

MT 机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

<http://www.cmes.org>

2019 年第 1 期 总第 200 期

工业人工智能与工业 4.0 制造

p01

中国成为制造强国的关键机遇：制造业与人工智能结合

p06

2018 年机械工业运行情况综述及 2019 年展望

p18

美国先进制造战略规划

p22



目 录

CONTENTS



机械工程导报

MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2019 年第 1 期 (总第 200 期)
2019 年 2 月 28 日出版

主办: 中国机械工程学会工作总部
地址: 北京市海淀区首体南路9号
主语国际4号楼11层
邮编: 100048
电话: 010-68799036 (编辑部)
传真: 010-68799050
E-mail: zhongyg@cmes.org
网址: www.cmes.org
主编: 陈超志
责任编辑: 钟永刚
出版: 《机械工程导报》编辑部
发行: 中国机械工程学会工作总部



专家视点 EXPERT OPINION

- | | |
|---------------------------|----|
| 工业人工智能与工业 4.0 制造 | 01 |
| 中国成为制造强国的关键机遇: 制造业与人工智能结合 | 06 |



热点关注 CURRENT POINT

- | | |
|----------------------------|----|
| 2018 年机械工业运行情况综述及 2019 年展望 | 18 |
| 美国先进制造战略规划 | 22 |



学会资讯 CMES INFORMATION

- | | |
|---|----|
| 认清形势 认准目标 加强协作 共建世界一流学会——中国
机械工程学会 2019 年总干事秘书长工作会议在厦门召开 | 45 |
|---|----|

工业人工智能与工业 4.0 制造



Jay Lee (李杰), Hossein Davari, Jaskaran Singh, Vibhor Pandhare
美国辛辛那提大学工业人工智能中心

摘要: 白宫关于人工智能 (AI) 的报告 (Lee, 2016) 强调了人工智能的重要性以及需要在该领域制定明确的路线图和战略投资的必要性。当 AI 由科幻成为改变世界的前沿技术时, 我们迫切需要系统性的去开发和部署 AI, 以便了解它在工业 4.0 这个下一代工业系统中的真实价值。在 Lee 等 (2015) 提出的 5C 架构之下, 本文深入的解释了 AI 技术的现状以及人工智能在工业应用发挥作用时所需的生态系统。

