

# 智能制造对中小企业和全球化的影响

全球中小企业联盟  
中国全球化智库  
2017年12月



## 全球中小企业联盟（GASME）

### ——建设全球中小企业合作发展平台共创美好未来

全球中小企业联盟由美中国际合作交流促进会于 2009 年联合 G20 国家 100 余个主流商会发起，经美国政府批准成立，在美国新泽西、中国上海、德国汉堡设立三大洲际办公室。打造全球领先的中小企业国际合作平台、构建全球中小企业命运共同体为使命。

联盟全球主席由德国前总统武尔夫担任，总顾问由韩国前总统李明博和法国前总理拉法兰担任，名誉主席由联合国工业发展组织前总干事卡洛斯担任，高级副主席主要由一批 G20 国家的前部长担任。联盟下设世界经济研究中心、世界领袖商学院、互联网金融委员会、未来商界领袖俱乐部、秘书处等机构负责联盟日常事务。联盟实行秘书长负责制。

联盟为全球中小企业合作交流领域的专家及领导者。2012 年 11 月 22 日，在“联合国工业发展组织第四十届工业发展理事会”上，全球中小企业联盟正式成为联合国工业发展组织咨商机构。

联盟已成为国际高端论坛的引领者：拥有世界制造业大会、全球中小企业峰会、中国中小企业全球发展论坛、跨国公司与中小企业合作论坛等国际会议品牌。

联盟拥有一个世界领袖演讲团，由 50 余位全球政界领袖、商界领袖和学术界领袖组成，包括：美国前总统奥巴马、克林顿、小布什，联合国前秘书长安南、潘基文，德国前总统武尔夫，英国前首相卡梅伦、布朗，法国前总统萨科齐和前总理拉法兰，韩国前总统李明博，美国前财政部长保尔森和前商务部长骆家辉，宝马集团首席执行官克鲁格，苹果公司联合创始人沃兹尼亚克，特斯拉公司联合创始人斯特劳贝尔，诺贝尔经济学奖获得者萨金特等。

联盟积极推动各国中小企业的双边及多边合作：正在实施“企业全球化绿卡计划”、“千家中欧中小企业合作伙伴计划”和“千家中非中小企业合作伙伴计划”。

联盟是国际公共服务产品的提供者：已经或正在推出《全球中小企业发展白皮书》、《“一带一路”商业机会与投资风险白皮书》、《全球智能制造发展白皮书》等一批高质量的公共服务产品。

在 20 多位 G20 国家前领导人的支持下，联盟发起成立了“全球商会合作组织”，旨在打造全球商协会的互联互通大平台，把全球 100 万家商协会连接在一起。



## 联系我们：

北美洲办公室（美国新泽西）

地址：52 Bridge Street, Metuchen, NJ08840, USA

电话：+1 (732) 371-9068 +1 (732) 494-5802

亚洲办公室（中国上海）

地址：上海市浦东新区东方路 800 号宝安大厦 1801 室

电话：+86 (21) 50815730 50815731

欧洲办公室（德国汉堡）

地址：26 Hohe Bleichen, 20354, Hamburg, Germany

电话：+49 (0) 40 469676214

南美洲办公室（阿根廷布宜诺斯艾利斯）

地址：Callao 1016 Piso 12 “A” (1023) Buenos Aires, República Argentina

电话：+54 (11) 4811-0792 / 0800

非洲办公室（尼日利亚阿布贾）

地址：3rd Floor, Muktar El- Yakub’ s Place, Central Area, Abuja, Nigeria

电话：+23 (4) 811 888 5882

官方网站：[www.globalSMEs.org](http://www.globalSMEs.org)

电子邮箱：[gasmehina@163.com](mailto:gasmehina@163.com)





# 目 录

感 谢 .....	7
前 言 .....	8

## 第一章 智能制造及相关产业概述

一、智能制造的基本概念 .....	10
二、智能制造的发展历程 .....	11
三、智能制造的战略意义 .....	12
四、智能制造的发展趋势 .....	13
五、智能制造的生态模式及市场定位 .....	15
六、智能制造全球相关产业市场概述 .....	16

## 第二章 智能制造国家战略及技术标准

一、世界主要国家智能制造战略介绍 .....	18
德国 .....	18
美国 .....	19
日本 .....	20
韩国 .....	20
中国 .....	21
英国 .....	22
印度 .....	22
欧盟 .....	23
瑞典 .....	23
二、智能制造相关技术与标准 .....	23
智能工厂 .....	23
无人工厂 .....	24
工业机器人 .....	26
工业人工智能 .....	27
物联网 .....	28
人工智能芯片 .....	29
云计算 .....	31
大数据 .....	32
3D 打印 .....	34



### 第三章 智能制造对中小企业的影响

一、中小企业的规模及研发劣势催生 PPP 模式 .....	36
二、中小企业的“跟随战略”与“后发优势” .....	36
三、智能制造以人为核心 .....	37
四、智能制造促进中小企业颠覆性创新 .....	38
五、工业 4.0 促进中小企业商业模式创新 .....	38
六、中小企业的国情差异 .....	38

### 第四章 智能制造对全球化和国际贸易的影响

一、智能制造对全球化的影响 .....	40
1、进一步促进全球化，形成更加紧密的全球化 .....	40
2、带来新的逆或反全球化的思潮 .....	40
3、企业在国家和国际社会治理中更有发言权 .....	40
4、城市集群形成为中小企业产业集聚带来便利，而淡化国家形态 .....	41
5、促进形成中小企业全球化生态体系 .....	42
二、智能制造对国际贸易的影响 .....	42
1、出现新的贸易内容 .....	42
2、国际贸易的结构和形式发生改变 .....	42
3、改变国际贸易竞争格局 .....	43
三、整体结论与展望 .....	43

### 附录：智能制造经典案例分析

一、电动汽车产业发展 .....	45
智能制造规划概要 .....	45
三期工程 .....	45
工程技术新纪元 .....	46
二、制鞋产业创新 .....	46
三、荷兰切割行业小企业 .....	48
四、欧盟机器人发展项目 .....	48
1、金属铸件领域 .....	48
2、汽车零部件领域 .....	48
3、焊接领域 .....	49
4、木材加工领域 .....	49

参考资料 .....	50
------------	----





## 感 谢

首先，非常感谢全球化智库（CCG）对此报告的全力支持！作为此次项目研究的合作方，CCG 作为中国最大的社会智库，致力于中国的全球化战略、全球治理、人才国际化和企业国际化等领域的研究；组织相关的国内外机构、专家、学者参与此次课题研究，CCG 主任王辉耀博士、副主任兼秘书长苗绿博士对项目给予大力支持和提出具体的指导意见，保证项目顺利完成做出重要贡献。项目组执行负责人 CCG 副主任王欣先生负责项目规划、指导和审核，同时积极组织课题专家研讨会，与负责项目撰写的 CCG 研究员崔震海先生对报告质量起到关键的作用和重要贡献。项目组成员咨询各方专家学者开展深入交流，不断优化完成报告，再加上 CCG 研究员曹佳杰博士的思考及 CCG 助理研究员洪鑫诚、CCG 编辑应姮、CCG 美编于江利的努力和奉献，我们欣喜地看到此项目按计划顺利完成了。在此，我们对以上各位专家、同仁的努力给予衷心的感谢。

我们还特别感谢全球中小企业联盟专家何伟文先生，他对项目高度重视，对报告进度和质量给予关注和指导，使得项目合作得以顺利进行。



## 前 言

今天，以智能制造技术为标志的第四次工业革命已经到来，世界多个国家分别制定相关的国家战略和技术标准，如：“德国工业 4.0”、“中国制造 2025”、“数字美国”、“韩国工业革命 3.0 国家战略”、“日本工业互联”等，均以人工智能、云计算、物联网、增材制造（3D 打印）、智慧机器人等颠覆性的高技术为基础，开启了新一轮的工业革命新时代。我们非常荣幸见证这样一个时代的开始，参与到建设一个充满绿色、智慧、和平、繁荣并可持续发展的新进程。

经研究，课题组发现智能制造技术将对传统的产业价值链和现有的国际贸易体系、各国现有的发展战略和企业的发展策略产生深刻、甚至是巨大的影响，我们必须认真研究、跟踪和严肃对待。

本报告首先介绍了智能制造技术对世界产业和中小企业发展的影响，未来实施中可能存在的哪些优势和不足，世界主要工业国家相对应的战略和支持政策以及全球相关产业与之呼应的市场规模预测；再介绍了主要工业国家的新技术战略特点和技术体系，以及她们的智能制造路线图和实施条件；然后我们分析了这些战略如何对全球产业链、国家产业发展、区域经济、全球化和国际贸易的影响。最后，我们对智能制造技术对未来中小企业的影响、机遇和挑战进行了预测。为方便此报告读者更直接地了解智能制造技术的情况和进展，我们还附上部分企业的案例，供各位读者参考。

大家知道，中小企业在任何国家的经济体系中都占有重要的位置，具有独特的优势。通过观察过去 20 年世界经济进入互联网信息时代不难发现，规模经济在商业中的重要性随着创新技术发展和全球化的深入而降低，而中小企业的潜在价值就会得到显著的加强。但同时，中小企业也有天然的不足：中小企业必须面对资金短缺、技术更新困难、管理能力差、生产能力低和监管负担重等问题和挑战，这些不足在全球化及创新技术驱动的经济发展中显得尤为突出。所以，中小企业急需对薄弱环节和自身的管理能力进行升级改造，同时非常重要的一点是，政府要发挥好积极推动作用和协助功能，如建立产业集聚区、信息化通道等，帮助中小企业融入全球化产业链、金融体系和信息系统中。集聚区域为中小企业提供的供应链系统和信息网络，使它们获得更好的能力面对全球化的挑战。此外，各国政府需要不断评估、规划好各自国家发展的经济资源和产业竞争优势，通过不同的发展规划和策略增强开发和传播创新技术的手段，为新经济体系和中小企业培养掌握相关技术的新型人力资源；建立一个中小企业可持续发展的制造业生态体系，如相关基础设施、相关技术标准、全球化标准协议、扶持资金、知识产权保护、社会道德体系、相关法规、劳动力结构等，为企业，特别是中小企业营造良好的升级、改造的客观条件。

中小企业自身可以通过跨国的全球智能制造网络体系降低关税和生产成本；在产业集聚的环境下，中小企业比大企业具有更为灵活的客户定制化生产能力。无论中小企业选择独自经营方式还是选择融入集聚区内发展的模式，他们通过合资、并购、特许经营和产业联盟的策略都能争取到机会



进入国际化产业链。我们特别要指出的是：中小企业在这次新技术革命中，一是不能等。要有压力和紧迫感，抓紧学习、跟踪新技术的发展进程，尽快提升自身的技术和管理水平；二是不能乱。如此大规模的新技术革命不会一朝发生，需要一个较长的过程，中小企业要根据自己的行业特点和企业特点确定好各自的发展战略。

在研究和撰写报告时，相关技术不断发展，难免信息不足、结论也未必完全正确。课题组非常高兴就相关内容同大家开展交流，敬请给予宝贵的批评和指正！



# 第一章 智能制造及相关产业概述

## 一、智能制造的基本概念

中国《智能制造发展规划（2016-2020年）》对智能制造定义为：智能制造是基于新一代信息通信技术与先进制造技术深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动的各个环节，具有自感知、自学习、自决策、自执行、自适应等功能的新型生产方式。推动智能制造，能够有效缩短产品研制周期、提高生产效率和产品质量、降低运营成本和资源能源消耗，并促进基于互联网的众创、众包、众筹等新业态、新模式的孕育发展。智能制造具有以智能工厂为载体，以关键制造环节智能化为核心，以端到端数据流为基础、以网络互联为支撑等特征。（中国工信部，2016年12月30日，<http://www.miit.gov.cn/n973401/n4965332/n5406930/c5447925/content.html>）

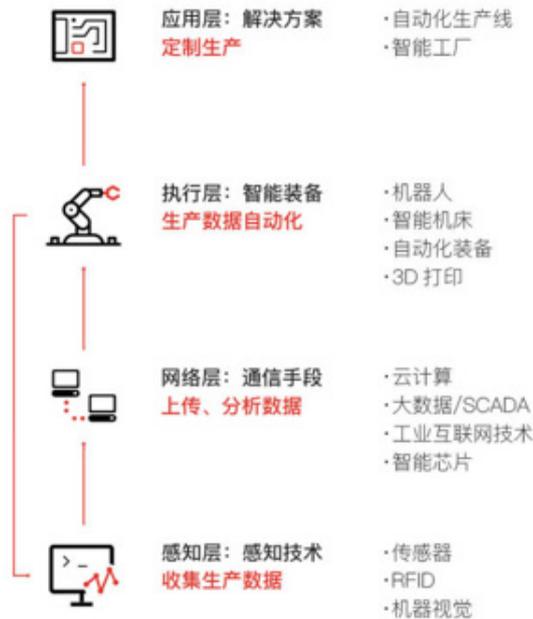


图 1 智能制造的本质

资料来源 九合创投

智能制造的主要内容包括智能产品、智能生产、智能工厂、智能物流等。

中国工业和信息化部赛迪研究院装备工业研究所所长左世全在 2013 年（《世界制造技术与装备市场》2014 年第 03 期）提出智能制造的四个重要环节：

一是智能设计。指应用智能化的设计手段及先进的设计信息化系统（CAX、网络化协同设计、



设计知识库等），支持企业产品研发设计过程各个环节的智能化提升和优化运行。

二是智能生产。将智能化的软硬件技术、控制系统及信息化系统（分布式控制系统 DCS、分布式数控系统 DNC、柔性制造系统 FMS、制造执行系统 MES 等）应用到生产过程中，支持生产过程优化运行，它是智能制造的核心。

三是智能管理。企业管理的内涵主要包括产品研发和设计管理、生产管理、库存 / 采购 / 销售管理、服务管理、财务 / 人力资源管理、知识管理、产品全生命周期管理等。

四是智能服务。制造服务包含产品服务和生产性服务。前者指对产品售前、售中及售后的安装调试、维护、维修、回收、再制造、客户关系的服务，强调产品与服务相融合；后者指与企业生产相关的技术服务、信息服务、物流服务、管理咨询、商务服务、金融保险服务、人力资源与人才培养服务等，为企业非核心业务提供外包服务。智能服务强调知识性、系统性和集成性，强调以人为本的精神，为客户提供主动、在线、全球化服务，它采用智能技术提高服务状态 / 环境感知、服务规划 / 决策 / 控制水平，提升服务质量，扩展服务内容，促进现代制造服务业这一新业态的不断发展和壮大。

## 二、智能制造的发展历程

智能制造源于人工智能的研究。人工智能就是用人工方法在计算机上实现的智能。随着产品性能的完善化及其结构的复杂化、精细化，以及功能的多样化，促使产品所包含的设计信息和工艺信息量猛增，随之生产线和生产设备内部的信息流量增加，制造过程和管理工作的信息量也必然剧增，因而促使制造技术发展的热点与前沿，转向了提高制造系统对于爆炸性增长的制造信息处理的能力、效率及规模上。先进的制造设备离开了信息的输入就无法运转，柔性制造系统（FMS）一旦被切断信息来源就会立刻停止工作。专家认为，制造系统正在由原先的能量驱动型转变为信息驱动型，这就要求制造系统不但要具备柔性，而且还要表现出智能，否则是难以处理如此大量而复杂的信息工作量的。其次，瞬息万变的市场需求和激烈竞争的复杂环境，也要求制造系统表现出更高的灵活、敏捷和智能。因此，智能制造越来越受到高度的重视。

纵览全球，虽然总体而言智能制造尚处于概念和实验阶段，但各国政府均将此列入国家发展计划，大力推动实施。1992 年美国执行关键重大技术为标志的新技术支持政策，包括信息技术和新的制造工艺，智能制造技术自在其中，美国政府希望借助此举改造传统工业并启动新产业。加拿大制定的 1994~1998 年发展战略计划，认为未来知识密集型产业是驱动全球经济和加拿大经济发展的基础，认为发展和应用智能系统至关重要，并将具体研究项目选择为智能计算机、人机界面、机械传感器、机器人控制、新装置、动态环境下系统集成。日本 1989 年提出智能制造系统，且于 1994 年启动了先进制造国际合作研究项目，包括了公司集成和全球制造、制造知识体系、分布智能系统控制、快速产品实现的分布智能系统技术等。欧洲联盟的信息技术相关研究有欧盟的智能交通系统 (ESPRIT) 项目，该项目大力资助有市场潜力的信息技术。1994 年又启动了新的研发项目，选择了 39 项核心技术，其中三项（信息技术、分子生物学和先进制造技术）中均突出了智能制造的位置。中国 80 年代



末也将“智能模拟”列入国家科技发展规划的主要课题，已在专家系统、模式识别、机器人、汉语机器理解方面取得了一批成果。国家科技部正式提出了“工业智能工程”，作为技术创新计划中创新能力建设的重要组成部分，智能制造将是该项工程中的重要内容。

现在，世界主要国家又将“智能制造”提升到更高的战略层面，纷纷提出较为全面、前瞻的国家战略。包括美国的“美国制造”、德国的“工业 4.0”、日本的“产业互联”、中国的“中国制造 2025”、英国的“未来制造 2050”、欧盟的“2020 欧盟地平线”等。

由此可见，智能制造正在世界范围内兴起，它是制造技术发展，特别是制造信息技术发展的必然，是自动化和集成技术向纵深发展的结果。

### 三、智能制造的战略意义

传统的制造系统在前三次工业革命中主要围绕着它的五个核心要素进行技术升级，可归纳为 5M，包括材料（Material，包括特性和功能等）、机器（Machine，包括精度、自动化、和生产能力等）、方法（Methods，包括工艺、效率、和产能等）、测量（Measurement，包括六西格玛、传感器监测等）以及维护（Maintenance，包括使用率、故障率、和运营成本等）。智能制造系统区别于传统制造系统最重要的要素在于第 6 个 M：建模（Modeling，数据和知识建模，包括监测、预测、优化和防范等），并且通过这第 6 个 M 来驱动其他 5 个 M 的要素，从而解决和避免制造系统的问题。

从物联网、云计算、大数据、人工智能、智能机器人、3D 打印和新材料这些新技术的演变和创新而引发的第四次工业革命已经让政府、企业家和社会相关方面认识到其影响将是颠覆性的，是全面的，也是推动“联合国 2030 可持续发展规划”、全球化和绿色可持续发展提供了难得的机遇。

历次工业革命都带来了社会、经济、国际贸易和国际秩序的大变革，此次新技术工业革命也必然颠覆传统产业，创造新的产业和相关市场，推动传统产业转向新的产业链，形成新的巨大客户需求。对未来国际贸易和产业发展趋势的影响。当前，在整个制造业占主要地位的是装备制造业、航天产业、军工产业、汽车产业和交通产业都已经启动并开始实施智能制造；制造业发展主要趋势是在传统智能制造产业领域领先的发达国家仍然处于全球的领导地位，新兴国家积极参与这场产业革命，发展中国家热情投入技术创新的商业应用中，共同推进以智能制造为核心的工业革命进程。

智能制造技术已成为世界制造业发展的客观趋势，世界上主要工业发达国家正在大力推广和应用。发展智能制造既符合我国制造业发展的内在要求，也是重塑我国制造业新优势，实现转型升级的必然选择，应该提升到国家战略的高度。

总的来说，智能制造的发展会对企业的发展战略、国际贸易乃至全球化的未来产生不可忽视的影响。

对于企业来说，发展智能制造的核心是提高企业生产效率，拓展企业价值增值空间，主要表现在以下几个方面：

一是缩短产品的研制周期。通过智能制造，产品从研发到上市、从下订单到配送时间可以得以缩短。通过远程监控和预测性维护为机器和工厂减少高昂的停机时间，生产中断时间也得以不断减少。



