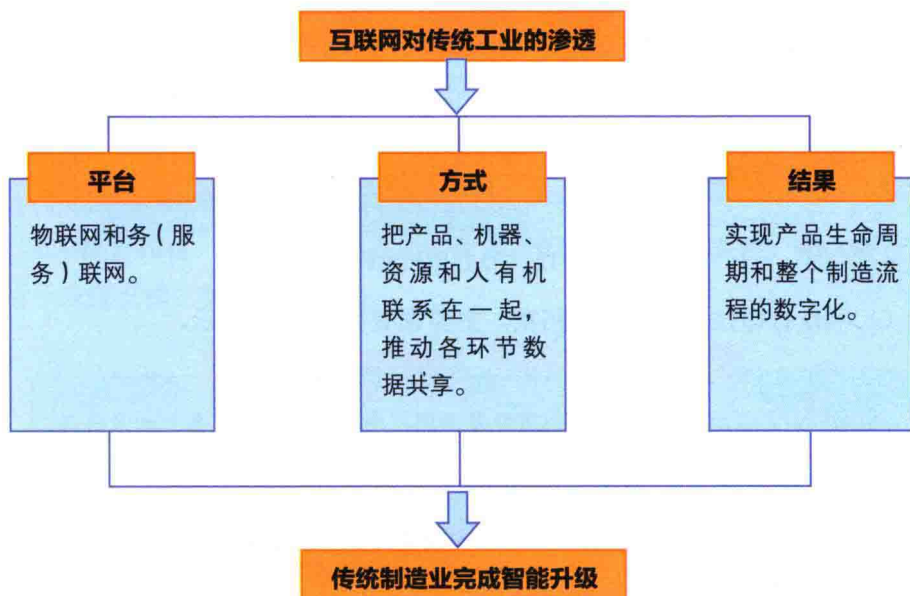
新一代数控技术强调具有开放式、智能化的特征，各国正着力进行新一代开放式体系结构和具有智能型功能的数控技术的开发与研究。

目前全球工业已经进入 4.0 时代，如图 1-9 所示。



■ 图 1-9 工业 4.0 时代

其核心是互联网对传统工业的渗透，从而使得传统制造业完成智能升级，如图 1-10 所示。



■ 图 1-10 传统制造业的智能升级

无论是对设计理念的重视及其实现，还是具有智能型功能的各种技术（如材料）的研发，抑或是产品整个周期的数字化，这些都为 4D 打印的诞生提供了技术的温床。