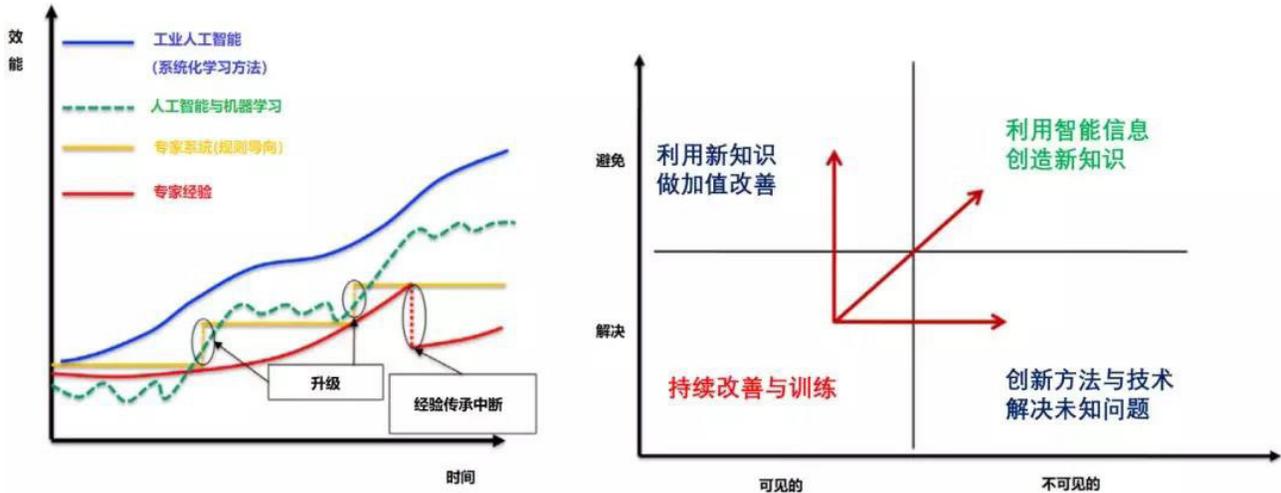
1. 工业人工智能简介

人工智能 (AI) 是一门认知科学, 涵盖了图像处理、自然语音处理、机器人、机器学习等领域的丰厚研究。机器学习和人工智能传统上被认为是黑科技, 往往缺乏有利的证据可以证明这些技术可以重复并始终如一的发挥作用使企业获得投资回报。机器学习算法的功能仍然高度依赖开发人员的经验和偏好, 因此使得 AI 在工业应用中的成功受到限制。换个角度来看, 工业 AI 是一门严谨的系统科学, 它专注于

开发、验证和部署各种不同的机器学习算法以实现具备可持续性的工业应用。工业人工智能作为一种系统化的方法和规则为工业应用提供解决方案, 工业人工智能并且也是将学术界研究 AI 的成果与工业应用连接起来的桥梁。

AI 驱动的自动化尚未能对生产力的增长产生可量化的重大影响^[1]。现今行业, 除了面临市场需求和竞争的新挑战, 它们尚需要一个被称为工业 4.0 的激进变革, AI 与工业物联网 (IIoT)^[3]、大数据分析^[4-6]、云计算^[7-9]

和信息物理系统^[2, 10-11]的集成将使工业以灵活、高效和节能的方式运作。由于工业人工智能还处于起步阶段, 必须明确其结构、方法和挑战以作为其在工业实施中的框架。为此, 我们设计了工业人工智能的生态系统, 它涵盖这一领域的基本要素并且为更好的理解和实施提供了指导方针。另外, 我们也描述了可以建立在工业人工智能之上的使能技术, 图 1 是工业人工智能与其他学习系统在一段时间内对所期望的系统性能的比较示意图。



(a) 工业人工智能与其他学习系统比较 (b) 工业人工智能影响：从解决可见问题到避免不可见问题
图 1 工业人工智能与其他学习系统比较示意图

2. 工业人工智能的关键要素：ABCDE

工业人工智能可以用 ABCDE 的特征进行分类，这些关键要素包含分析技术 (Analytics Technology)，大数据技术 (Big Data Technology)，云或网络技术 (Cloud or Cyber Technology)，专业领域知识 (Domain Knowledge)，证据 (Evidence)。

分析 (A) 是 AI 的核心，它只有在其他要素都存在时才能产生价值。大数据 (B) 与云 (C) 是提供数据来源和工业人工智能平台必不可少的两个要素，然而，专业领域知识 (D) 和证据 (E) 也是常常被忽略的两个重要因

子。专业领域知识 (D) 是下列事项的关键要素：

- (1) 了解问题并专注于利用工业人工智能去解决它；
- (2) 理解系统以便于收集正确且高质量的数据；
- (3) 了解参数的物理含义以及它们如何与系统或流程的物理特性相关联；
- (4) 了解这些参数因机器而异。

证据 (E) 也是验证工业人工智能模型以及它们与累积学习能力相结合的重要要素。收集数据形态模式及与它相关联的证据，我们才能改进 AI 模型使之更加准确全面并且与时俱进。图 1-(b) 显示 AI 如何带领我们从可见空间到不可见，从解决问题到避免问题的发生。

3. 工业人工智能生态系统

图 2 显示了建议的工业人工智能生态系统，它定义了发展工业人工智能系统的需求、挑战、技术和方法的有序思维策略。从业者可依照此系统性指南去制定工业人工智能发展与部署的策略。在标的行业中，这个生态系统定义了常见的未满足需求，例如自感知、自比较、自预测、自优化和自适应。这张图表还包括数据技术 (DT)、分析技术 (AT)、平台技术 (PT) 和运营技术 (OT) 等技术。这 4 项技术在信息物理系统 (CPS)^[2] 的背景下可以更容易的被理解。如图 3 所示，这 4 项技术 (DT、AT、PT、OT) 是