二是提高生产的灵活性。通过采用数字化、互联和虚拟工艺规划，智能制造开启了大规模批量定制生产乃至个性化小批量生产的大门。

三是创造新价值。通过发展智能制造，企业将实现从传统的“以产品为中心”向“以集成服务为中心”转变，将重心放在解决方案和系统层面上，利用服务在整个产品生命周期中实现新价值。（赛迪智库）

而各国企业在这一改革和发展过程中的竞争与合作，将有可能重塑国际贸易的规则、以及全球化的内涵。

## 四、智能制造的发展趋势

回顾人类社会发展史，没有任何一种经济模式能够像数字经济一样如此迅速形成并呈现爆发式增长，深刻影响和重构世界经济。数字经济的诞生与崛起，改变了世界经济体系，重构了全球产业发展格局。先进制造技术的加速融合使得制造业的设计、生产、管理、服务各个环节日趋智能化，智能制造正引领新一轮的制造业革命，主要体现在以下四个方面：一是建模与仿真使产品设计日趋智能化；二是以工业机器人为代表的智能制造装备在生产过程中应用日趋广泛；三是全球供应链管理创新加速；四是智能服务业模式加速形成。

据分析，数字经济带来一些颠覆性的新技术，如物联网、区块链、人工智能等，对生产力和生产关系的巨大影响力，有望构造出与当前大不相同的经济组织形态。以3D打印为代表的“数字化”制造技术崭露头角，使大规模定制和简单的设计成为可能，使制造业实现随时、随地、按不同需要进行生产；机器人将在接下来被更广泛地普及，有专家预测，到2030年全世界目前一半的工作将被机器人取代；物联网及最近兴起的区块链也将极有可能为智能制造增添新的活力和方式。

自20世纪80年代末智能制造提出以来，世界各国都对智能制造系统进行了各种研究，首先是对智能制造技术的研究，然后为了满足经济全球化和社会产品需求的变化，智能制造技术集成应用的环境——智能制造系统被提出。日本于1989年提出智能制造系统，并于1994年启动了先进制造国际合作研究项目；美国1992年执行的新技术支持政策包括信息技术、新的制造工艺和智能制造技术在内的关键重大技术；欧盟于1994年启动新的研发项目选择了39项核心技术，其中信息技术、分子生物学和先进制造技术中均突出了智能制造技术的地位。

2008年金融危机以来，在寻求危机解决方案的过程中，美、德、日等国政府和相关专业人士纷纷提出通过发展智能制造来重振制造业。2011年6月，美国正式启动包括工业机器人在内的“先进制造伙伴计划”，2012年2月又出台“先进制造业国家战略计划”，提出通过加强研究和试验税收减免、扩大和优化政府投资、建设“智能”制造技术平台以加快智能制造的技术创新；同年美国还设立制造业创新网络，并先后设立制造创新研究院和数字化制造与设计创新研究院。德国通过政府、弗劳恩霍夫研究所和各州政府合作投资于数控机床、制造和工程自动化行业应用制造研究；德国于2013年正式实施以智能制造为主体的“工业4.0”战略，巩固其制造业领先地位。日本提出通过加快发展协同式机器人、无人化工厂提升制造业的国际竞争力。



智能工厂作为智能制造重要的实现手段和集中体现形式，是实现智能制造的载体和关键。通过生产管理系统、计算机辅助工具和智能装备的集成与互操作来实现智能化、网络化分布式管理，智能工厂进而实现企业业务流程与工艺流程的协同以及生产资源（材料、能源等）在企业内部及企业之间的动态配置。

一方面，实现智能制造的利器就是数字化、网络化的工具软件和制造装备，如 1) 计算机辅助工具，例如 CAD（计算机辅助设计）、CAE（计算机辅助工程）、CAPP（计算机辅助工艺设计）、CAM（计算机辅助制造）等；2) 计算机仿真工具，例如物流仿真、工程物理仿真（包括结构分析、声学分析、流体分析、热力学分析、运动分析、复合材料分析等多物理场仿真）、工艺仿真等；3) 工厂 / 车间业务与生产管理系统，如 ERP（企业资源计划）、MES（制造执行系统）、PLM（产品全生命周期管理）/PDM（产品数据管理）等；4) 智能装备，如高档数控机床与机器人、增材制造装备（3D 打印机）、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备等；5) 新一代信息技术，如物联网、云计算、大数据等。

另一方面，智能制造是一个覆盖更宽泛领域和技术的“超级”系统工程，在生产过程中以产品全生命周期管理为主线，还伴随着供应链、订单、资产等全生命周期管理，如图 1？注意编号所示。

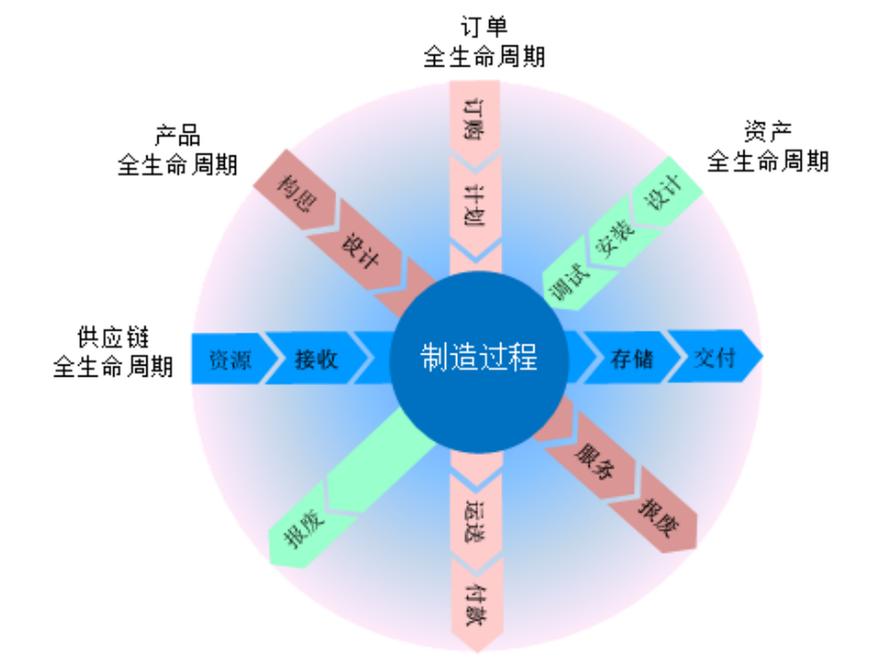


图 2 智能制造生命周期管理

资料来源 中国工业与信息化部

在智能工厂中，借助于各种生产管理工具 / 软件 / 系统和智能设备，打通企业从设计、生产到销售、维护的各个环节，实现产品仿真设计、生产自动排程、信息上传下达、生产过程监控、质量在线监测、物料自动配送等智能化生产。



德国工业 4.0 定义的智能工厂的概念是通过技术创新进程和商务发展进程融合，虚拟现实同实际生产融合产生的数字物理系统来引领新工业时代。智能工厂能够实时通过智能制造信息系统管理整个制造供应链和产品周期。智能工厂可以将物联网、大数据、人工智能、智能机器人、三维设计和云计算统一整合在一起，使智能工厂可以在全球部署。这些技术通过云计算平台统一在一起成为今天全球制造业变革的蓝图。

专家们预计，2022 年，智能工厂的全部生产率增加到原来的 7 倍；智能制造为全球经济在未来的 5 年带来 5000 亿美元到 15 万亿美元的增加值；56% 的制造企业对智能工厂的投资将超过 1 亿美元；43% 的制造企业开始启动至少一个智能工厂项目，另有 33% 的企业在考虑中；76% 的制造企业已经启动和正在考虑启动智能工厂，其中 14% 的项目已经完工 (Capgemini, 2017)

另外，“无人工厂”作为智能工厂中的一个形态，也受到广泛关注，其指的是一个从原材料投入到产品产出的整个过程高度自动化的极少工作人员或没有人工干预的无人工厂。

总的来说，智能工厂是智能制造作为全球经济的发动机和全球化进程的催化剂在第四次工业革命进程中处于核心地位。基于各国制造业的实际状况来分析，在今后十多年里，智能制造对制造业长期影响的趋势；敏捷的智能制造技术标志着制造业进入新时代，物联网、云计算、人工智能的广泛应用使得企业间互联互通，可以及时获得与生产相关信息，高效的劳动力和先进技术设备能够设计和制造优秀的产品和服务，及时应对不同的市场需求。在发达和新兴的经济体中，智能制造不断推进创新发展、出口增长和提升生产率；在发展中国家和地区，智能制造继续提供高生活水平和颠覆性的创新机遇；企业和政府要具备严谨的分析力、远见卓识的视野和创新能力并能够付诸实施才可以把握发展的机遇。

## 五、智能制造的生态模式及市场定位

智能制造的成功生态模式基本可以用以下公式表达：

智能制造 = 政府 (扶持政策、资金) + 国家技术生态系统 + 社会机构投资 + 大企业综合资源 + 中小企业

PPP (政府 + 企业 + 社会资源) 合作模式可以为智能制造早期发展提供充足资源。

智能制造的市场最主要的定位和特点是从生产转向服务、快速市场需求相应、定制化、柔性化。

如：

- (1) 专注利基市场 (单独市场)
- (2) 大企业合作伙伴 (融入大企业供应链, 跨产业合作)
- (3) 颠覆性创新 (新市场)
- (4) 非直接用户市场 (产业链中间产品市场).

智能制造这种生态模式及市场地位的挑战 (劣势) 主要在于：缺少专业技术员工、各地区技术及商业标准、企业技术基础相对低、对中小企业的商业信任不足、对社会信息察觉不足、缺少充分的资金支持、缺乏技术和商业生态系统、非统一标准设备、产业及设备升级转型的高成本等。



智能制造生态模式的优势主要在于：开放的创新技术平台（物联网、大数据、人工智能、机器人、云计算、3D 打印、互联网、工业智能）、标准的融合、国家支持战略、企业家对智能制造的意识和强烈需求、第四次工业革命历史进程、全球化进程、高速便捷交通与物流、成熟电信产业、定制化的需求、巨大关联市场、联合国 2030 发展规划（环境保护要求）、低成本高产出、高效生产满足市场实时需求、劳动生产率大幅提升因为减少了大规模生产（产生过多库存）等。

## 六、智能制造全球相关产业市场概述

近 30 年来，全球化进程不断推进，全球对外直接投资和出口的增长超过了国内生产总值的增长。全世界各国生产总值 (GDP) 大约增长率达到 4.0%，从目前的 62 万亿美元增加到 2030 年的 135 万亿美元。这样的增长来自于（1）基础设施建设。在新工业革命时代，为实现本国产业可持续发展，所有的国家都投入巨资建设基础设施。根据麦肯锡的 2017 年分析报告预测，从 2016 年到 2030 年基础设施投入包括港口 9000 亿美元、机场 13000 亿美元、铁路 51000 亿美元、水利 75000 亿美元、电信 83000 亿美元、道路 11400 亿美元、电力 147000 亿美元；（2）汽车业在实现自动驾驶的智能汽车及电动汽车在满足共享交通、交通互联服务、汽车功能升级等新商业模式下，为汽车产业带来 30% 的收益，达到 15000 亿美元，到 2030 年，全球电动车每年的销售预期为 2440 万辆；（3）全球建筑业在 2030 年市场增长 85% 达到 155000 亿美元规模，中国、美国、印度三国占世界 57% 的市场。智能建筑成为今后发展的方向。同时，我们也看到，在 2030 年全球人口增长到 85 亿人，同时带来 3200 亿美元消费需求 (UNDESAP, 2015)，在 2030 年人工智能在物流和交通市场上达到 103000 亿美元，而在这个过程中交通物流的数字化比例为 28%，汽车产业数字化为 41%，电子产业数字化为 45%，(CISION, 2017)；（4）到 2035 年全球化工产业将增加 56000 亿美元收益；（5）人工智能产业到 2030 年对 GDP 总值的贡献将达到 157000 亿美元 (PwC,2017)；（6）智能制造业对物联网的贡献超过千亿美元：预计在 2020 年全球制造业的物联网解决方案市场将达到 700 亿美元规模；在 2016 年制造业的物联网市场为 1780 亿美元规模；在 2020 年，全球在物联网的应用市场将达到 12900 亿美元 (IDC)；物联网将持续推进商业变革和技术创新如：机器人、认知计算和虚拟现实等 (Vernon Turner, IDC)；（7）依照 Statista 2017 年的市场数据，大数据产业在 2026 年的收益预计达到 922 亿美元之间的市场规模；（8）Tom Simonite 2017 年报告指出，智能芯片产业方面，美国英伟达 (GPU) 的特斯拉 Tesla P100 智能芯片，将 150 亿个晶体管封装在一个硅芯片上；美国 Tensor Processing Units 公司以及其他专业芯片企业将推出符合人工智能和机器学习的特殊芯片来满足需求；（9）Markets and Markets 在 2017 年预测，工业机器人产业市场规模，从 2016 年的 381.1 亿美元增长到 2023 年 717.2 亿美元，年均增长率达 9.60%；3D 打印产业到 2023 年 3D 打印产业市场规模将达到 327.8 亿美元，从 2017 年到 2023 年复合增长率为 25.76% 到 2030 年全球生物 3D 打印市场规模将达到 1500 亿美元 (David Russell Schilling, 2015)。

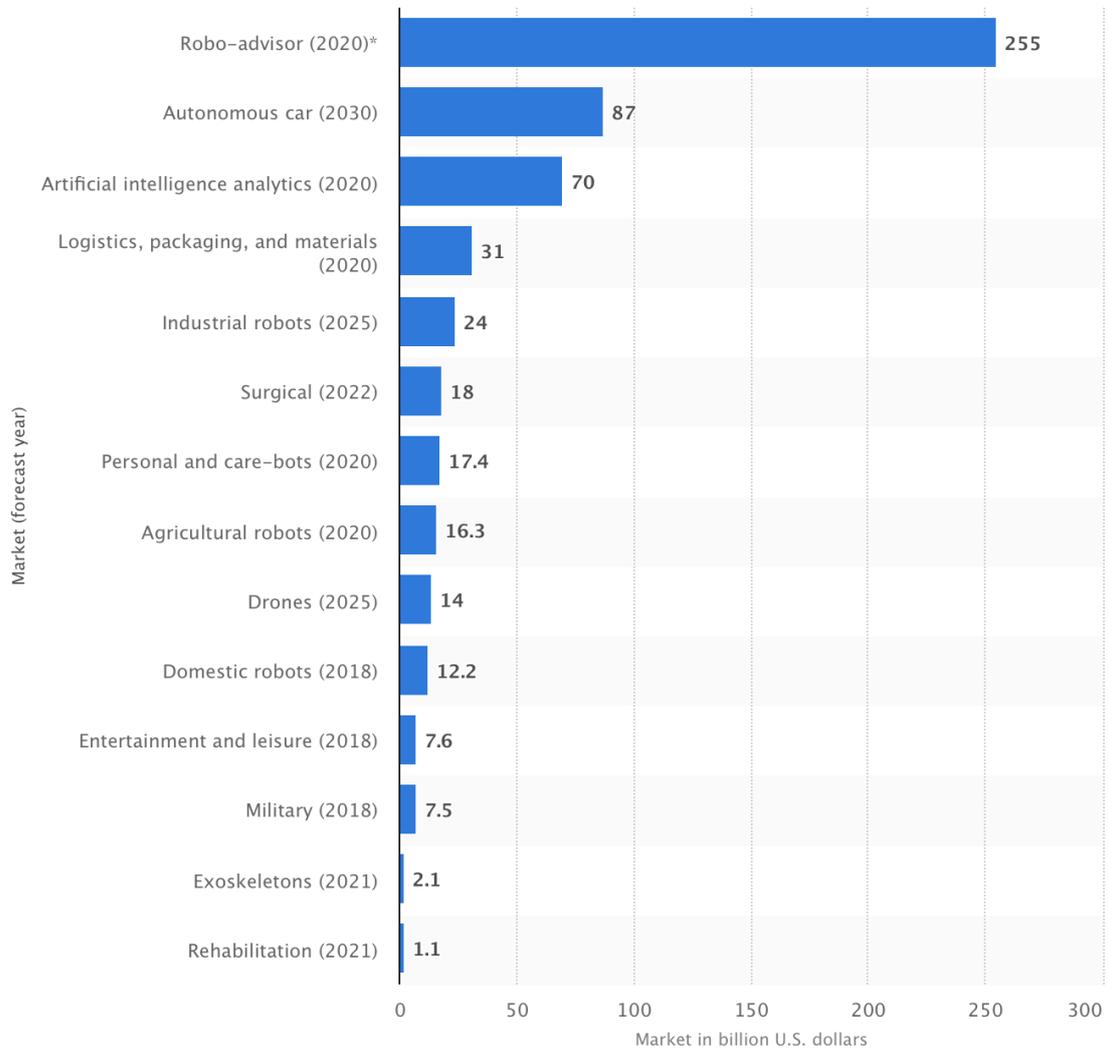


图 3：全球行业人工智能预测 单位：10 亿美元  
资料来源 世界机器人联盟



## 第二章 智能制造国家战略及技术标准

全球主要制造业国家纷纷出台了对智能制造技术在大中小企业中实施的产业政策、相关支持和投资规划，期望本国的智能制造产业在全球第四次产业革命进程中处于绝对领先的地位。各国政府、中小企业、研发机构和社会相关组织应该广泛交流与合作的方式共同提升制造业发展和包容性创新，以实现他们可持续发展的目标；同时我们需要专注整合研发、创新、政策和提升技术储备来打造一个生态体系。目前很多技术并没有得到充分的开发和研究，没有被重视，这需要中小企业负责人、政府决策人和其他相关机构人员根据不同的蓝图，对如何在实际生产中更坚定的参与到这些新技术的发展决策中，这是对未来几十年，各个国家能否在全球建立一个智能制造生态体系最为重要的。生态体系不仅基于国家范围，更强调地区和世界范围解决现实存在的问题。从中小企业、大企业、研发机构、政府、社会投资机构、社会组织和产业机构都应从人类命运共同体的角度积极参与和支持打造这样的生态体系实现共赢共荣。

尽管各个国家有自身不同的标准，但目前它们已经启动交流与合作。在今后十几年终将实现严格统一的智能制造标准。基于新兴城市和传统产业集聚区的网络形成，以企业、研发机构、科学技术人才、社会资源和投资机构等为核心的创新网络将打破国家的边界实现全球化发展，智能制造企业将借助生态体系在全球范围拓展。

### 一、世界主要国家智能制造战略介绍

智能制造和相关颠覆性创新技术将涉及生产的各个环节及全球产业链，它们的完美融合将提升新的战略和与之相关产业的效益；这将重新塑造从生产、相关能源和劳动力成本结构到客户需求转移和制造业贸易的相关方的产业价值链；国家的战略和政策引导企业采取有比较优势的发展蓝图，去引领智能制造产业的发展，并为实现产业发展提供相关人才和相应支持，激发企业能够积极高效的通过研究、开发和应用实施智能制造，国家战略在这一伟大的进程中起到决定性的作用。

#### 德国

“工业 4.0 德国政府创新发展国家战略”是 2011 年 11 月德国“2020 高技术行动计划”的组成部分；在 2012 年 1 月到 10 月德国国家科学工程学会工业 4.0 工作组提出的实施建议；工业 4.0 主要包括在制造业融合数物信息系统和物联网技术在生产流程和物流中广泛应用 (German Federal Ministry of Education and Research, April.2013)。

1. 德国经济事务发展部同教育科研部共同发布启动德国国家工业发展 4.0 战略。该战略核心目

的是加速并彻底实现制造业数字化以及增强生产之间内在的数字链，打造智能制造产业链和商业模式。

2. 基于政府高技术发展国家 2020 战略，此计划将对未来用 10 到 15 年时间通过对技术研究给予支持，建立产业合作伙伴网络和实现工业 4.0 标准。工业 4.0 平台已经将工业 4.0 落实为行业规范，并成为产业服务联系的核心点。
3. 建立 2 亿欧元的基金支持上述计划。

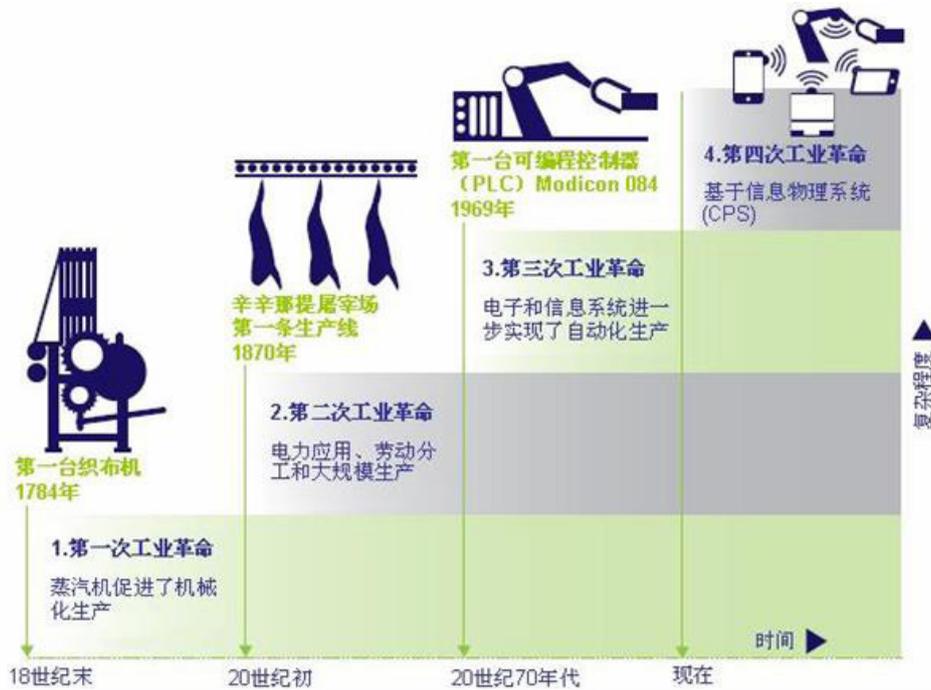


图 4 工业革命发展史

资料来源 德国工业 4.0 报告

德国通过相关机构组织，对相关标准不断提升和优化并参与部署，在国家战略层面不断得到重视。从技术转移的角度来看，这个平台模式可以被其他国家借鉴，虽然是国家级的产业结构，也可以根据自身的特色和条件予以考虑。伴随着德国工业 4.0 产业战略倡导，成为第一个推进工业化的新思路，产业变革已经成为全球的趋势；许多国家如芬兰、法国和英国已经采取具体步骤在制造业中支持物联网和数字物理系统的应用。有来自 159 个组织超过 300 人参与工业 4.0 平台建设。(EU Commission, 2017)。

### 美国

智能制造进程已经成为美国工业发展战略的核心，美国政府成立了智能制造领导联盟，通过领导公私合作伙伴模式，专注于智能制造技术的相关应用研究和相关的技术开发。美国的政策还要求必须通过公私合作模式采取高效的智能制造产业战略，保持美国在全球经济发展中的竞争优势；政府将通过学术、产业和政府合作的研发项目，激发制造业创造力，推进产业整体向前发展，分散风



险及共享技术创新的成果。除了美国政府对研发预算 40% 的投入,私人商业部门应该更多的进行投资。此外,美国政府还发布“先进制造国家计划战略”;在 2012 年,美国推出“国家制造业创新网络战略”,在 2016 年 9 月更名为“美国制造”战略,帮助美国确保其在先进制造进程和相关制造技术广泛的领导地位,实现美国工业再繁荣进程的中流砥柱。按照这个战略,美国至少要建设 4 个制造业创新研究机构开展智能制造相关技术研究和推广 (NIST,2017)。美国第一家从事 3D 打印技术研究创新研究机构成立于 2011 年,投入 2.4 亿美元专注于打造美国在 3D 打印技术领域的能力和优势,还有来自私营联合机构和非联邦政府 4.6 亿美元的配套资金建立数字化制造及设计创新研究机构;美国总统科学委员会在 2011 年 6 月给建议联邦政府为大学、企业和雇员提供更充足的资源,确保美国在先进制造的领导地位,建议开展技术创新特别是制造创新,实现相关机构共同繁荣,确保美国在创造高质量制造业岗位的新技术处于领先地位,增强美国在全球制造业的竞争优势。为此,美国还成立了先进制造办公室,以 1.4 亿美元资金支持,形成了个由学术机构、产业、非营利机构组成的联合体,共同推进全美生产部门提升生产效率和能源利用率。另外,美国联邦政府拨款 6 亿美元支持产业、学术机构和州政府的研发,认为智能制造系统是一个全面集成与协作的制造系统,能够依据工厂条件及客户需求来实时调整生产和物流的智能生产体系。

### 日本

日本产经省在 2015 年基于产业发展基础,建立机器人推广协会,成立了一个公司合作实体,通过机器人和物联网技术,推动商业模式再造;政府部门计划建立一个支持中小企业掌握物联网的技术基地和物联网发展实验室专注于更契合新商业部门进入产业的物联网技术研究,希望通过使用物联网提升制造业的数字化水平,更能在生产场地对生产提供优化,同时对供应链提供优化。建立产业互联国家战略是日本产业经济综合发展战略目标;企业的生产数据累计和更广泛的使用,将使数据在不同部门流转并产生附加价值。日本政府机构鼓励本国相关机构支持中小企业发展,政府通过推出更多的便利政策,提升产业互联战略。此外,日本和德国政府为利用新技术解决社会问题更紧密的合作,日本将会同国际标准组织“IEC & ISO”开展深入合作 (METI,2017)。日本认为,第四次工业革命的物联网技术、人工智能和大数据产业界扮演核心的角色,产业互联战略的主要概念框架是将社会生活各个方面包括人作为客户、供应商、设备、生产系统、企业等广泛联系起来,创造新的附加价值解决各种问题。Source :(METI: Ministry of Economy, Trade and Industry, Japan, 2017)

### 韩国

韩国的制造业创新 3.0 战略已广泛实施。战略由三部分组成:创造有新特色的制造业产业集聚区、加强原有的优势产业、为实现创新发展而建立并提升相关产业基础设施。该战略计划提供 9.72 亿美元的拨款在 2020 年建立 10000 家软硬件融合的智能化工厂;考虑到韩国中小企业占全国企业的 99%,且它们的出口持续增长,政府将根据不同的需求培养 40000 名能够现场操作全自动智能化设备的专业人员。为了适应第四次工业革命所带来的产业全数字化和快速发展的自动化,韩国政府计划到 2020 年培养 10000 家智能化工厂,到 2025 年培养 30000 家智能化工厂”的目标 (export.



gov,2017)。

韩国政府计划扶持相关领域数字化融合的制造业,包括能源信息化管理和产业安全生产的部门,不仅对核心材料、零部件的开发,而且对工程、设计和软件优势产业都采取集中支持的政策;对大企业 and 它们相关的二三级企业根据价值和技术发展的差异,支持其在后续发展和价值传播中加强企业的自动化建设,特别是大部分中小企业从事锻造、加工、焊接、塑形、热处理和表面处理(这些被认为是低端的基础产业);对中小企业需要大量解决它们初始期在技术缺乏和资金不足;建立一个符合国际标准的开放测试平台,建立母工厂,来确保本地企业的解决方案和设备开发间的协作能力(母工厂指的是能够验证和达到真实场景的测试平台,在母工厂全部的生产过程由物联网和数字物理信息系统来实现;此外,母工厂不仅可以测试生产过程,还可以测试新开发的软硬件,以及它们各个部门的合作协调。同美国和德国的母工厂功能类似,帮助本地制造业遵守国际标准,追赶发达国家的智能制造发展水平)(Marie, Kim, 2017)。

### 中国

“中国制造 2025”国家战略,目标是中国产业全面升级,打造更加高效的整体能力,作为衡量制造业核心能力建设、实施的战略,同时制造业追赶世界的发展方向,占据全球产业链的中高端。

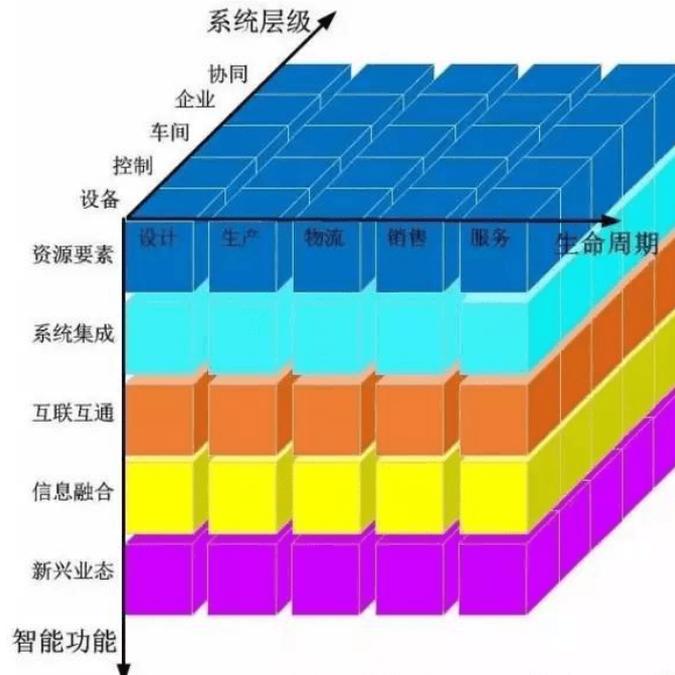


图 5 中国智能制造架构图

资料来源 中国工业与信息化部 中国制造 2025 报告

中国政府建立“智能制造”30 亿美元特别资助项目;这个战略的指导方针是追求创新驱动、强调质量大于数量、加强绿色环保开发、优化中国产业结构和培养优秀人才;战略指出相关设备的核心材料和零部件在 2020 年实现 40% 的国产化率,在 2025 年为 70%;对于实现国家整体布局具有重



大意义，包括提供公共财政资源、金融工具、制造业创新中心的建设支持，同时呼吁依靠社会机构，加强对中小企业知识产权的保护和更高效的使用知识产权，允许企业自身申请相关技术标准，促进他们更好参与国际标准体系建设。虽然主要目标是产业升级，但有 10 个优先的计划：新的先进信息技术、自动化装备和机器人、航空航天设备、航海设备和高技术航运、现代铁路交通设备、新能源汽车和装备、电力设备、农业设备、新材料、生物制药和先进医疗产品（Scott Kennedy, 2015）。

这一战略系统的架构是一个三维立体的智能制造体系。通过三维模型点、线、面来更好的理解相关标准和通过可编程控制器、工业机器人和工业互联网作为案例解释智能制造系统结构；随着信息技术和先进制造的高速发展，智能制造设备发展的深度和广度得到提升，新型传感器的成型，智能控制系统，产业机器人，成套自动化生产线通过智能制造设备体系和工业系统得到展示，具有独立知识产权的智能制造设备实现突破，但是制造业各个相关生产部门和关键的互联互通网络，依然束缚着智能制造的发展，问题依然没有解决，急需提升跨行业和技术智能制造标准。

### 英国

英国的未来制造 2050 战略主要描述从现在到 2050 年长期发展的远景规划，包括创新技术在推进这一变革中扮演核心的角色；计划在今后 6 年里投入 2.19 亿美元在制造技术研究院所说的具备 7 个优势的“高价值制造业腾飞计划”，该机构同产业、学界和其他机构合作致力于对创新性制造技术开发和测试。这个计划推动通过申请获得相关尖端技术和专业技能去创造产品和生产过程以及相关服务 (Institute for Manufacturing,2016)。

到 2050 年，英国计划其制造业广泛使用这些颠覆性技术并创造主要价值；其中许多技术将改变传统的制造业，如 3D 打印制造技术已经被广泛应用，效果显著；一些最重要的技术和配套技术得到广泛应用，如信息交流技术、传感器、高新材料和机器人；整合到未来的产品和网络中，这些将共同促进产品设计、制造、产品供应和客户定制的基础流程转变。英国政府将对数字化制造产业价值链：云计算、先进软件和传感器技术对产业价值链的变革提供更多支持，这将改善客户关系管理、生产过程控制、产品创新、物流、产品追溯和安全系统，企业可以通过这些技术更好的仿真设计，并将这些技术应用在复杂的生产过程中为客户和供应商提供服务。

### 印度

制造业在印度作为一个高速发展的产业，印度期待在 2020 年成为世界第 5 大制造国家，在 2025 年实现 1 万亿美元的收益。

印度政府把建造 100 个智慧城市作为第四次工业革命进程的前奏而发布“智慧城市使命”国家战略；另外，印度国家科学院正在班级罗尔，利用从波音公司的种子资金启动建造印度第一个智能制造工厂；德国汽车零部件企业博士公司计划在 2018 年在印度建立 15 个智能制造中心；通用电气公司投资 2 亿美元在印度建立一个覆盖供应链、运输网路和服务机构的智能生态体系；为实现这个目标，印度政府通过提供简单的低税政策吸引国外投资 (Make in India,2017)。



## 欧盟

欧盟将通过巨大的投入来确保在智能制造产业的竞争优势，为在 6 个关键领域和相关技术上保持领导地位，包括的“2020 欧盟地平线”项目计划投入 190 亿美元，目标是到 2020 年实现先进制造；从 2014 年至 2020 年期间，投入 78 亿美元打造公私合作伙伴计划，投给智能制造领域的“未来工厂”项目；投入 1200 亿欧元到 2020 年用于工业互联网建设。同时，欧盟对未来工厂规划的蓝图是实现高附加值制造、高效运营、无污染、保护环境和符合社会可持续发展为目标。

## 瑞典

2016 年 4 月瑞典宣布新的“智能产业”战略包括 4 个核心领域：在工业 4.0 方面提出拓展数字化潜力，领导产业变革，鼓励新的商业和组织模型激发新技术的潜力；在可持续生产方面提出加强生产效率和提高原材料利用率，把握数字化机遇超越企业的所在地；在面对产业新技能高速发展提出对关键部门提供相关支持，数字化革命带来新知识需求，加强数字时代基础设施建设；在测试平台环境方面提出打造瑞典自身的为高新技术提供本地测试平台。为此，瑞典计划投入 1800 万美元支持实现产业智能化初创期的不同成果，提供 650 万美元给瑞典国家创新中心，去推动同数字化制造企业合作，投资为 170 万美元的支持创新制造企业项目，投入 850 万美元帮助中小企业实现数字化。

## 二、智能制造相关技术与标准

如前所述，在未来几十年，智能技术打造的智能制造技术会创造性的实现第四次工业革命。智能制造技术基于大数据、云计算、3D 打印、人工智能、智能传感器、新材料和互联网，综合应用于制造整个流程的智能数字化，它是同互联网充分融合的技术。智能制造是动态的、不断发展的和不断丰富的技术体系；以客户需求驱动生产高质量，并不断演进和发展先进技术，也可以通过 3D 打印技术满足大量客户需求，提供更好的产品，降低过度浪费，降低成本增加效率；更加显著的特点是及时满足客户定制的需求，提升客户的满意度，严格根据客户需求，快速反应和实时调整生产；在不需更多生产人员的条件下可以获得高品质的产品和效益；国家和企业都已经将智能制造作为未来几十年长期获得竞争优势的产业发展战略。

### 智能工厂

德国人工智能研究中心（DKFI）在 2012 年提出，智能制造工厂依据服务和可持续发展的商业实践为导向，它可以实现灵活的、自动匹配的、自动容错的、自我学习的、风险管理的自适应功能。未来制造业的需求将沿着面向产品需求、实现更好地降低成本实现高收益的趋势发展。智能制造工厂能够直接面对动态发展的市场和竞争直接优化调整生产，为此高级自动化成为智能制造工厂的标配：通过物网络柔性的远距离和大范围的自动控制生产过程，柔性制造系统通过对实施生产条件的反应来全面优化内部生产流程，可为客户量身定做，可在全球范围的生产商网络自动自组织进行优化匹配。通过这种自下而上的生产价值模型，利用网络化系统通过技术服务创新，节约时间和成