成功实现连接、转换、网络、认知和配置（5C）的使能者。下面简单描述这 4 项使能技术。

3.1 数据技术（DT）

数据技术（DT）是那些能够成功获取在维度上具有显著性能指标的有用数据技术。因此 DT 通过识别获取有用数据的适当设备和机制成为 5C 体系“智能连接”步骤的共同促成者。数据技术的另一个方面是数据通信。智能制造领域的通信并不仅仅是把获取的数据由源头直接传送到分析。它还涉及到 1) 物理空间中制造资源之间的相互作用；2) 将计算机和工厂车间的数据传输和存储到云中；3) 从物理空间到网络空间的通信；4) 从网络空间到物理空间的通信。此外 DT 还需要考虑数据系统的 3B（Broken, Bad, Background）问题也就是数据的分裂性、优劣性和背景的数据【6】。

3.2 分析技术（AT）

分析技术将关键组件透过传感器所采集到的数据转换为有用的信息。数据驱动的建模揭示了来自制造系统的隐藏模式及未知的相互关联性以及其他有用信息。此信息可用于资产健康状况预测例如健康值或剩余寿命值，可用于机器诊断预测和健康管理。分析技术将此信息与其他技术整合可以提高生产力和创新。

3.3 平台技术（PT）

平台技术包括将制造数据存储、分析和反馈的硬件架构。用于分析数据的兼容平台架构是实现敏捷性、复杂事件处理等智能制造特质的主要决定因素。一般来说有独立式、嵌入式和云等三类的平台配置。所以云计算在信息通信技术的计算、储存和服务能力等方面是一项重大优势。云平台可提供快速的服务部署，高

度定制化、知识集成、高效的可视化并具有高度可扩展性。

3.4 运营技术（OT）

运营技术是指根据由数据中提取的信息所做出的一系列决策和行动。向操作人员提供机器和过程健康信息是有一定价值的，但工业 4.0 工厂将超越这一范畴，使机器能够根据 OT 所提供的洞察力进行沟通和决策。这种

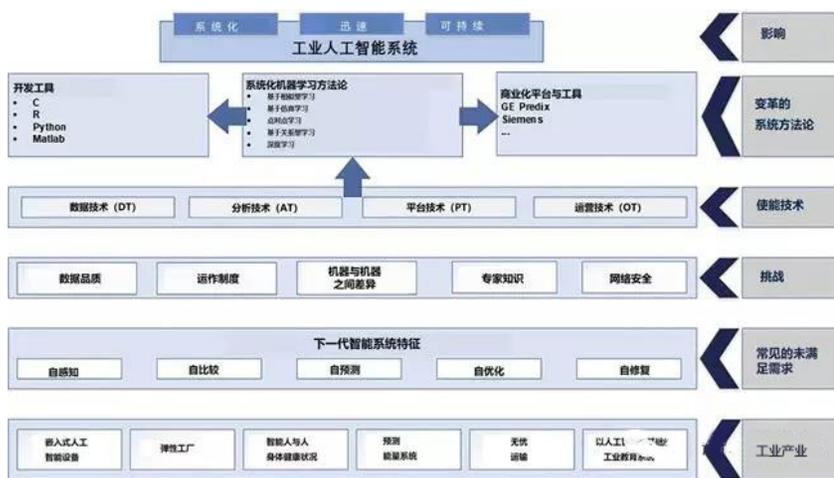


图 2 工业人工智能生态系统



图 3 实现 CPS 制造的使能技术

机器与机器之间的协作可以在同一车间的两台机器之间，也可以在两个相隔很远的厂区的机器之间发生。他们可以互相分享经验如何去调整特定参数以达到最优性能，并根据其他机器的可用性调整其排程。在工业 4.0 工厂中，运营技术是通向自感知、自预测、自配置、自比较等 4 项能力的最后一步。

4. 案例研究：智能主轴系统

本节介绍工业人工智能的架构在 CNC 机床主轴的应用和实施。

在制造业，机床主轴的健康状况是绝对重要的，此案例旨在展示 4 种赋能技术驱动的工业人工智能可以为机床主轴提供实时监控与性能预测的完整解决方案。此系统设计可以最大限度的降低维护成本同时优化产品质量。如图 4 所示，考虑应用场景中常见的未满足需求是执行的第一步。