本获取更多的市场机遇。到目前为止，制造控制过程和生产网络还集中在一个独立工厂，这些独立的工厂未来很可能消失，更多的工厂甚至不同地区的工厂将通过网络链接。

### 无人工厂

一个从原材料投入到产品产出的整个过程高度自动化，将极大降低工作人员或实现无人干预的无人工厂。这家日本机器人公司 FANUC 在 2001 年开始运营无人工厂。

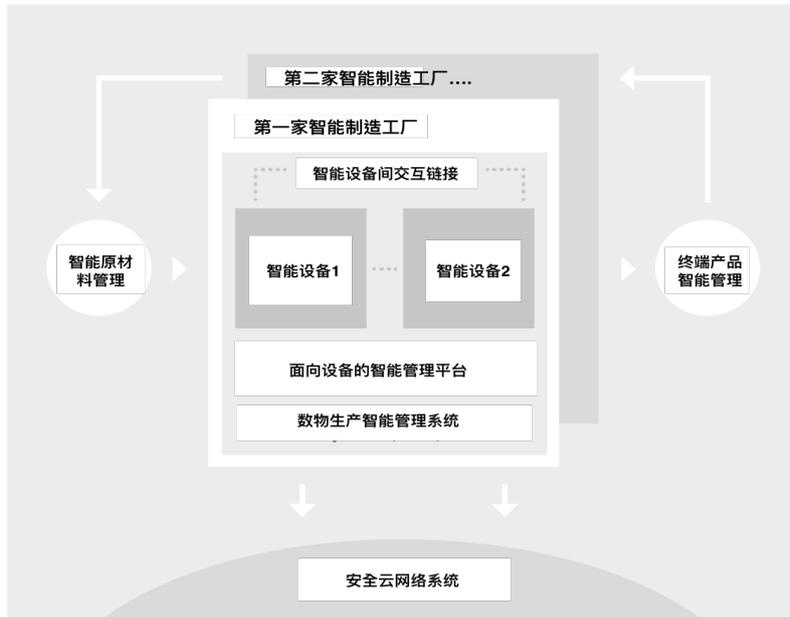


图 6 工业 4.0 智能制造工厂信息交互结构图

资料来源 德国人工智能研究中心

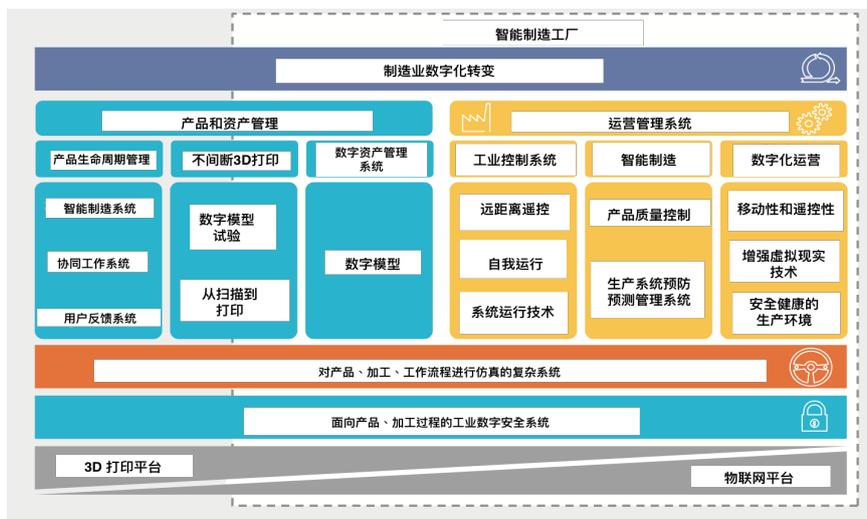


图 7 智能制造工厂架构图

资料来源 Capgemini 数字转换研究院分析

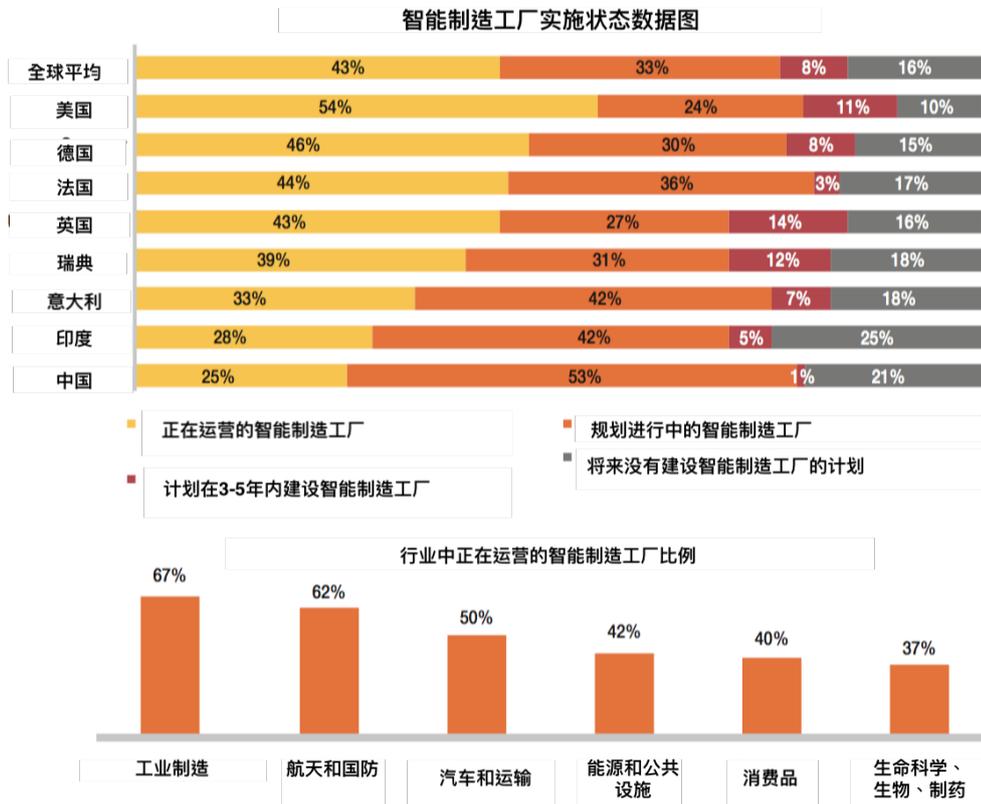


图 8 智能制造工厂在不同国家和不同行业实施情况

资料来源 Capgemini 数字转换研究院分析

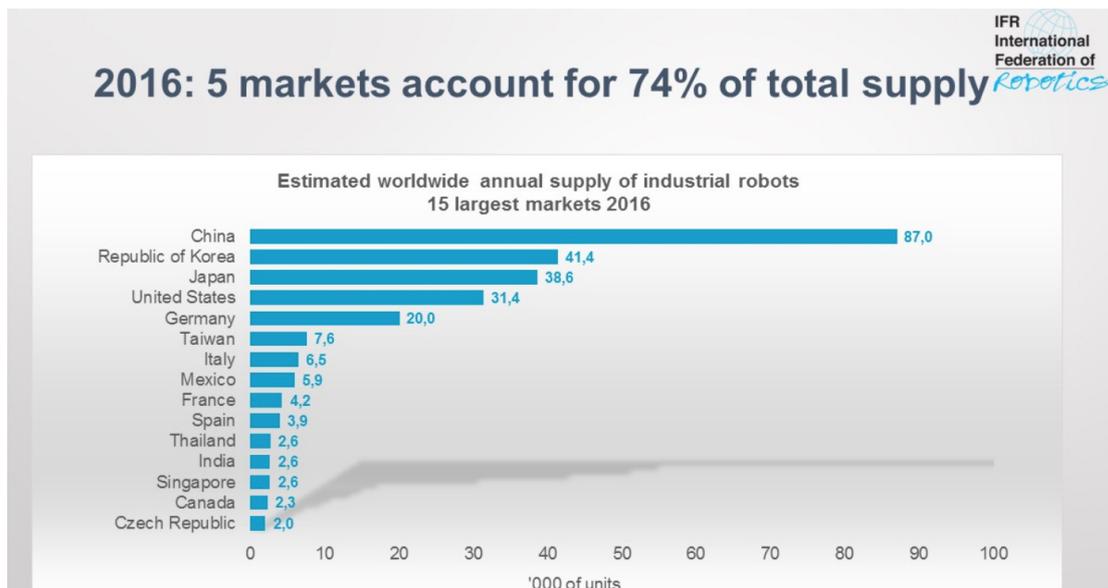


图 9 2016 年 15 个全球工业机器人供应最大的市场

资料来源 国际机器人联盟



## 工业机器人

《经济学人》杂志在 2008 年就提出，“机器人变得更灵活和聪明，他们繁荣的时代即将到来”。

根据国际机器人联盟发布的信息，世界第一家机器人的公司是美国的 Unimation, 由 Devol 同 Joseph F. Engelberger 在 1956 年制造（国际机器人联盟 IFR,2017）。工业机器人被设计成根据制造和生产程序设置来搬动原材料、零部件和工具。工业机器人对制造业重新塑造，经常被用于不适合人工作的危险和人不适应的条件下工作；工厂将工业机器人固定在车间实现低废品高产出的生产，实现了自动化的装配生产线。目前，工业机器人的这种生产能力不断提高，应用到各种类型的制造业生产中。预计工业机器人将从 2016 年的 1,828,000 台增加到 2020 年的 3,053,000 台；在 2020 年增加 950,300 台，欧洲为 611,700 台；日本机器人从 2018 年到 2020 年阶段数量快速增长，在 2020 年亚洲将有 190 万台机器人被使用，中国 2013 年开始每年采购的机器人数量超过其他国家的数量国际机器人联盟（IFR,2017）；许多机器人生产厂商已经将机器人作为一种生产服务提供给哪些初创企业和轻资产的产业使用；人工智能专家艾普莉·格拉泽（April Glaser）认为，在 2014 年具有更好的适应性和灵活性的人机合作机器人的出现成为一个智能合作机器人的发展趋势。如图为纽约研究性风投资机构 Loup Ventures 所作关于机器人的市场数据。

这些机器人被设计成具备在工作中不断学习的设备，他们能够替代人从事繁琐重复的工作如装配工作具有战略意义；在现代汽车制造业，工业机器人同工作人员一起在提高他们的生产效率中扮演着重要的角色；他们可以提供更加安全并具有保护人类免于伤害的功能；Motoman SDA 系列 7 轴机器人可以设置任何满足工作需要的位置；他的使用可以避免像人类（6 轴）的手臂所无法到达的位置，避免无法完成复杂的工作，全角度。（Josh Cable,2012）

另外的发展趋势是机器人之间知识的互相学习，非常感谢物联网技术可以使设备之间通过网络实现提醒、运营详细资料和报告进行交互，这大大减少的停产时间增加生产率（Will Knight ,2016）；机器人通过人工智能算法实现了更具人性化的功能如语音和图像的识别，判断和交互的能力（AI technology）；Fanuc 公司已经开发出具备更好安全软件的机器人，使得工厂可以开辟专门的机器人生产专区；低成本的机器人是对人工不足的补充（IFR, 2008），全球平均人工成本在 2025 年会节省 16%，在美国可节省 22% 的人工成本，甚至像中国这样低人工成本的国家也会节省 18%，中国目前是最大的机器人市场，占有超过 25%，这一比例还在增长。

亚洲（特别是中日韩）和澳大利亚占到世界三分之二的机器人销售市场，然后是欧洲和美洲，机器人不需要医疗、保险、工资、休息，只需要少量的能源和灯光；同样在计算机装配厂，完成同等工作每件需要的成本只有 4 美元（人工则需要 24 美元）（BCG,2015）。下图介绍的是由世界机器人联盟提供的“工业机器人市场”数据以及波士顿咨询公司提供的对于采用先进机器人之后节约的人工成本的分析：

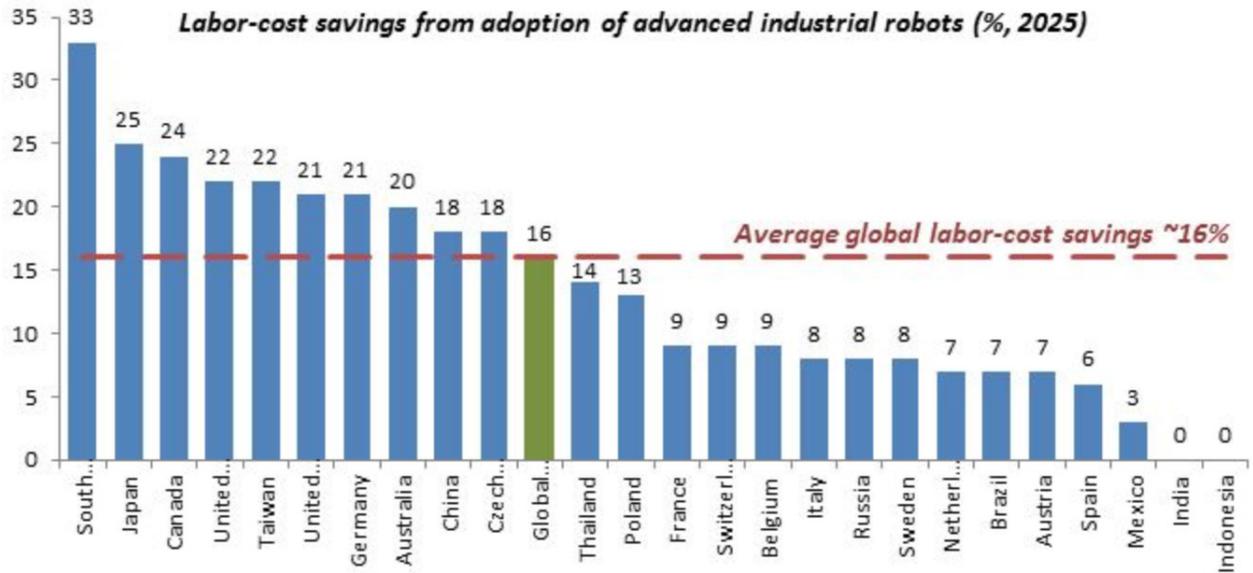


图 8 预计 2025 年采用机器人的先进制造可以节省的人工成本分析

资料来源 波士顿咨询集团

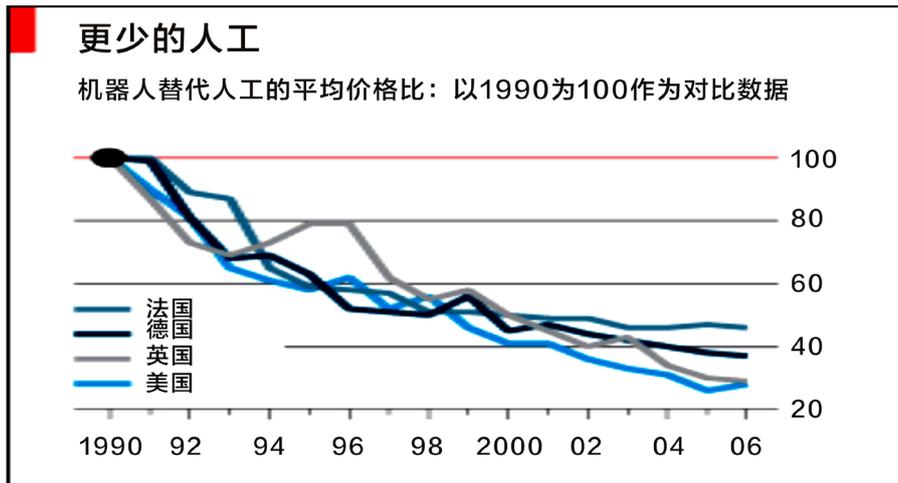


图 9 从 1990 年至 2006 年机器人代替人工的性价比

资料来源 国际机器人联盟

## 工业人工智能

人工智能作为一个学术专业词汇出现在 1956 年。作为计算机科学的一个分支领域，人工智能的目标是不断开发计算机的能力，而是使它辅助人完成智能工作，甚至从事人工的作用。今天，从 50 年前第一个工业机器人到现在的人工智能和机器学习已经发生巨大的变化，人工智能已经广泛的应



用在建筑业、3D 打印、自动汽车驾驶和工业机器人。2030 年人工智能对全球 GDP 的贡献超过 14% 达到 157 万亿美元，中国从中获得的经济收益达到本国 GDP 的 26%，北美达到 GDP 的 14.5%，总计等同于 107 万亿美元，对全球经济产生 70% 的影响力 (PwC,2017)。现在科技使得机器自我学习能力已经取得巨大进步，人工智能芯片和系统缩小了计算机同人类能力上的距离。

### 物联网

Kevin Ashton 先生作为一个技术先锋，建立了麻省理工学院的自动身份识别研究中心，这个中心创造一个全球 RFID 标准系统，命名为物联网，通过无处不在的传感器将客观物体通过互联网连接在一起 ( MIT Auto-ID Lab,1999)。物联网通过实现设备、数据、人员链接将运营操作形成数据流，极大提升制造处理能力和生产效率，为现代工厂提供一个进入智能制造时代的发展机遇。物联网设备使工厂越来越智能，应用范围从许多精细的传感器到实现自动化生产的工厂使用的机器人。一个工厂要面对广泛的供应商、第三方服务、消费品、资产物品等，物联网系统可以通过第三方提供解决方案，使工厂可以实现远距离可视化管理和相应的商业运营模式。物联网在智能制造工厂可以提升 30% 的市场订单反应效率，减少计划和设备成本 40%，全面提升 15% 的生产效率 (Proto Labs,2017)。业界估计在 2016 年物联网总体上获得巨大的资金投入，包括制造业领域的 1780 亿美元、交通业 780 亿美元、公共设施 690 亿美元，到 2020 年全球物联网市场为 12900 亿美元 (IDC， 2017)。物联网继续全力推进产业变革和创新并提升市场的快速增长，如机器人、人工智能的认知计算能力、虚拟现实技术，下图描述的就是“物联网技术路径” ( Figure source: IEEE ) :

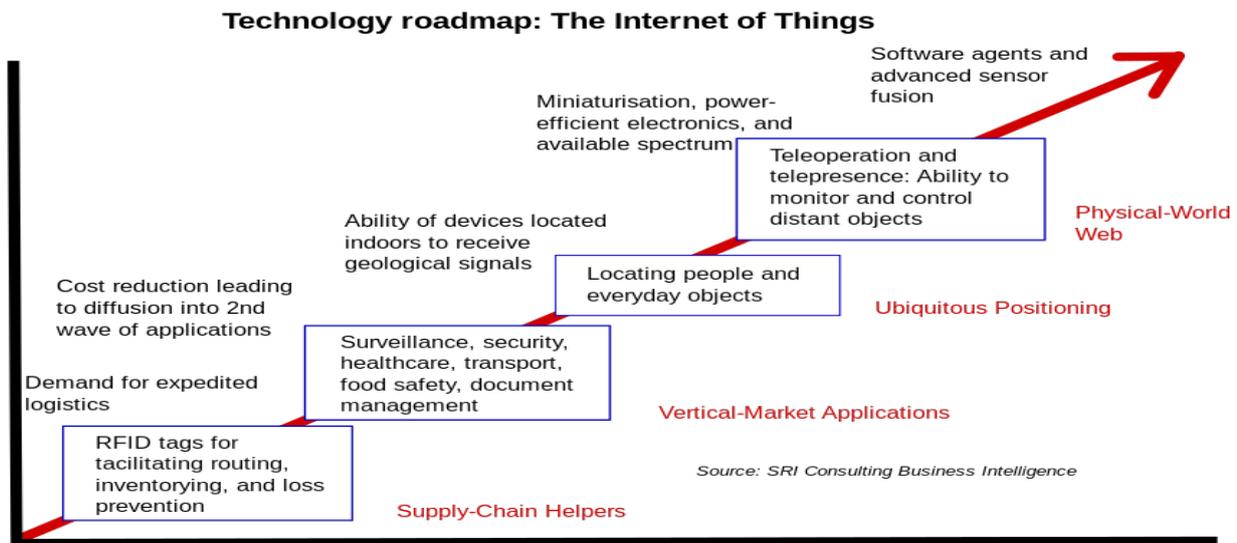


图 10 物联网的技术路线图  
资料来源 SRI 商业智能咨询公司

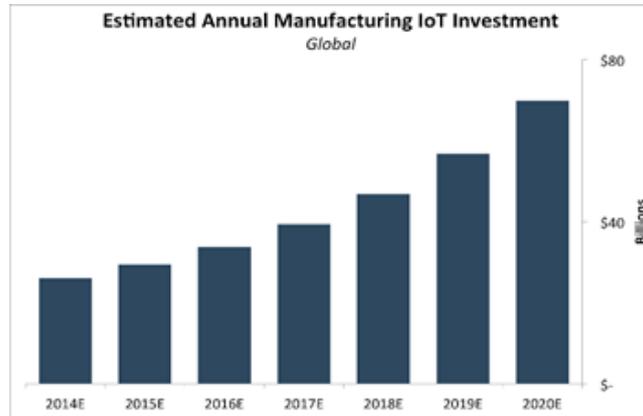


图 11 2020 预测全球制造业物联网投资量  
资料来源 BI 商业智能机构

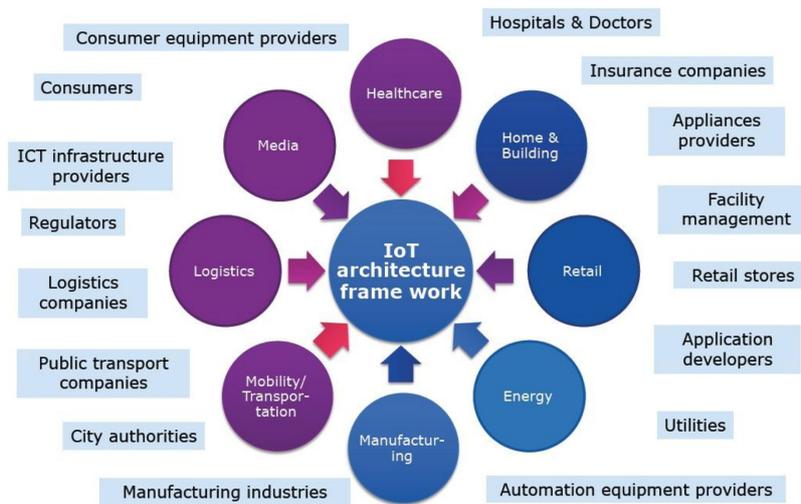


图 12 物联网在不同行业应用和互联  
资料来源 世界工程师协会

## 人工智能芯片

生产系统主要依靠智能算法和人工智能芯片实现像人类的智能，更接近人脑处理能力的强大芯片增强了处理能力，加上量子计算、神经网络芯片等，对人工智能不断的发展非常重要 (Dom Galeon, 2017)。这些著名的公司如百度、微软、谷歌、脸书、英特尔、亚马逊等都专注人工智能芯片 (CPU, GPU, FPGA 等) 的研发, FPGAs 结构的人工智能芯片能够在高速的运行中对来自不同数据中心的需求和人工智能建议做出反应并重新设定程序, 这个芯片可以为不同的人工智能结构模型和任务从新设定程序。Nvidia 的 (GPU) Tesla P100 芯片, 在一个硅片上集成 150 亿个晶体管能偶支撑人工智能极限运算的深度学; Tensor Processing Units (TPUs) 芯片, 是可以满足人工智能特殊要求和机器学习的芯片 (Tom Simonite, 2017)。