为了解决未满足的需求（一个自感知和自优化的机器）必须关注 1) 数据质量；2) 多区域的复杂度；3) 机器之间的不同；4) 专家系统的纳入；5) 多数据源的复杂度等五项挑战。图 4 概述了如何运用 DT、AT、PT 和 OT 应

对这些挑战去开发一个智能主轴系统。

5. 工业人工智能的挑战

工业人工智能的期望是巨大且多方面的，即或要满足企业界的部分期望也将会是人工智能在应用时要面对的独特且真实的挑战。在现存的复杂挑战中，下列问题具有更高的重要性及优先性。

5.1 机器与机器之相互影响

当 AI 演算法能够准确的将一组输入数据集映射到一组输出

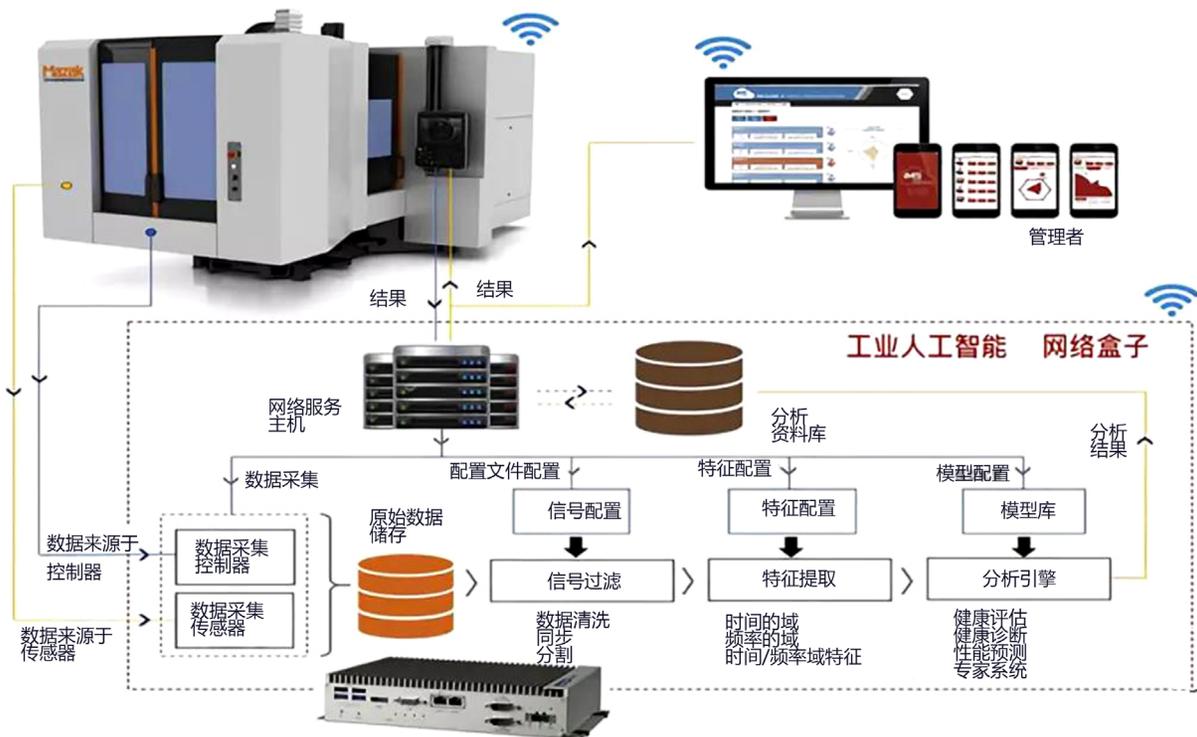


图 4 智能机床主轴平台技术

数据集时，它们也容易被因机器与机器间之不同而有的细微变量所影响。AI 算法需要确保单个 AI 解决方案不会对其他下游系统的工作造成干扰或冲突。

5.2 数据品质

AI 演算法需要大量且具有最小偏差的干净数据集，用不准确或不充分的数据集去学习会产生有缺陷的结果。

5.3 网络安全

越来越多地使用连接技术使得智能制造系统容易受到网络攻击。目前此类危险程度并没有受到足够的重视，而且企业界对存在的网络威胁也没有完善的对策^{【12】}。

6. 结论

当 AI 由科幻成为改变世界

的前沿技术时，我们迫切需要系统性的去开发和实施 AI，以便了解它在工业 4.0 这个下一代工业系统中的真实价值。本研究旨在定义工业人工智能这一术语并将其纳入工业 4.0 的范式中。本文也通过对工业人工智能生态系统在当今制造业中的概述为工业人工智能系统的实现提供策略与指导原则。MTI