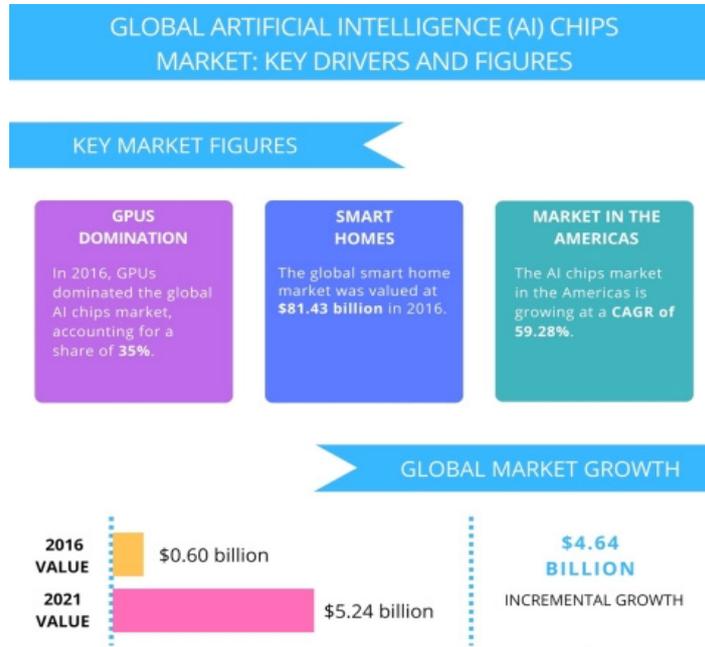


图 13 全球智能芯片市场及功能划分  
资料来源 TECHNAVIO 咨询公司

这些芯片的发展为一系列领域的变革发挥重大的影响，如自动驾驶、药物发现、个人定制药品、智能助理、机器人技术、大数据分析、计算机安全，等等。新的芯片还能更快、更好处理对语音识别、图像识别和文字搜索的相关任务。与此同时，为人工智能、深度学习、机器学习而设计的低精度芯片越来越具有优势。低精度处理器能更好的适应神经网络计算平台和加快部署以及深度学习，全球人工智能芯片在 2021 年复合增长率将达到 54%(Technavio, 2017)。下图介绍的是“全球人工智能芯片市场特征”（Figure source: Technavio,2017）：

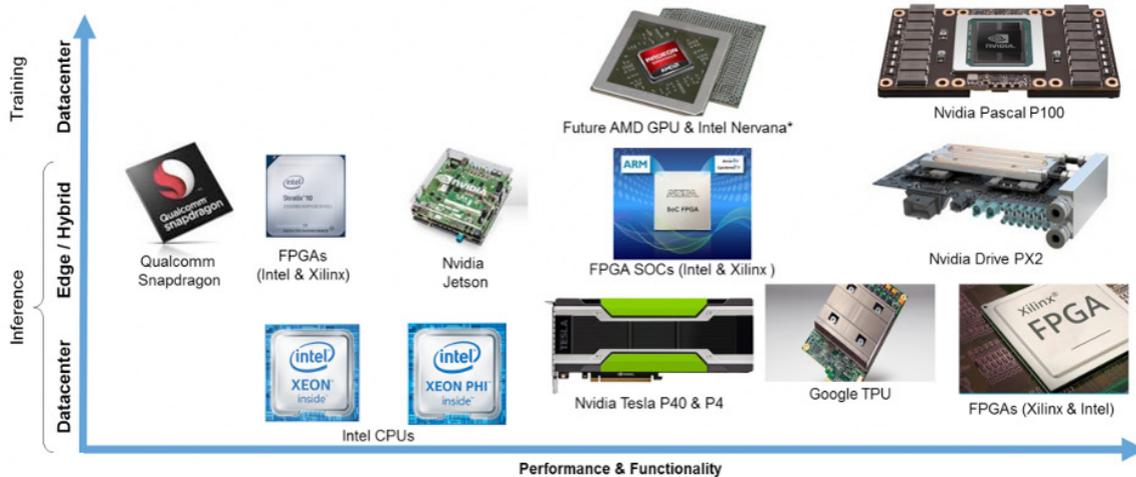


图 14 世界主要智能芯片功能和性能  
资料来源 MXX 分析和战略咨询机构



## 云计算

2006年亚马逊公司发布的“灵活的计算云产品”提出云计算概念，满足通过网络分享无处不在的计算资源，进行自动配置的模式（如网络、服务器、存储、应用、服务等），用很少的管理和服务合作快速提供服务和释放资源。这种模式包含5个基本特性、三种服务模型、四种部署方式（NIST, 2011）。云计算应用于智能制造中是一个新的模式：“云制造”，实现无处不在自适应便捷的基于

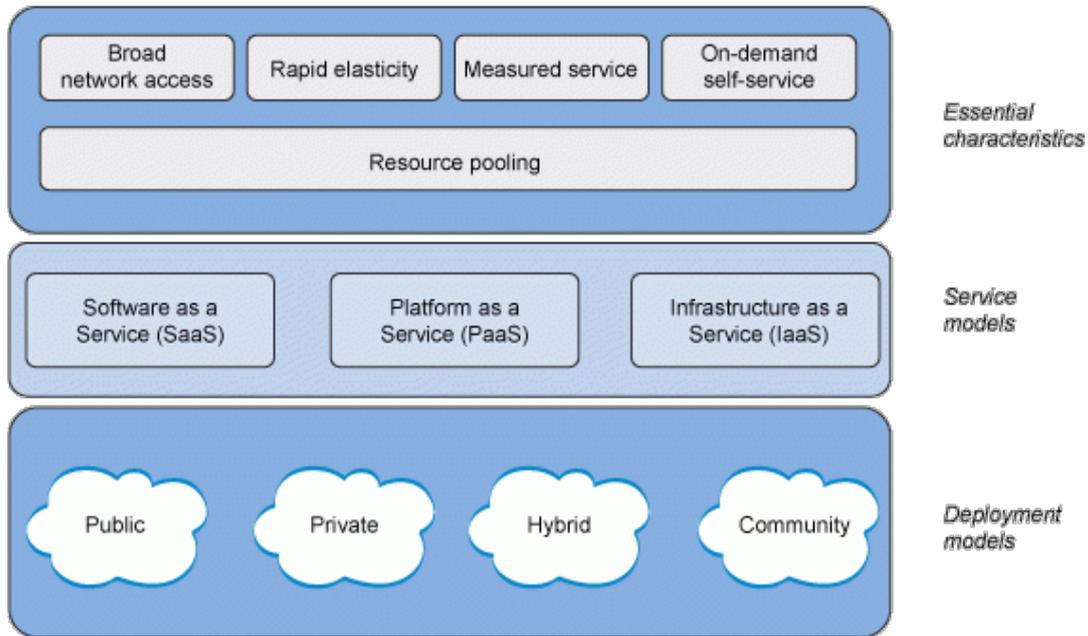


图 15 云架构图

资料来源 美国国家科学技术研究院

网络传递的需求进行制造资源的配置（例如制造软件工具、制造设备、制造能力）能快速提供 (Ashid Sha Jaleel, 2014)。云计算致力于通过分散的数字制造来提升生产运营效率，基于云技术的应用、资源、服务、知识和数字产品数据从在加工工具、设备工具、制造夹具知名的生产商配套，充分利用车间的制造数据，通过数字化管理提升产品生产效率 (Machining Cloud, 2017)。2016年有17%的基础设施、中间件、应用和商务处理服务已经转移到云平台，到2021年会增加28% (Stamford, 2017)。图片介绍的是“世界公共云的收益预测”。 (Figure source: Gartner, 2017)

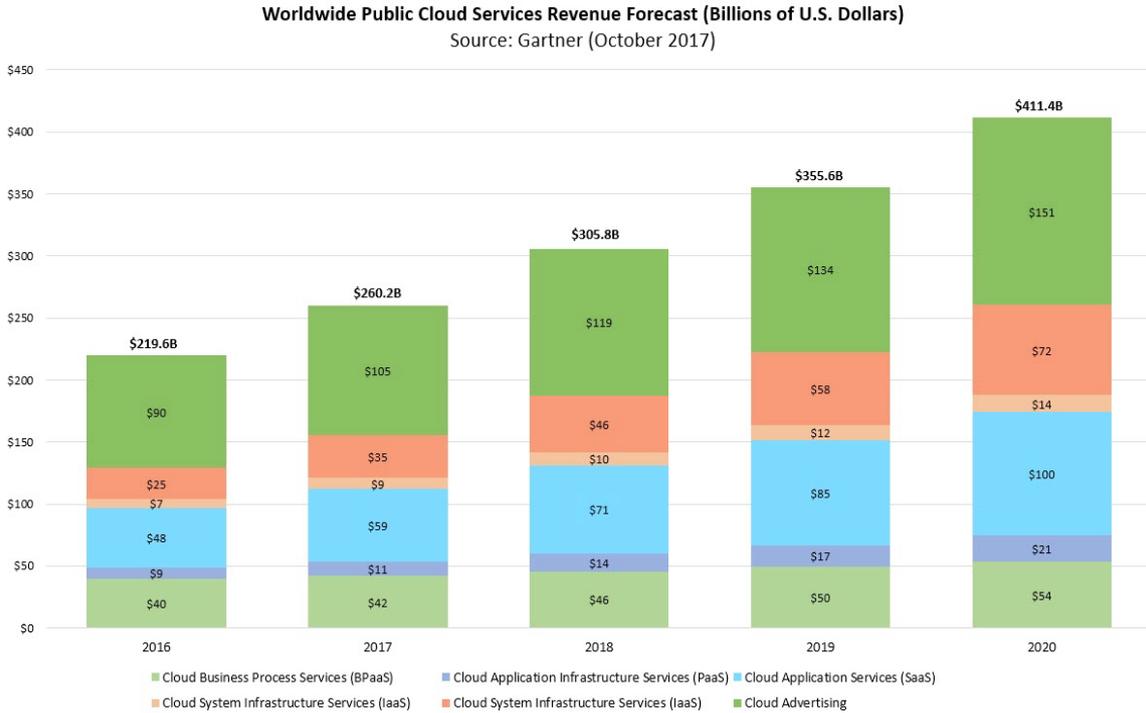


图 16 2020 年预测世界公共云服务市场规模 单位 10 亿美元

资料来源 Gartner 咨询公司

## 大数据

John Mashey 在 1990 年代对大数据这个专业词汇命名，智能制造依靠从大数据实施分析和决策，同时利用先进计算实时控制自动化生产进程；大数据的应用使得自动化工厂可以生产高效高质量的产品，在智能制造系统中的大数据是由机器、环境传感器（温度、震动、湿度等）、控制器、制造系统等产生的实时数据，多种类型数据来自于信号信息数据流、记录文件、管理数据、手工录入操作数据等 (Kevin Nagorny, Pedro Lima-Monteiro, Jose Barata, Armando Walter Colombo, 2017)。从大数据分析角度看，这些数据包括来自企业系统、供应链、市场和销售、产品生命周期管理系统、社交媒体、网络浏览以及商业预测数据等。鉴于数据量不断增长、系统复杂度提高、新兴技术对大数据分析的依赖和大数据巨大的潜在价值，未来的几十年里大数据分析市场越来越大。从智能制造工厂长期发展的远景看，大数据将继续提升智能制造工厂的数物链接，包括虚拟工厂和数字镜像概念的使用，提升供应链上下游的整合将给智能制造工厂提供更好的服务能力，如：产量、质量和效率，而且也将这个作为对智能制造工厂的一个公共服务概念和实施计划帮助智能制造工厂打破企业间的封闭，同更多企业交互获得更好资源的支持与服务。据统计数字说明在 2017 年全球大数据市场收益达到 340 美元，预计从 2011 到 2026 年大数据市场将大幅提升 ( Statista, 2017 )。图片介绍的是“大数据市场的预测” ( Figure source: NIST ) :

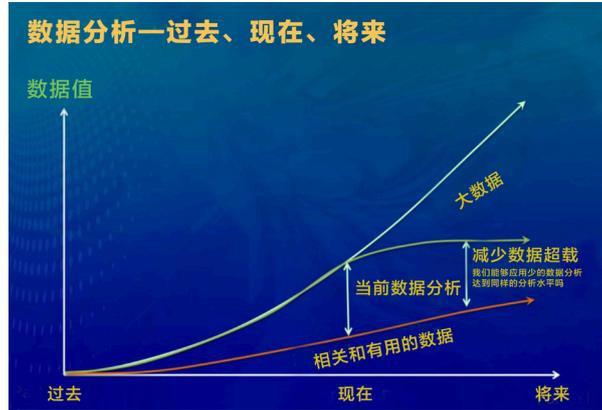


图 17 大数据的发展历程

资料来源 美国国家科学技术研究院

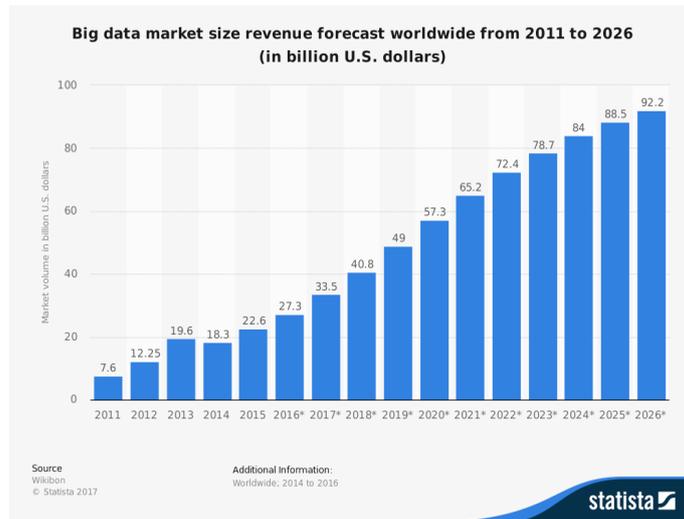


图 18 对 2011 年至 2016 年全球大数据市场收益预测

资料来源 STATISTA 咨询公司

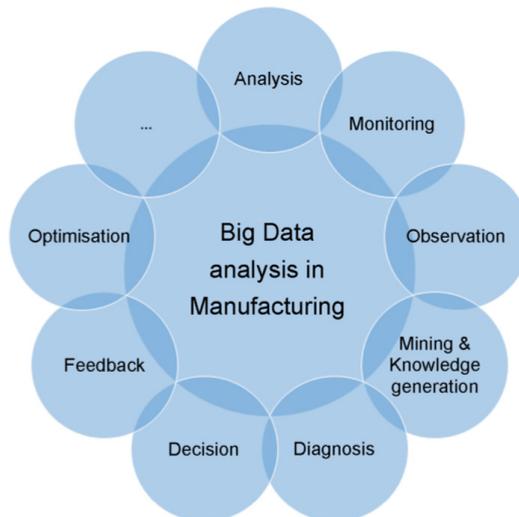


图 19 大数据在制造业应用结构图

资料来源 美国国家科学技术研究院

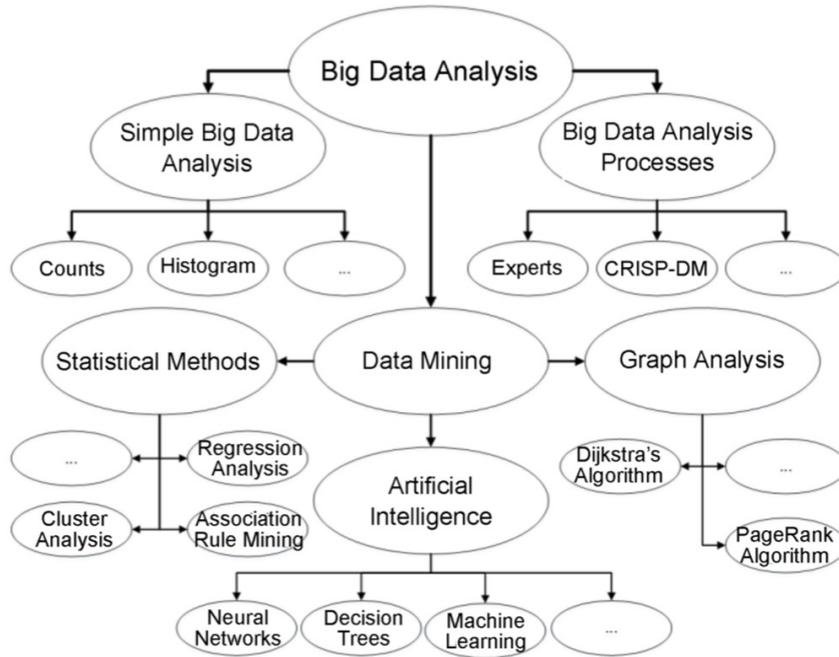


图 20 大数据应用架构图

资料来源 美国国家科学技术研究院

### 3D 打印

“3D 打印”或“增材制造”是从 1980 年代开始使用的技术。这项技术在 2000 年时作为颠覆性的技术，用于修复和制造领域；这个技术产业链（材料、制造数据、材料模具、设计、制造、后期处理）将高速整合发展并作为新技术工业化。企业根据客户需求的变化而设计制作少量的定制产品，然后企业可以采用大规模制造或者大批量 3D 打印制造，制造商希望缩短供应链，减少物流成本和灵活的时间通过 3D 打印技术生产获益。设计师和工程师可以通过 3D 打印技术拓展他们的能力制作高复杂度、复杂几何结构、特殊功能的产品，这项技术可以生产复杂结构和功能的产品并且使用比传统制造技术更少的材料；这项技术在原型产品设计、小批量生产、客户定制化产品制造领域的应用不断发展，19% 的企业希望应用这项技术，认识到该技术可以在不同的领域应用，有三分之一的制塑、汽车、航空、制药、医疗企业使用给技术生产零部件和最终产，在（900 家企业调查）15% 的企业将通过 3D 技术服务供应商近距离为客户打印产品和服务。工厂地理位置的调整将直接影响全球制造业的部署和产业价值链（EY's,2016）；在今后十年，大批量和个性化客户定制产品使用这项技术，如 3D 打印的玩具、鞋子、化妆品、甚至是在家里打印食品，例如：三维制作的巧克力、肉，三维混凝土打印技术改变建筑行业施工流程，可以打印建筑结构和建筑物；四维打印技术的产品可以在外界刺激的情况下产生反应或者成为自我重组、自我改变形状的智能物体（Gov2020,2013）。图片介绍的是“3D 打印全球市场”（Figure source: EY's 2016）。