参考文献

- 【1】 Lee K. Artificial intelligence, automation, and the economy. The White. House Blog; 2016.
- 【2】 Lee J, Bagheri B, Kao HA. Cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manuf Lett* 2015; 3:18–23.
- 【3】 Da Xu L, He W, Li S. Internet of things in industries: A survey. *IEEE Trans Ind Inf* 2014; 10(4):2233–43.
- 【4】 Lee J, Lapira E, Bagheri B, Kao HA. Recent advances and trends in predictive manufacturing systems in big data environment. *Manuf Lett* 2013; 1(1):38–41.
- 【5】 Shi J, Wan J, Yan H, Suo H. November. A survey of cyber-physical systems. In: *Wireless Communications and Signal Processing (WCSP)*, 2011 International Conference on. IEEE. 2011. p.1–6.
- 【6】 Lee J, Ardakani HD, Yang S, Bagheri B. Industrial big data analytics and cyber physical systems for future maintenance & service innovation. *Procedia CIRP* 2015; 38:3–7.
- 【7】 Zhang L, Luo Y, Tao F, Li BH, Ren L, Zhang X, et al. Cloud manufacturing: a new manufacturing paradigm. *Enterprise Inf Syst* 2014; 8(2):167–87.
- 【8】 Wu D, Greer MJ, Rosen DW, Schaefer D. Cloud manufacturing: Strategic vision and state-of-the-art. *J Manuf Syst* 2013; 32(4):564–79.
- 【9】 Yang S, Bagheri B, Kao HA, Lee J. A unified framework and platform for designing of cloud-based machine health monitoring and manufacturing systems. *J Manuf Sci Eng* 2015; 137(4):040914.
- 【10】 Baheti R, Gill H. Cyber-physical systems. *Impact Control Technol* 2011; 12(1):161–6.
- 【11】 Leitao P, Karnouskos S, Ribeiro L, Lee J, Strasser T, Colombo AW. Smart agents in industrial cyber-physical systems. *Proc IEEE* 2016; 104(5):1086–101.
- 【12】 Tuptuk N, Hailes S. Security of smart manufacturing systems. *J Manuf Syst* 2018; 47:93–106.

中国成为制造强国的关键机遇： 制造业与人工智能结合*



清华大学国家金融研究院 朱民 黄乐平

前言

当中国发展进入新时代，中国也进入由科技和创新驱动的新一轮发展阶段，而人工智能将成为中国新时代科技创新的关键和参与全球竞争的重要砝码。

人工智能技术在各行业已经展现出广阔的应用前景，不仅能带来生产效率的提升，还会催生新的产品、模式与公司，推动整个产业价值链的重构。发展人工智能也已经成为国家之间竞争的高点之一。

从国家发展的长远角度来看，人工智能将对经济、社会、国防等多个领域带来深远影响，成为全球竞合中的重要砝码之一，是不可错过的重要发展机遇。

人工智能的争夺是世界未来最主要、最重要的争夺，将决定世界的未来，也会重新撰写和定

义中华民族 5000 年的历史，在这个争夺中，中国没有任何的空间和时间可以犹豫和后退。

中国是世界上最大的制造业大国，制造业与人工智能的结合是中国从制造大国走向制造强国的重要一步，是中国直面国内国际挑战的重要超车机遇。

本文分析中国制造业和人工智能合作、渗透、交融和整合发展，讨论中国走向智能制造的必要性和必然性，前瞻中国智能制造的内涵和发展，提出“智能制造：中国制造业和人工智能共享共赢的未来”的命题。

我们认为，制造业与人工智能的结合是解决中国人口老龄化，制造业由于装备和软硬件平台依赖进口所面临的缺乏创新平台自动化自主程度较低、制造业外移、制造业仍然处于价值链低端，劳动生产率较低等问题的重

要手段。特别在中美贸易摩擦挑战下，制造业亟待人工智能赋能。

人工智能等新技术为制造业的发展打开新天地，制造业为人工智能提供巨大的数据养料和落地舞台。沿着数字化、网络化、智能化的智能制造发展路径，一个包括设备企业、软件与服务企业、通信和解决方案提供商、制造业工厂在内的全新产业即将出现。未来智能化的制造业将是中国经济和技术发展的重中之重。

短期内，人工智能与工业机器人在制造业落地迅速发展，人工智能协同机器人将解放大量重复、规则的人类劳动。

中长期内，伴随工业互联网的成熟，机器之间、工厂之间得以智能化互联互通，区块链技术的加入更使得制造业“全自动运行”成为可能，“人工智能+机器人+区块链”模式值得期待。

注：本文来源于原子智库公众号，已获得授权。

长期看，制造业与服务业将深度融合，标准化生产与个性化定制并存，智能制造为人们构筑美好生活提供畅想空间。

一、制造业和人工智能互补共赢

1. 人工智能在制造业发展前景无限

从人工智能技术的发展路径看，当前人工智能技术成熟或相对成熟的主流技术/算法包括：计算机视觉、深度学习、自然语言处理、智能机器人、语音识别等，这些都能在制造业中得到广泛和深度的发展。

特别是深度学习应用前景广阔，几乎涉及制造业的所有细分行业而受到广泛重视。在机器视觉、语音技术、机器学习、区块链等新兴技术助力下，人工智能赋能制造业前景光明。

(1) 深度学习/机器学习是人工智能的关键算法，主要是设计和分析机器学习算法，使得计算机自动“学习”——即自动分析和从数据中获取规则，并使用规则来预测未知数据，在制造业的预测、经营和管理中有广泛的应用，例如产量和销售管理，多产品并进生产，预测性维护等。

机器学习通过与语音识别、计算机视觉和机器人技术的协同，可以利用大量数据，训练人工智能，开发在制造业的深度功

能并发展深层次应用。

该技术目前在学术界研究火热，处于快速发展中，在计算机领域的应用热火朝天，在模式识别、自然语言处理、数据挖掘中均有突破性的发展，未来在工业界特别在制造业拓展实际应用、在商业上实现落地，将会有很大的应用前景。

(2) 机器视觉。机器视觉可理解为用计算机来模拟人的视觉功能，从客观事物的图像中提取信息，进行处理并加以理解。

随着工业生产复杂程度的不断加深，越来越多的微加工生产流程不断涌现，随之而来的是大量不可控制的磨损和消耗。为了保证生产精度，机器视觉被广泛用于加工件的尺寸测量与定位、工序间自动化、检测（打标识别、信息验证、质量检测等）等工序。

(3) 语音技术。声音和对话是人类习惯的交流方式，语音识别/合成技术为机器与人的对话成为现实。语音语义技术过去两年在各行各业快速落地，语音识别/合成、问答和会话技术相继成熟。

语音问答方面，单句问答结合语音识别/合成以及自然语言处理技术，能够对单个问题进行分析并给出答案。随着工业互联网和物联网技术的发展，工业场景下语音问答性能不断提升，逐渐从单一功能向全方位智能中枢转变，主要应用为物流业中的语

音拣选。

(4) 区块链。可追溯、高透明度，区块链与供应链高度契合。可追溯性和透明度是供应链至关重要的基础，区块链作为“分布式账本”，有十分明显的公开、透明优势，有助于解决供应链中的信息不对称、不可追溯、历史信息篡改等痼疾。

基于区块链的共享账本，每一个参与者都可以实时验证，确保各个环节的活动都拥有同等的可视性，供应链中的欺诈与错误得以减少，库存管理改善，承运方成本有所降低，信息及时传达、减少纸上作业的延迟，最终得以提高消费者与合作伙伴的信任度。

(5) 机器人技术。智能机器人技术覆盖范围较广，包括计算机视觉、定位、语音识别等，目前智能机器人的某些关键技术尚处于研发阶段，且部分零部件如操作系统、连接组件成本较高。