世界当前和潜在的接受和使用3D打印应用的企业在相关国家的比例

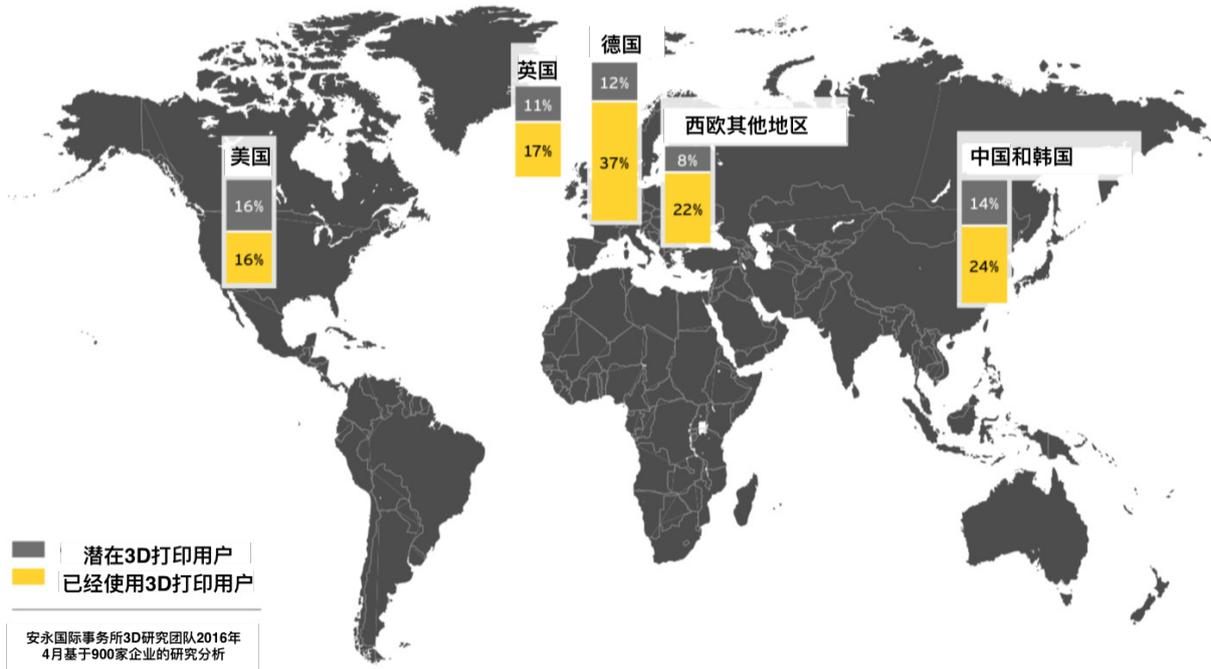
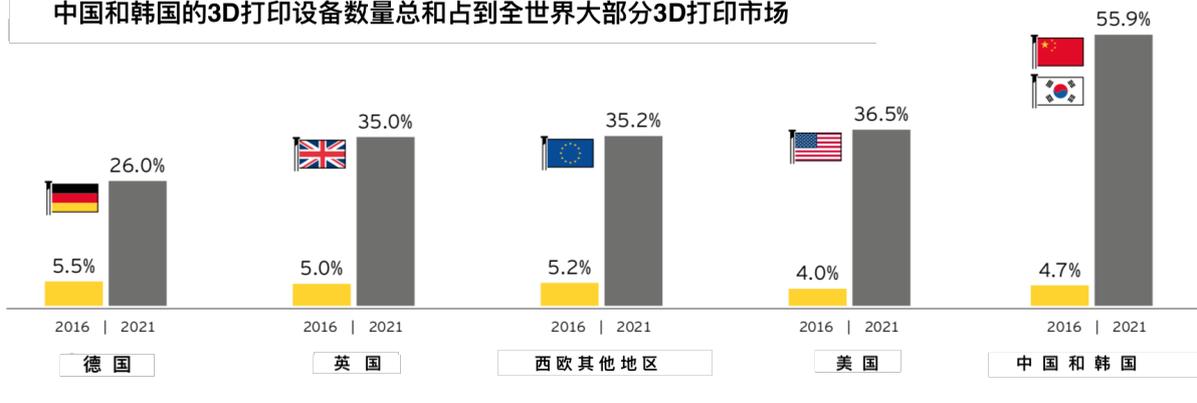


图 21 世界主要国家目前和潜在接受 3D 打印技术比例

资料来源 安永全球 3D 打印研究中心

中国和韩国的3D打印设备数量总和占到全世界大部分3D打印市场



安永国际事务所 3D 打印研究团队 2016年4月 调研900家企业

图 22 全球主要国家 3D 打印发展预测比例分析

资料来源 安永全球 3D 打印研究中心



## 第三章 智能制造对中小企业的影响

总的来说，虽然智能制造可能是 21 世纪的必经之路，但也尚无研究表明其必将取代其他产业形态。正如人类社会从前现代发展到现代，也尚有许多传统行业存在并有其积极意义，第一、第二、第三产业的良性平衡对一个稳定的经济结构也至关重要。

所以，即便我们认为中小企业应该审慎考量智能制造的意义并思考应对方式，但并不应该预设这是每一家中小企业所必须经历的变革。中小企业主们仍应结合自身的企业、行业性质来看待智能制造。

### 一、中小企业的规模及研发劣势催生 PPP 模式

智能制造应用拓展的程度取决于企业规模，大公司生产量大，资本相对密集。对高度自动化生产的持续优化是过程长期管理的要素；在中小企业中，人工和人机混合工作的比例要高，它们面向利基市场而生产，往往具有高度的专业化。与中小企业相比，大公司将利用智能制造技术实现更高的效率收益。随着技术选择范围的扩大，中小工业企业将不得不发展网络化生产。否则，在更加开放、透明的市场中的会受到威胁，甚至会面临生存的考验。

中小企业相对大企业来说，因为资本实力、规模的限制，往往很难建立强大的研发、战略部门，缺乏前端的信息和技术支持。这将使得中小企业独立发现、意识到智能制造时代的机遇，乃至应用相应的生产、制造系统显得非常困难。

于是，一种比较现实的模式可能仍是政府和大企业引领这一波产业革命的潮流，而大部分中小企业跟随潮流。通过公私合营（PPP）模式，由政府和企业共同参与，是比较可行的，也是能带动中小企业发展的模式。但在这样的模式里，中小企业将处于相对被动的地位。

不过，即使在政府和大企业引领的智能制造模式之下，中小企业也有自身的发展优势和机遇，且其面临的挑战并非中小企业独有的，大企业同样会遭遇相似的难题。那么，怎样扬长避短，即便在 PPP 模式下也充分发挥自身的灵活性，就是中小企业值得关注的焦点。

### 二、中小企业的“跟随战略”与“后发优势”

具体来说，成功运用智能制造的大企业凭借规模、技术和人才优势引领新市场，这对中小企业来说未必是一件坏事，关键要看如何适应及利用这种趋势，在智能制造带来的市场格局变化中找准自己的定位。



目前智能制造领域发展的最大推动力来自能有效运用相关尖端技术与理念的大企业，它们有资源可以参与这些网络化生产和从现阶段已有的技术获得高利益。

不过，PPP 模式之下，大企业会在智能制造领域带动中小企业的发展，让中小企业也享受到智能制造的技术突破和商业效益，包括降低中小企业生产成本，提高生产效率和质量。在这种情况下，中小企业在竞争中胜出的关键就是打好“跟随战略”、发挥“后发优势”。一则要紧跟大企业的创新与发展步伐，准确结合市场机遇和自身企业特点，有针对性地以大企业为学习目标，开发、引进相关前端技术。二则要在跟随的基础上，发挥自身比大企业更灵活、用户群体更特定的特点，从而发挥“后发优势”，实现对行业对手乃至大企业的赶超。

在这方面，中小企业还能通过灵活制造、客户定制服务等方式创造竞争优势。因为智能工厂是自组织的、灵活的、分散的和高度连接的。智能工厂将有动态的生产线，通过这些生产线，产品可以通过基于客户需求自动转入 CPS 工作站生产。这将允许快速高效的定制生产过程，甚至可以实现虚拟生产网络，在那里，企业可以将产品设计发送到世界各地的任何一家工厂，并将产品立即打印或生产。

智能制造将进一步激发客户的授权以合理调整数量生产满足具体需求，允许批发客户实时监控和跟踪订单的各个阶段，使他们能够更好地优化自己的供应链规划和需求。智能制造还可以通过允许产品和组件在整个生命周期内进行标记、跟踪和跟踪，从而促进循环业务模型的推出和生存能力。在循环模型中，产品在报废后返回工厂，进行再制造、修理或翻新，创造巨大的资源节约。这种智能制造降低了投入成本，管理供应链风险，并使其行业更具竞争力。中小企业不仅在制造业中创造竞争优势，而且在全球产业价值链中创造了增值的智能服务。物联网鼓励跨部门合作和分享项目，以及跨部门的预算，如运营、供应链、市场营销、研究。

配备了这些新武器，中小企业的灵活性将被极大发挥，从而在市场竞争中赢得优势。

除此之外，智能制造仍在一些重要方面对中小企业产生影响，以下逐一介绍。

### 三、智能制造以人为核心

智能制造的数物系统（CPS）提供以人为核心的操作管理系统，提供便于人工操作的人机交互界面，实现人工和机器协同生产，在生产过程中优势互补，可以形成与之对应的组织形式。随着应用程序灵活性的增加，复杂度将呈指数级增长，这意味着完全自动化的生产系统必须依靠人机协作来运行，智能机器目前无法替代人工去完成非常复杂的生产任务，只可以从事重复性的工作，在人类设计的智能制造系统中，智能机器不会取代人类去应对生产中的突发事件，智能机器缺乏人所具有的灵活性、创造性和反应能力。在智能制造发展阶段，我们必须考虑以人为中心，而不是以技术为中心，并以人为中心设计智能制造系统。由于智能制造系统运营所产生的海量生产数据，以及智能制造系统的复杂性，要求人工通过进行相关技能训练掌握系统操作，以实现人机一体的完美融合。（cf. Hirsch-Kreinsen，2014）



## 四、智能制造促进中小企业颠覆性创新

这些新技术的产生将颠覆过去强势让客户接受大规模生产的产品和 100 多年传统的产业链。由于制造企业灵活性和信息技术优化供应链而改变制造处理过程，能根据客户的需求来制作产品，如可以根据不同的配方和剂量生产定制的药物，客户可以告诉工厂他需要什么样的汽车、需要那些功能的个人计算机、如何剪裁合理的牛仔裤；不断发展的制造知识激发创新，三种关键技术使具有竞争力的智能制造成为现实。创新在产品和生产过程中改变产业原有的商业规则和颠覆传统市场，而不是逐渐改变；颠覆性的创新可以降低产品价格开创更加广泛的新市场，如只有 300 美元的个人计算机，或是印度塔塔公司通过智能设计并生产的 3000 美元汽车。

## 五、工业 4.0 促进中小企业商业模式创新

通过企业间合作实现公司发展和商业模式创新是实现商业创新的重要方法，企业认识到在激烈变化的环境和市场中，一种商业模式很难保证企业长期的发展和组织稳定；反过来，管理人员也认识到一种商业模式不可能长期满足市场的需求，需要根据外部的环境变化进行及时应对和提前做出转变。另外，在第四次工业革命进程中工业 4.0 给企业带来深层的变革，推动这些技术应用将影响企业的价值方向和商业模式。所以，工业 4.0 给中小企业带来组织层次和全价值链结构和商业模式转变，特别是面向商业发展的基础技术大幅提升所带来的演变。尽管如此，调整商业模式和价值目标比关注工业 4.0 技术本身成为重要的趋势，中小企业从商业模型的各个相关部分重新塑造商业，并全面依据工业 4.0 开展商业创新，在这一变革进程中，管理者需要思考如何对客户价值目标定位、发现并创造价值，中小企业要充分利用工业 4.0 带来的机遇与挑战，提升相关技术，重新在价值链定位，运用以前没有被市场重视的资源，采取不易模仿和独创的商业模式取得发展。

但是，不管商业模式创新和工业 4.0 之间融合是否有很大的潜能还是危机，管理者都要从新配置企业已有的产品、技术和资源，通过实践找寻创新的模式（企业销售什么、价值定位、如何销售）建立自身的可持续发展能力，通过研究认为中小企业要利用学术机构同产业项目合作的模式去实现基于工业 4.0 的商业模式创新，基于工业 4.0 技术的集成，中小企业能改变商业模式和创造价值，商业模式的研究同样需要相关技术和工具 (IMTs)，中小企业可以通过案例定量的研究方法，同时采取高效的模型工具，基于工业 4.0 进行商业模式创新和价值定位。

## 六、中小企业的国情差异

普遍来说，发达国家和发展中国家在科技进步程度、经济发展水平、基础设施建设等方面都存在较大的整体差异，因而面对智能制造的趋势同样不能一概而论。发达国家在智能制造的提出、进程中显然都处在领先地位，发达国家的中小企业更容易搭上新技术革命的班车。当下看，这种结构很难逆转。

相对来说，发达国家的中小企业技术水平较高，国际视野较宽，所在国良好的基础设施和管理



模式使它们能更容易接轨国际市场，融资渠道也较多，也更容易和大公司达成合作关系。但发达国家面临的各种竞争压力也是相对较大的，新技术和产品层出不穷的情况下能否跟上潮流，也是一个难题。发展中国家未来的优势首先是在原料、土地、劳动力、潜在市场消费能力等方面，在发达国家中小企业更多面向国际市场的时候，发展中国家的中小企业可以从国内或本地区市场做起，从中低端产品做起，在满足好当地市场需要的同时，充分利用互联网带来的国际经验、技术、管理等知识，迅速提高自己。

因而，发达国家和发展中国家的中小企业应对智能制造的策略也应该是结合国情的、差异化的，而不应盲目追赶。例如，基础设施在一段时间内很难满足智能制造网络需要的地区，当地的中小企业很难有全面进入智能制造时代的条件，但可以有选择地，部分地接入物联网、大数据分享等智能制造环节。

不过，智能制造时代不会缺少对原料、土地、劳动力的刚需，已开发的、相对饱和的市场、高昂的土地、劳力成本，将使发达国家的智能制造企业对发展中国家充满兴趣，而智能制造又将进一步降低地理对企业投资、生产的限制，这可能是发展中国家的市场机会。



## 第四章 智能制造对全球化和国际贸易的影响

### 一、智能制造对全球化的影响

#### 1、进一步促进全球化，形成更加紧密的全球化

智能制造是基于互联网产生的新技术，网络化是必然，而网络又将企业带向更加广阔的国际空间，这也就更有利于全球化的进一步发展。网络使得采购、生产环节、销售环节和客户服务环节透明、国际化，便于中小企业的参与和保护自身的利益，当然也会面临更大的挑战。

参与到国际市场的中小企业也将必然熟悉、学习和掌握国际规则，有利于发展出更符合国际标准的企业管理、财务制度和人才制度，这些都是全球化的基础。从当下的全球化分析看，其动因就是企业，没有企业的参与和推动，不可能形成目前的全球化。所以，有了中小企业的加入会更加促进形成全面、紧密的全球化新水平。

#### 2、带来新的逆或反全球化的思潮

由于智能制造蕴含革命性的生产力提升，未来相关产业对劳动力的需求可能大大降低。因此，各国在推进智能制造发展的过程中若无相关配套政策，适当地转移或培训这部分劳动力适应新的岗位来应对潜在的失业率上升，则可能造成新一波的失业浪潮，进而推动目前存在的逆或反全球化思潮再次大面积蔓延。

发达国家在智能制造领域的先发优势、技术优势、人才和资金的优势，极可能使其在未来奠定更大的经济发展优势，从而进一步扩大南北差距。而在相对落后的发展中国家，恐怕会再一次在世界性产业革命中滞后，难以摆脱其在全球价值链中的中低端地位，从而进一步脱离全球化的大趋势。

#### 3、企业在国家和国际社会治理中更有发言权

由于智能制造带来的企业生产力革命，企业、资本在全球范围内的流通和布局更加自由，其所受到的来自传统的政府权力、规范的约束可能越来越少。例如，能在世界任何一地，通过智能制造实现生产及销售需求的企业，其受传统基础设施、政治制度的影响减少，因而更方便“用脚投票”，在与国家、政府的讨价还价中处于优势地位。

这种趋势一来可能在一定程度上改变企业相对于一个国家的政府的关系平衡，赋予企业更强大的、全球性的影响力；二来，在这一波智能制造浪潮中乘势而上，及早抢占市场位置的企业，或能提供智能制造相关理念、技术等方面教育与培训的组织，经过一定时间的发展、调整，面对打破国界的超大型企业集群、跨国企业集团的出现，将在未来的国际事务中获得更大的话语权。



#### 4、城市集群成为中小企业产业集聚带来便利，而淡化国家形态

智能制造将大大加快基于智能工厂的城市集群兴起。在尖端科技、制造领域占得先机的城市集群可能获得难以想象的成长。智能制造时代，一个城市集群就可全面覆盖众多产业，而不再依赖全球范围的供应链。

因此，城市将在未来全球化中成为更有影响力的单位，城市—城市之间的联系，将对传统的国家与国家的国际政治经济结构产生一定的替代作用。同时，以科技、创新见长的城市将会在智能制造时代赢得竞争优势，有可能诞生一批“智能制造新贵城市”，重塑传统的城市分级格局。

很多中小企业开始认识到在 21 世界的比较优势是知识（智能）经济活动而不是传统的大规模生产 (OECD, 2000)。竞争能力是中小企业在全球化进程中的主要因素，是中小企业更好的发展和融入全球化进程的关键。集聚人才、资金和支持的基础设施使城市长期成为中小企业活动的温床。建设智慧城市和恢复城市综合实力对于智能制造和服务的中小企业是巨大的商机。高密度的生活环境提升效率、便利和观点的交流。城市为居民提供更多的工作岗位、服务和文化发展机会。城市扮演可持续分享经济、绿色建筑、微电网和智能交通等的关键角色。成功的城市化需要私营部门和公立机构合作，发挥他们各自的能力。

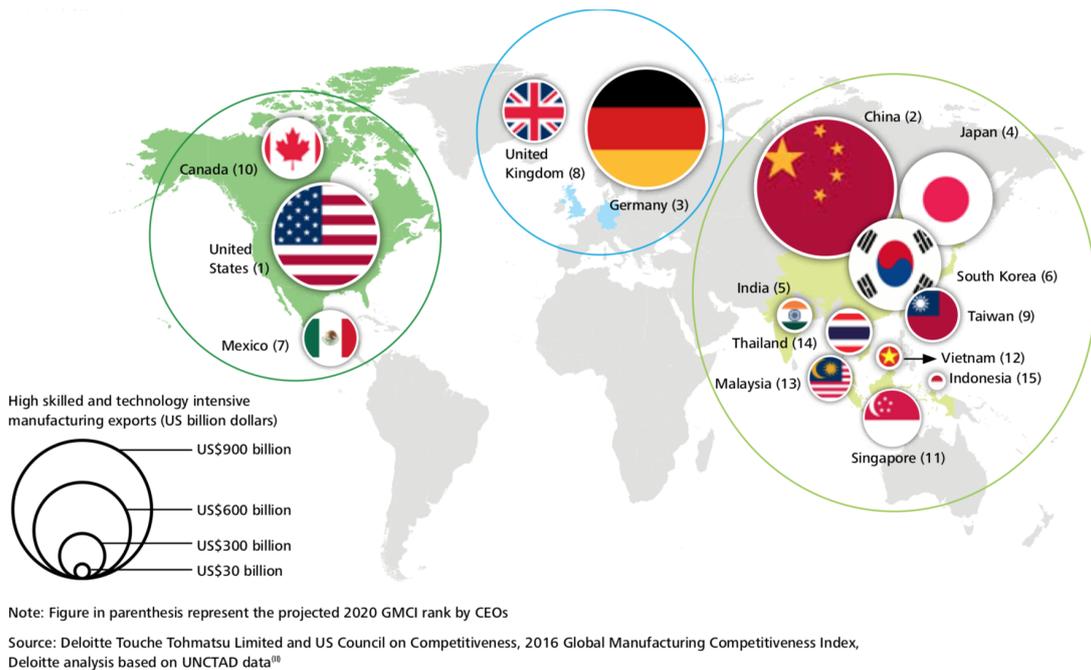


图 22 高性能和高技术的制造业出口 单位 十亿美元

资料来源 德勤国际咨询公司

中小企业在新的城市集群获得极大的发展机遇。将数字系统、数据科学、自动化技术和自适应过程融合，使智能制造根据客户的需求选择更接近用户市场的地方生产。例如耐克公司收到客户定制运动鞋的需求，可以在设计阶段根据客户需求进行设计。在客户附近城市的耐克公司合作的中小企业会通过物联网和工业互联网获得 3D 打印的数据为客户生产。与此同时，智能制造将对传统远距



离低工资国家提升所需要的技能水平。智能制造使得满足客户定制需求的客户所在地的本地企业生产更加节约成本成为可能。

在未来的 40 年，每周会有一百万人口出生，在亚洲和非洲城市化会大量出现 (EY, 2016)。智能制造是城市发展的核心，将来像迪拜这样计划在 2020 年展览会期间展示电动汽车和无人驾驶以及沙特的 2030 发展规划都包含中小企业智能制造；新加坡宣布她成为无人驾驶出租车的引领者，韩国首尔正在利用智能技术和移动 Web 应用程序提供以公民为中心的服务。智能技术，以降低成本基础曲线，从智能电网和互联网平衡，消费更便宜开采的天然气，以改善道路流量，帮助城市和中小企业在世界各地可持续发展。在新兴地区，当今主要的商业城市很可能在未来获得超过其他地区的公司增长。

像北京和伊斯坦布尔这样的城市将会吸引更多的跨国公司总部，新兴市场的新兴城市也将是跨国公司总部的选择，因此，这些城市成为全球产业网络的枢纽。对比新兴市场经济转移，全球商业环境再平衡会更快也更震撼 (Deloitte, 2016)。这样的城市发展有利于中小企业的成长，有利于中小企业成功提升生产效率，更有利于在全球的产业聚集网络中发展。

### 5、促进形成中小企业全球化生态体系

发展中国家将继续推动全球对制成品需求的增长，她们不仅仅是供应链的重要部分，也会成为重要的市场。在材料、信息技术、生产流程和制造业务的渠道创新将给制造商提供设计和制造新产品、重塑现有产品的机会，并为该行业带来新的活力。在发达国家，制造业将继续推动创新、出口和生产率增长。在发展中国家，制造业将继续提供更高水平的产品，通过城市群和产业价值链中的主要节点向全球提供，中小企业自然是其中的重要组成部分。这样的生态系统为企业提供足够的资源，帮助处在不同地理位置的中小企业实现创新，跟上时代。

与此同时，许多国家出台或即将出台一些政策，加强对中小企业面向智能制造转型的支持，促进可持续发展，这是经济发展的需要，也是各国提升竞争力、满足消费和解决就业的需要。如此，就必然会促进中小企业的全球化水平和能力。

## 二、智能制造对国际贸易的影响

### 1、出现新的贸易内容

智能制造时代，企业生产、贸易的内涵将发生一定程度的变化。对智能制造的运转至关重要的元素，如技术、数据、制造系统等将成为国际贸易中的热门商品。

相应地，除了传统的货物、服务贸易之外，这方面的国际贸易规则和体系需要各国共同参与和制定。

### 2、国际贸易的结构和形式发生改变

如前所述，智能制造可能促进新兴城市集群的发展，并为国际贸易带来新内容，例如数据贸易等，这样未来的国际贸易会涵盖产品、资金、技术、数据、服务、知识产权等众多方面。这些变化本身



就会对国际贸易的结构和形式产生新的作用力，这对国际贸易的影响也是不可估量的。

其二，随着城市集群在智能制造时代的崛起，城市将在未来的国际贸易中扮演更重要的角色。未来的国际贸易可能有一大部分是“智能城市”之间基于智能制造产业需求的相互贸易。传统的以国家为基本单位的国际贸易将会面临一定的冲击。

其三，智能制造可能在全球范围内改变传统货物贸易及服务贸易的形式，如农业、工业原材料的供需关系以及研发——生产——销售等环节的全球链条或将以智能制造的模式进行部分重组。许多原来需要全球参与的产业，可能在一个国家或城市就可以实现。

### 3、改变国际贸易竞争格局

在智能制造潮流中占得先机，大大提高生产力的企业乃至城市、国家在国际贸易中的竞争力将会大大增强。而这种竞争优势有利于国家和城市保有吸纳就业的能力，乃至逐步恢复那些在过去的国际贸易竞争劣势（如逆差）中直接、间接流失的工作岗位（Joost Peters, 2015）。而相对落后的发展中国家，在这场靠技术、资金、人才比拼的竞赛中，面临更多的困难和挑战，她们需要更多的准备和应对，国际社会也需要给予这些国家更多的支持和帮助。

因而，各国、地区、企业对智能制造的应用和竞争，也将对未来的国际贸易竞争格局产生实质性的影响。

## 三、整体结论与展望

新技术的到来是不可避免的，中小企业需要全方位正面看待智能制造对经济潜力的影响。未来一个国家、一个企业的命运如何确实存在着不确定性。互联网的发明、应用到现在是当时发明人所不能设想的，网络化给世界带来的冲击和给产业发展带来的挑战和机遇是巨大的。我们可以确定的是，智能制造带来的第四次工业革命也将对经济形态、产品的质量和数量、企业发展策略及商业模式产生剧烈的变革。但是由于各种原因，评估效果将非常艰难。这不仅由于我们对市场对于智能制造需求缺乏统一和清晰的认识，也是因为我们不能只考虑单一技术创新，而是需要综合考虑各种技术及各种技术的组合，还需要考虑国际政治和自然灾害等等各个方面。当前，很多技术还处于高速发展状态，在市场准备好之前需要一些时间。技术的成熟度不同，也很难预测新技术应用需要多久进入商业使用，因此对于什么时间和范围一种技术可以获得正面的网络效果很难做出直接的判断。

尽管智能制造对宏观经济的影响就目前无法给出一个准确的结论，但对于各个企业，很重要的一点是，智能制造是通过影响企业的发展来实现对于宏观经济的影响的。也就是说，企业对于智能制造的采纳程度，适应时间等会直接影响智能制造对宏观经济产生影响的程度和时间。因此，即便在智能经济对宏观经济影响不确定的情况下，企业自身应更关注自身的发展需要和市场的变化趋势，并以此来决定自身采纳智能化制造的程度。这一点要求企业对于自身性质目标进行更准确的定位、判断自身发展与智能制造的匹配度、自身如何采取智能制造以及采取智能制造的程度。

对于更易受外界环境冲击发展不稳定的中小企业而言，面对来势汹汹的智能制造和技术革命，企业应当对自身特点目标优劣势以及外部环境有更清晰地认识。即便是在中小企业内部，智能制造



对于不同类型的企业的影响也很难统一具体化呈现。当下智能制造本身在全面落实的过程中还面临着诸多考验，这些问题对于中小企业而言也是应当重视的。

首先，中小企业的产品种类相对少大多面向本土市场，随着智能化制造旨在为顾客提供个性化的产品服务，智能化制造的企业也将更多地面向消费者市场，从而抢占很多中小企业原有的市场份额，威胁中小企业的生存（TNN，2016）。

再者，对于发展智能制造的中小企业而言，发展这一模式本身也有很多方面需要思考。例如有专家（Zühlke and Gorecky，2017）提出了四个企业需要思考的方面，这些方面都关系智能制造能否为企业创造实际利益。其中包括系统的相互操作性，数千设备共同运作时的实时控制和预测将如何实现，对于打断网络化生产因素的预防以及如何进行技术投资的成本收益计算。

第三，智能制造对各类产品生产的影响并非同等突出的。智能制造的重要突破在于提供高度个性化的产品服务。即便智能制造将成为主流，企业也应当清晰地认识在很多方面，智能制造的作用是有限的。比如，对于诸如棉花、木材、矿石、餐饮等存在巨大需求的产品，智能制造难以替代。（Lehmacher and Schwemmer，2017）

同时，智能制造将释放出大量的生产力，但生产力的释放代表产品供应更为快速充足，而产品能否被消耗，还应关注消费者对产品的需求和消费能力。当产品无法被充分消耗时，生产力则意味着被浪费，而企业也会因此遭受损失。因此对于企业尤其是中小企业，在引入智能制造的同时仍需关注市场需求，并根据需求进行产品生产。同样，企业仍应追求提供个性化的产品服务，并建立自身特色。

企业的自身特色在智能制造时代尤为重要还可以从另一方面体现。在智能制造发展初期，率先采取智能制造的企业可占据先机先获得竞争优势。但当智能制造被普遍采纳，企业间的竞争实力相当，并不是采纳智能制造即会获得优势。相反，企业仍应不断追求创新个性来获得自身特有的竞争优势。



# 附录：智能制造经典案例分析

## 一、电动汽车产业发展

过去的一年的王宏伟，作为北汽厂在常州分厂生产技术的负责人，已经把他所有的精力投入到监督新的电动汽车厂的建设。这 100 亿元人民币的投资，用于见着这个替代能源的新项目一个新的北汽集团的子公司—北京电动车有限公司生产厂（BJEV）。

该项目是北汽的战略的一部分，在全国范围进军新能源领域，并被视为实现中国制造的目的 2025 个里程碑。近年来，人们对环保意识的增强以及中国政府的大力支持，使我国电动汽车行业实现了爆炸式增长。BJEV 是中国第一家获得电动车生产资质（EV）在 2009 成立以来，它一直在研究，开发和制造的电动汽车和提供关键技术，如车辆系统集成、控制和电驱动系统。公司也是中国拥有电动车、电机、电子控制三大核心技术的中国电动车企业之一。2016 年，该公司售出 51000 辆汽车，比前一年的销量增长了 153.4%。这在新工厂的投资是一个重要的里程碑 BJEV，帮助该公司在国际同行业竞争对手高水平的竞争。鉴于项目的期限（第一电池电动汽车预计将推出了生产线在不到六个月）和严格的交割标准，到位，公司不得不考虑自动化解决方案和工程服务供应商，是一个同样高的水平和质量。

### 智能制造规划概要

对智能制造概念的提出和中国制造业 2025 的视野，提供了智能制造与数字化工厂的宏伟蓝图是实现这一规划的基础上。“相比其他行业，汽车行业，拥有先进的最在数字化改造的地区，”夏伟说，西门子在中国汽车业务主管。“根据中国科学院的调查结果中，排名最高的和最受人尊敬的学术机构在中国，如果工业 3.0 和工业 4.0 是额定 3 和 4 分，那么中国制造业目前的平均得分为 2.75 分。另一方面，西门子中国也进行了一个在中国乘用车市场的市场评估，发现这里的平均得分为 3.42 分。我们预计，到 2025 年底，将有少数汽车企业实现数字转型，达到工业 4.0 以上的工业水平。然而，也有很多企业停留在工业 3 多水平。在数字化时代早期阶段。”决定选择西门子作为其自动化和数字化制造的战略合作伙伴是基于 BJEV 的目标实现智能制造电动车。这不仅是因为西门子的前瞻性技术架构和产品标准。该公司优秀的工程服务还可以帮助我们提高工程灵活性和生产力。

### 三期工程

常州电厂项目分三个阶段进行。第一阶段（价值人民币 15 亿）在 2016 年初完成，新建 10.2-ha，英田汽车厂的生产设施有 50000 电动汽车的年生产能力。II 期，有计划的投资价值人民币 85 亿元，预计将增加生产能力达到 150000 台，当一个新的 133.3-ha 设施完工。第三阶段将侧重于部分重建，



预计完工后，生产能力将增至每年 300000 个单位。目前，在第一阶段和第二阶段，王的团队已经能够在单一的 TIA Portal 工程平台下，利用完全集成自动化（TIA）解决方案快速而顺利地满足工程最后期限。西门子 TIA Portal，作为生产工程数据的基础上，在车间的数字化起着核心作用，通过连接真实和虚拟制造，实现协同、柔性智能制造。“我们看到越来越多的配置和选择与汽车，使生产越来越复杂。另一方面，作为制造商，我们也希望更快地进入市场，以满足市场需求。这无疑是一个很大的挑战，”王说，“在项目实施阶段，允许 BJEV 的工程师做虚拟调试使用的虚拟控制器，使得早期的错误检测和快速功能验证的 TIA Portal 的使用，即使在配置和工程阶段。这种数字化技术改变了从串行到并行的工程方式，从而大大缩短了汽车厂的爬坡时间。”

### 工程技术新纪元

对于王电自动化团队来说，智能制造规划仍然是愿景。该小组现在需要解决的问题是如何在短时间内完成焊接、喷漆和装配车间的自动化工程任务，并确保在生产设计中有足够的灵活性以适应未来的变化。“现在，它看起来非常有可能，”王说。西门子的 TIA 解决方案的性能在常州工厂得到了很好的测试，它能应对多种挑战，如提高生产线效率、实施混合生产和进行大规模定制生产。产品如 SINAMICS 驱动，Simatic HMI（人机界面）、西门子等系列 IO 和新的 SIMATIC S7 1500 系列 PLC 产品已经集成在 TIA Portal 和发挥各自的作用。西门子的自动化硬件已经超过了 BJEV 常州工厂的期望。在王看来，TIA 门户可以被称为一个产品，预示着在工程技术的一个新的时代。他说：“例如，我们已经能够深入体验‘设备和网络’的设计和‘标签表’的管理。”。这是真正直观和方便，并帮助我们剃掉大量的时间，我们的工作。即使以后有变化，这些都很容易实现。

对于新建的工厂来说，培训人员也是一项挑战。TIA 门户网站采用了标准的外观和导航设计模板，使王的新电气自动化团队能够在短时间内熟悉工程环境，并将精力集中在生产线的过程控制上。西门子的工程框架加速了标签数据库管理过程，因此即使有一系列复杂的目标设备，标签只需输入一次，然后就可以在所有编辑器中使用。即使新的生产线有频繁的变化，更新也可以在所有连接的设备上实时实现。数据一致性和透明性的提高极大地减少了项目中错误的数量，因此大大提高了自动化项目的质量。以电动汽车为例的绿色机动性概念正在改变我们的生活方式和思维方式。同时，在路径的数字化与西门子 TIA Portal 车间级别设置。这使中国的汽车制造商进入智能制造时代，实现绿色汽车的未来。(Siemens,2017)

## 二、制鞋产业创新

工业 4.0 先进制造系统有潜力从根本上改变全球生产的经济性，使其更具成本效益和实用性，使商品更接近他们消费的地方。然而，运动鞋生产一直是自动化行业中最困难的行业之一。

尽管面临种种挑战，总部设在波士顿的新平衡运动已在美国生产运动鞋超过 75 年。它的新的平衡使保费收集代表了美国销售的一部分，至少有 70% 的鞋的价值是在美国制造的。该公司还将先进的制造技术引入运动鞋行业。



Edith Harmon, 制造创新的新的平衡的副总裁, 解释公司如何部署启用数字技术, 以及这些技术在制鞋业目前的限制是什么, 在一个与 BCG 合伙人弗拉基米尔·卢基奇、资深作家 Pete Engardio 访谈。在 1991 加入新的平衡之前, 哈蒙曾与通用电气飞机发动机集团合作。她持有若干个研发中心和产品创新角色在企业中, 同时领导企业买入数字工厂提升绩效。

国内制造业是我们公司文化的一部分, 我们喜欢这种挑战。几年前我从飞机引擎来到这个行业。我认为鞋子很容易。但它非常复杂。运动鞋生产几乎是自动化的完美风暴, 但它仍然需要大量体力劳动。你必须处理许多模型的复杂性和处理软商品的困难。制鞋的总体挑战是, 公差、产品尺寸范围和自然材料和人造材料的宽度与技术产品有很大的不同。然而, 在美国制造业的一个优势是获得了运动鞋所需的工艺。我们在美国有五家工厂, 有经验丰富、做事认真的人, 非常擅长制鞋。此外, 我们有两个美国生产线致力于定制产品。我们可以在十天到两周内将定制的鞋子送到国内消费者手中, 比我们在海外生产的速度快得多。20 世纪 80 年代, 我们国内的工厂开始使用计算机化的缝纫方法, 使我们能够将材料放在托盘上, 并将其运送到缝纫机上。我们在 20 世纪 90 年代初开始使用 3D 打印技术。

我们在定制产品线上使用的自动刺绣选择程序允许我们快速改变螺纹颜色。其他技术帮助我们自动化将鞋的模制底部分连接到软鞋面上的步骤。在过去的三年中, 我们一直在执行一个数字化系统来追踪生产线上的缺陷。我们还使用 3D 脚扫描在选定的全球零售地点, 给我们的客户一个增强的适应经验。你提到, 新的平衡使用 3D 打印。现在添加剂制造对于 3D 打印有用吗? 现在是我们 DNA 的一部分了。它嵌入到我们的产品开发过程中, 并在我们的产品组合中发挥更突出的作用。每年, 我们在室内制作超过 4000 张 3D 照片, 用于决定产品的美观性和功能性。我们还使用 3D 打印夹具和轻工具。

3D 打印制造定制鞋类部件尤其是有价值的, 如在运动鞋可能夹板或尖峰和缓冲材料的成型底部分板块, 如中底。如果你能把运动员带到一个体育研究机构去研究他们的生物力学, 你可以捕捉数据, 带到实验室, 分析它。然后, 你可以进入 3D 创作和印刷环境。我们为棒球、田径和足球运动员制作的印刷式定制部件令人惊叹, 深受好评。2013 年, 中长跑运动员 Jack Bolas 进行数据定制的 3D 打印的钉板。最近, 这个春天, 我们为 Corey Kluber 定制的 3D 打印板块, 克利夫兰印第安人投手。他穿的鞋与 3D 印制板在棒球大联盟比赛的第一个运动员。3D 的电流限制在敲定一套完全能够将该技术应用于制鞋材料和在生产线上的动作看。将鞋的上半部分转换成 3D 是一个复杂的挑战, 需要对产品结构和自动化进行一些新的思考。人们仍在用许多切割的零件工作。这不是高速制造业。总会有一些手工制作的零件。此外, 我们还没有一个完整的调色板的不同材料, 可以与 3D 匹配, 虽然已经有了巨大的进步。另一个优先事项是减少 3D 打印中的材料浪费。

我们使用机器人已经有三年了。机器人系统在鞋类制造业中面临的重大挑战是转换和复杂性, 因为尺寸、款式和软材料种类繁多。我们与一个选择的自动化专家组合作, 实现允许我们处理这种复杂制造环境的技术。机器人系统使我们能够控制关键操作以提高一致性和性能。他们帮助重复运动的同事, 使工作环境更安全。作为协作和安全的选项, 机器人自动化将在我们的业务中发挥更大的作用。



我们过去常常在纸上追踪我们返工的零件、修理和失败。三年前，我们开始使用郁金香的系统，一个为鞋类和服装制造商的车间数字化的软件开发人员。我们正在用平板或其他触摸屏设备上的生产应用取代纸质表单。工人不需要信息技术专业知识来使用这个系统。他们打了一个鞋的风格，他们正在工作，并注意到缺陷的形象。我们的工程师可以根据我们的要求定制应用程序，不需要编程。郁金香的应用程序连接到我们的生产设备，所以我们能够使用内置的分析引擎来关联机器和人类数据。通过给材料供应商提供清晰、准确的生产数据，解决问题时可以消除模糊和延迟 (Vladimir Lukic,2017)。

### 三、荷兰切割行业小企业

247 Tailor Steel, 荷兰一家小企业，成立于 2007 年，目前已采取全自动化进行激光切割金属和管道。这一生产过程的核心在于一套控制制造流程的软件以及一个智能分析器。这套软件可以使顾客通过网络直接上传自己的绘图，而软件也能自动告知顾客配额以及运送时间。此外，这套软件还能直接控制切割过程，因此该企业无需再设置专门的办公室和人员来监测切割过程。基于这种制造方式，企业节省了大量的成本并缩短了顾客获得所需产品的时间，因而提升了市场竞争力 (Peters, 2015, cited in Nieuwenhuize, 2016)。

这一技术改进在公司负责人看来对国际贸易和人才回流也会产生影响。作为一家荷兰企业发展智能制造，大幅提升了生产力，降低产品成本并能为顾客提供更好的服务，这在企业负责人眼里能够帮助很多制造业从诸如中国在内的制造业大国回流至荷兰，提升荷兰在国际贸易中的竞争力，与此同时也拉动人才的回流 (Peters,2015)。

这个案例可以用来体现智能制造对企业生产效率、降低成本、便利和满足客户需求、劳动力结构调整这些方面的影响。同样，通过提高企业效率提高产品市场竞争力，也可以提升国家在国际贸易中的竞争优势，并拉动人才回流至本国。

### 四、欧盟机器人发展项目

针对中小企业投资机器人成本高，欧洲推出了实惠、模块坏互动性强的机器人发展项目并在欧洲的一些企业中获得成效。这一项目推出了四种主要的机器人。

#### 1、金属铸件领域。

Norton Cast Products 公司位于英国谢菲尔德，它采取了其中一种机器人来完成金属铸件。这一工作流程的特点在于将一个简单地调控工具安置在机器人上，从而可以使工人通过直接操作机器人进入程序进行调整。

#### 2、汽车零部件领域

Hirschvogel Umformtechnik 公司位于德国登克林根，一个三天的项目现在工人可通过操作机器人



使其在一天内完成不同的工作。这一机器人还可以通过 3D 图像来寻找并找到并随意放置在箱子中的物件。

### 3、焊接领域

Paul Treffler Stahl- und Maschinenbau 是一家致力于机械工程的公司，位于德国奥格斯堡。该公司将机器人用于完成焊接任务。该机器人可以被操作来完成一些少量的焊接任务，比如说，农业机械的制造。机器人也可以很快地被调试用来进行其他焊接任务。当工人们需要机器人完成其他任务时，仅需五分钟他们便可以对机器人进行重组。并且，工人可以运用软件、突触和 3D 图表界面来记录、调整、重复机器人活动并记录不同程序。

### 4、木材加工领域

Schreinerei Som 公司位于德国米歇尔城。在这里，一个全能的机器人被用来木材加工，包括修建、装饰、印染、粘贴和塑造木材表面。工人们能够通过手动输入快速转换机器人的任务来生产数量在 1 至 10 毫米之间的产品。他们可以通过简单的界面手动操作的工具来指挥机器人的工作。

这四个案例代表了中小企业运用机器人提升生产的技术水平，体现了智能制造可被用于木材、金属、香蕉、瓷器以及塑料领域的加工，并用于钻井、引燃、集成以及机器运行。通过使用机器人，企业生产力大幅提升，工人的工作从实际完成生产过程转向操作机器人完成生产，而运用一台机器人完成多种任务也降低了生产成本。



## 参考资料

UK DBIS, GOS ,2013,Future of manufacturing: a new era of opportunity and challenge for the UK – summary report, WWW.GOV.UK

<https://www.gov.uk/government/publications/future-of-manufacturing/future-of-manufacturing-a-new-era-of-opportunity-and-challenge-for-the-uk-summary-report#three-systemic-areas-for-future-government-focus>

Louis Columbus , 2017,Smart Factories Will Deliver \$500B In Value By 2022, FORBES,

<https://www.forbes.com/sites/louiscl Columbus/2017/07/30/smart-factories-will-deliver-500b-in-value-by-2022/>

Will Knight, 2016,5 Robot Trends to Watch for in 2016,MIT Technology Review

<https://www.technologyreview.com/s/545056/5-robot-trends-to-watch-for-in-2016/>

Ken Thayer, 2017, What Is the Real Cost of an Industrial Robot Arm? , Copyright 2017 IEEE GlobalSpec

<http://insights.globalspec.com/article/4788/what-is-the-real-cost-of-an-industrial-robot-arm>

APRIL GLASER,2017 ,The industrial robotics market will nearly triple in less than 10 years, 2017 Vox Media, Inc,

<https://www.recode.net/2017/6/22/15763106/industrial-robotics-market-triple-ten-years-collaborative-robots>

Josh Cable,2012 , The Future of Robotics in Manufacturing: Moving to the Other Side of the Factory, Industryweek

<http://www.industryweek.com/robotics/robots-rule-swiss-factories-strong-franc-and-wages-bite>

The Economist , 2008, Nothing to lose but their chains, The Economist Newspaper Limited 2017,

<http://www.economist.com/node/11575170>

IFR,2017,IFR forecast: 1.7 million new robots to transform the world-s factories by 2020,IFR,

<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/ifr-forecast-1.7-million-new-robots-to-transform-the-worlds-factories-by-20>

IEEE,2015,Towards a definition of the Internet of Things (IoT) ,2015,IEEE

[https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition\\_Internet\\_of\\_Things\\_Issue1\\_14MAY15.pdf](https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Issue1_14MAY15.pdf)

MIT AutoID Lab,1999

<http://autoid.mit.edu>

Proto Labs,2017,Smart Manufacturing: How the Industrial Internet of Things is Enabling Factories of the Future

<https://www.protolabs.com/resources/blog/smart-manufacturing-how-the-industrial-internet-of-things-is-enabling-factories-of-the-future>

IDC,2017,Internet of Things Spending Forecast to Grow 17.9% in 2016 Led by Manufacturing, Transportation, and Utilities Investments, According to New IDC Spending Guide

<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS42209117>

i-scoop,2017, Internet of Things spending 2017–2020: IoT industry drivers and investments

<https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/iot-spending-2020/>

John Greenough,2016, How the Internet of Things is revolutionizing manufacturing, Business Insider ,Tech Insider

<http://www.businessinsider.com/internet-of-things-in-manufacturing-2016-10>

J. McCarthy, M. L. Minsky ,N. Rochester, C.E. Shannon,1955,A PROPOSAL FOR THE DARTMOUTH SUMMER RESEARCH PROJECT ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE,John McCarthy ,1996

<http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html>



AMPT,2017, Artificial Intelligence Applications in Manufacturing, AMPT PRESS  
<http://www.advancedmp.com/artificial-intelligence/>

INFOSYS,2017, AI: BRINGING SMARTER AUTOMATION TO THE FACTORY FLOOR, INFOSYS CO.LTD  
<https://www.infosys.com/human-amplification/Documents/manufacturing-ai-perspective.pdf>

Ian Wright ,2017, Bringing Artificial Intelligence to Manufacturing, Engineering.com  
<https://www.engineering.com/AdvancedManufacturing/ArticleID/15670/Bringing-Artificial-Intelligence-to-Manufacturing.aspx>

PwC, 2017, AI to drive GDP gains of \$15.7 trillion with productivity, personalisation improvements, PwC  
<https://press.pwc.com/News-releases/ai-to-drive-gdp-gains-of--15.7-trillion-with-productivity--personalisation-improvements/s/3cc702e4-9cac-4a17-85b9-71769fba82a6>

Dom Galeon,2017, DARPA: We Need a New Microchip Technology to Sustain Advances in AI,Futurism, LLC  
<https://futurism.com/darpa-we-need-a-new-microchip-technology-to-sustain-advances-in-ai/>

Technavio, 2017,Global Artificial Intelligence Chips Market 2017-2021: Top Drivers and Forecasts by Technavio, Technavio Research  
<http://www.businesswire.com/news/home/20170717005538/en/Global-Artificial-Intelligence-Chips-Market-2017-2021-Top>

Tom Simonite, 2017, Intelligent Machines Battle to Provide Chips for the AI Boom Heats Up,MIT Technology Review,2017  
<https://www.technologyreview.com/s/607818/battle-to-provide-chips-for-the-ai-boom-heats-up/>

NIST,2011,The NIST Definition of Cloud Computing,National Institute of Standards and Technology Special Publication 800-145  
<http://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/SP/nistspecialpublication800-145.pdf>

Ashid Sha Jaleel,2014 , Paper Presented on “Cloud Manufacturing - Smart manufacturing with cloud computing” ,Vidya Academy of Science & Technology  
<http://news.vidyaacademy.ac.in/2014/02/28/paper-presented-on-cloud-manufacturing-smart-manufacturing-with-cloud-computing/>

MachiningCloud ,2017, MachiningCloud Partners with the US Department of Defense to develop the Army’ s Smart Machining Solution (SMS),MachiningCloud Inc.  
<https://www.machiningcloud.com/news/machiningcloud-partners-us-department-defense-develop-armys-smart-machining-solution-sms/>

Stamford,2017, Gartner Forecasts Worldwide Public Cloud Services Revenue to Reach \$260 Billion in 2017, Gartner ,Inc.  
<https://www.gartner.com/newsroom/id/3815165>

Sudarsan Rachuri,2015, Focus Group: Big Data Analytics for Smart Manufacturing Systems ,NIST.gov  
<https://www.nist.gov/sites/default/files/documents/itl/iad/Big-Data-Analytics-for-Smart-Manufacturing-Systems-Report.pdf>

Kevin Nagorny<sup>1</sup>, Pedro Lima-Monteiro<sup>2</sup>, Jose Barata<sup>2</sup>, Armando Walter Colombo<sup>3</sup>,2017,Big Data Analysis in Smart Manufacturing: A Review, Int. J. Communications, Network and System Sciences, 2017, 10, 31-58,  
[https://file.scirp.org/pdf/IJCNS\\_2017042615084179.pdf](https://file.scirp.org/pdf/IJCNS_2017042615084179.pdf)

Statista,2017, Forecast of Big Data market size, based on revenue, from 2011 to 2026 (in billion U.S. dollars),  
<https://www.statista.com/statistics/254266/global-big-data-market-forecast/>

EY’ s ,2016, How will 3D printing make your company the strongest link in the value chain? Ernst&Young GmbH  
[http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report/\\$FILE/ey-global-3d-](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-global-3d-printing-report-2016-full-report/$FILE/ey-global-3d-)



printing-report-2016-full-report.pdf

Gov2020,2013,The 3D printing market grows at a compound annual rate of 23 percent from 2013 to 2020, reaching \$8.4 billion,Gov2020, <http://government-2020.dupress.com/driver/additive-manufacturing/>

WEF,A.T. Kearney,2017,Technology and Innovation for the Future of Production: Accelerating Value Creation ,World Economic Forum  
[http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_White\\_Paper\\_Technology\\_Innovation\\_Future\\_of\\_Production\\_2017.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_White_Paper_Technology_Innovation_Future_of_Production_2017.pdf)

Stephen J. Ezell, 2016 , A policymakersguidesmartmanufacturing  
<http://www2.itif.org/2016-policymakers-guide-smart-manufacturing.pdf>

NIST, 2017, Smart manufacturing  
<https://www.nist.gov/topics/smart-manufacturing>

EU Commission, 2017,Digital Transformation Monitor :Germany Industry 4.0  
[https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM\\_Industrie%204.0.pdf](https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Industrie%204.0.pdf)

Fujitsu Journal, 2016,The Next Generation of Manufacturing as the Key Focus of Japanese Industry – Latest Trends and In-house Practices  
<http://journal.jp.fujitsu.com/en/2016/06/24/02/>

METI,2017, The Connected Industries Achievements, Challenges and Next Steps in Japan, METI  
Marie Kim , 2017, Smart Factory Innovation In Manufacturing 3.0 Strategy Needs Better Focus with Clear Direction , Business Korea  
<http://www.businesskorea.co.kr/sites/default/files/pdf/BK-2015-11.pdf>

export.gov,2017,Korea – Manufacturing Technology – Smart Factory  
<https://www.export.gov/article?id=Korea-Manufacturing-Technology-Smart-Factory>

Make in India, 2017, TOWARDS SMART MANUFACTURING: INDUSTRY 4.0 AND INDIA, Make in India  
<http://www.makeinindia.com/article/-/v/towards-smart-manufacturing-industry-4-0-and-india>

Institute for Manufacturing,2016,HIGH VALUE MANUFACTURING LANDSCAPE 2016 | INTERIM REPORT,www.ifm.eng.cam.ac.uk  
[https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/IFM\\_HVM\\_REPORT\\_WEB.pdf](https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/uploads/Resources/IFM_HVM_REPORT_WEB.pdf)

Siemens,2017, Smart manufacturing for green mobility  
<https://automotivemanufacturingsolutions.com/from-the-industry/smart-manufacturing-green-mobility>

Vladimir Lukic,2017  
<https://www.bcg.com/publications/2017/operations-lean-manufacturing-new-balance-bringing-industry-4-shoemaking.aspx>

McKinsey, 2016; Automative revolution perspective towards 2030; McKinsey ;  
[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YPa\\_nCHoGawJ:https://www.mckinsey.com/~/\\_/media/mckinsey/industries/high%2520tech/our%2520insights/disruptive%2520trends%2520that%2520will%2520transform%2520the%2520auto%2520industry/auto%25202030%2520report%2520jan%25202016.ashx+&cd=3&hl=en&ct=clnk&gl=sg&client=safari](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:YPa_nCHoGawJ:https://www.mckinsey.com/~/_/media/mckinsey/industries/high%2520tech/our%2520insights/disruptive%2520trends%2520that%2520will%2520transform%2520the%2520auto%2520industry/auto%25202030%2520report%2520jan%25202016.ashx+&cd=3&hl=en&ct=clnk&gl=sg&client=safari)

PwC, 2016;Global Construction 2030: a global forecast for the construction industry to 2030  
<https://www.pwc.com/gx/en/industries/engineering-construction/publications/pwc-global-construction-2030.html>

Evan Ackerman, 2015; Automation in Cars: A \$100 Billion Market by 2030; IEEE  
<https://spectrum.ieee.org/cars-that-think/transportation/advanced-cars/automation-in-cars-a-100-billion-market-by-2030>



- Capgemini, 2017 ; Smart factories are a revolution in the making, Capgemini Co.  
<https://www.capgemini.com/service/smart-factories-and-the-modern-manufacturer/#join-conversation>
- PwC,2016; The future of the logistics industry  
<https://www.pwc.com/sg/en/publications/assets/future-of-the-logistics-industry.pdf>
- CISION, 2017;Artificial Intelligence in Transportation Market Worth 10.30 Billion USD by 2030; CISION,Source: Markets and Markets  
<https://www.prnewswire.com/news-releases/artificial-intelligence-in-transportation-market-worth-1030-billion-usd-by-2030-657700173.html>
- John Greenough, 2016;How the Internet of Things is revolutionizing manufacturing; BUSINESS INSIDER  
<http://www.businessinsider.com/internet-of-things-in-manufacturing-2016-10?international=true&r=US&IR=T>
- Roland-berger, 2015;CHEMICALS 2035 - GEARING UP FOR GROWTH ;Roland-berger  
[https://www.rolandberger.com/.../roland\\_berger\\_tab\\_chemicals\\_2035\\_20150521.pdf](https://www.rolandberger.com/.../roland_berger_tab_chemicals_2035_20150521.pdf)
- David Russell Schilling, 2015;Global 3D Bio-Printing Market to Reach \$150 Billion by 2030; Industry tap  
<http://www.industrytap.com/global-3d-bio-printing-market-reach-150-billion-2030/29692>
- Markets and Markets, 2017;3D Printing Market by Offering (Printer, Material, Software, Service), Process (Binder Jetting, Direct Energy Deposition, Material Extrusion, Material Jetting, Powder Bed Fusion), Application, Vertical, and Geography – Global Forecast to 2023; Markets and Markets  
[https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/3d-printing-market-1276.html?gclid=EAIaIQobChMIY6B2a\\_i1wIVhh0rCh3vagyhEAAAYASAAEgLbmPD\\_BwE](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/3d-printing-market-1276.html?gclid=EAIaIQobChMIY6B2a_i1wIVhh0rCh3vagyhEAAAYASAAEgLbmPD_BwE)
- Markets and Markets, 2017;Industrial Robotics Market by Type (Articulated, Cartesian, SCARA, Parallel, Collaborative Robots), Industry (Automotive, Electrical & Electronics, Metals & Machinery, Pharmaceuticals & Cosmetics), and Geography – Global Forecast to 2023; Markets and Markets  
[https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/Industrial-Robotics-Market-643.html?gclid=EAIaIQobChMI9JWdz6vi1wIVmR0rCh3q3wX-EAAAYASAAEgKC1vD\\_BwE](https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/Industrial-Robotics-Market-643.html?gclid=EAIaIQobChMI9JWdz6vi1wIVmR0rCh3q3wX-EAAAYASAAEgKC1vD_BwE)
- accenture strategy, GeSI, 2015 ; SMARTer2030 - ICT Solutions for 21st Century Challenges; GeSI  
[http://smarter2030.gesi.org/downloads/Chapter\\_Manufacturing.pdf](http://smarter2030.gesi.org/downloads/Chapter_Manufacturing.pdf)
- Jeff Green,2017; what will collaborative robots look like in 2030?; Rethink Robotics;  
<http://www.rethinkrobotics.com/blog/collaborative-robots-2030/>
- Barry Hochfelder ,2017; sources : Capgemini ; Smart factories: The future of manufacturing;Industry Dive.Co  
<https://www.supplychaindive.com/news/smart-factories-Deloitte-talent-shortage-manufacturing/506932/>
- Colliers,2016; Global Manufacturing Shifts: An EMEA Perspective; Colliers Co.  
<http://www.colliers.com/-/media/files/emea/emea/research/2016-global-manufacturing-shifts-an-emea-perspective.pdf?la=en-gb>
- Sara Foghani, Batiah Mahadi, Rosmini Omar, 2017; Promoting Clusters and Networks for Small and Medium Enterprises to Economic Development in the Globalization Era; SAGE Journal ,  
<http://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/2158244017697152>
- WTO,2016;World trade report 2016; WTO  
[https://www.wto.org/english/res\\_e/booksp\\_e/world\\_trade\\_report16\\_e.pdf](https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/world_trade_report16_e.pdf)
- H.B. Marri, A. Gunasekaran, Bulent Kobu, 2003. "Implementation of computer - integrated manufacturing in small and medium enterprises", Industrial and Commercial Training, Vol. 35 Issue: 4, pp.151-157, <https://doi.org/10.1108/00197850310479132>



Terziovski, Mile. 2010. Innovation Practice and its Performance Implications in Small and Medium Enterprises (SMEs) in the Manufacturing Sector: A Resource-Based View. *Strategic Management Journal*. 31 (8): pp. 892–902, <http://doi.org/10.1002/smj.841>

Francois Barbier, 2017, ‘5 Trends of the Future of Manufacturing’  
<https://www.weforum.org/agenda/2017/06/what-s-going-on-with-manufacturing-b013f435-1746-4bce-ac75-05c642652d42/>

Detlef Z ühlke , Dominic Gorecky, 2017, ‘The Internet of Things will Disrupt Manufacturing Forever, but are you ready?’  
<https://www.weforum.org/agenda/2017/01/internet-of-things-will-disrupt-manufacturing>

Wolfgang Lehmacher, Martin Schwemmer, 2017, ‘3D-printing might not kill global trade after all. Here's why’ <https://www.weforum.org/agenda/2017/10/3d-printing-global-trade-supply-chains>

Esther Dyson, 2013, ‘How 3D printing will transform business’  
<https://www.weforum.org/agenda/2013/07/how-3d-printing-will-transform-business>

[https://www.toutiao.com/a6509617712925245955/?tt\\_from=weixin&utm\\_campaign=client\\_share&article\\_category=stock&timestamp=1515668170&app=news\\_article&utm\\_source=weixin&iid=22707097775&utm\\_medium=toutiao\\_android&wxshare\\_count=1](https://www.toutiao.com/a6509617712925245955/?tt_from=weixin&utm_campaign=client_share&article_category=stock&timestamp=1515668170&app=news_article&utm_source=weixin&iid=22707097775&utm_medium=toutiao_android&wxshare_count=1)

TNN, 2016, ‘Smart manufacturing will disrupt SMEs, say experts’ , *The Times of India City*  
<https://timesofindia.indiatimes.com/city/chennai/Smart-manufacturing-will-disrupt-SMEs-say-experts/articleshow/55788343.cms>

Ing. G.B. Nieuwenhuize, ‘Smart Manufacturing for Dutch SMEs Why and How?’  
<https://thesis.eur.nl/pub/34786/Gerben-Nieuwenhuize-419386-Thesis.pdf>

Christian Schröder, 2017, ‘The Challenges of Industry 4.0 for Small and Medium-sized Enterprises’  
<http://library.fes.de/pdf-files/wiso/12683.pdf>

Joost Peters, ‘Hoe 247TailorSteel transformeerde van metaalbedrijf naar softwareontwikkelaar’  
<http://www.mt.nl/673/88796/made-in-nl-smart-industry/hoe-247tailorsteel-transformeerdevan-metaalbedrijf-naar-softwareontwikkelaar.html>

Ing. G.B. Nieuwenhuize, ‘Smart Manufacturing for Dutch SMEs Why and How?’  
<https://thesis.eur.nl/pub/34786/Gerben-Nieuwenhuize-419386-Thesis.pdf>

Joost Peters, ‘Hoe 247TailorSteel transformeerde van metaalbedrijf naar softwareontwikkelaar’  
<http://www.mt.nl/673/88796/made-in-nl-smart-industry/hoe-247tailorsteel-transformeerdevan-metaalbedrijf-naar-softwareontwikkelaar.html>

EU HORIZON 2020, ‘Smart, affordable robots for small companies’  
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/smart-affordable-robots-small-companies>