现阶段出现的实体智能机器人的产品尚属初级，未来的发展前景主要在各类应用领域，工业机器人、特殊应用机器人、服务机器人、医疗机器人等发展前景巨大。

(6) 大数据信息处理。工业生产中产生的海量数据将与工业云平台相连，采用分布式架构进行分布式数据挖掘，提炼有效生产改进信息，最终将用于预测性维护等领域。它将依托云计算

的分布式处理、分布式数据库和云存储、虚拟化技术等。

(7) 低延迟工业级信息传输。传统工业级的通讯大多通过有线方式连接，随着传感器和分布式系统在工厂内的分布越来越离散，信息传输将从有线转向无线，而且信息传输的效率需要低延迟、低丢包率的特性，TSN网络成为新的要求。

2. 中国制造业为中国人工智能发展提供最大的场景

(1) 今天，中国是世界上最大的制造业大国。中国之前，全球尚未有任何一个国家能在短短的40年内，实现由农业经济向信息经济的跃迁。

改革开放40年来，我国建立了门类齐全的现代工业体系，工业经济的实力迅速壮大并跃升为世界第一制造大国，也是世界

上唯一有完整的制造业体系、产品和产业链的大国。

世界银行统计数据显示，2017年中国制造业增加值为3.59万亿美元，占全世界的28.57%，是美国和德国制造业增加值的总和，遥遥领先于世界其他国家（图1），并在2016世界制造业竞争力指数排名中（图2）位居榜首。

另一方面，制造业在中国产业结构中地位至关重要。2017年美国GDP中第二产业仅占19%，而同期中国第二产业占据GDP的41%、制造业增加值占GDP的29%。相较于世界其他国家，中国制造业在国民经济中的地位和重要性都要高，也为人工智能提供了更大的发展空间。

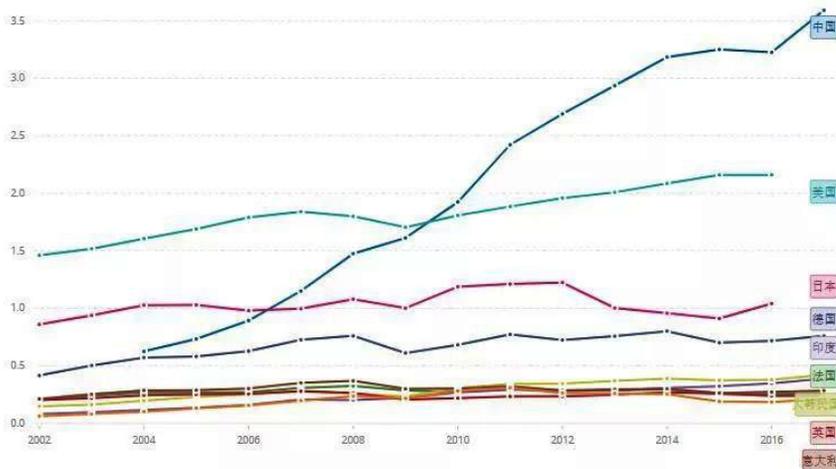


图1 2002-2017 制造业增加值 (万亿美元)
数据来源: Worldbank Database, 作者

2016 (Current)		
Rank	Country and Region	Index score (100=High) (10 = Low)
1	China	100.0
2	United States	99.5
3	Germany	93.9
4	Japan	80.4
5	South Korea	76.7
6	United Kingdom	75.8
7	Taiwan ,China	72.9
8	Mexico	69.5
9	Canada	68.7
10	Singapore	68.4

2020 (Projected)			
Rank	2016 vs. 2020	Country and Region	Index score (100=High) (10=Low)
1	(▲ +1)	United States	100.0
2	(▼ -1)	China	93.5
3	(↔)	Germany	90.8
4	(↔)	Japan	78.0
5	(▲ +6)	India	77.5
6	(▼ -1)	South Korea	77.0
7	(▲ +1)	Mexico	75.9
8	(▼ -2)	United Kingdom	73.8
9	(▼ -2)	Taiwan ,China	72.1
10	(▼ -1)	Canada	68.1

图2 世界制造业竞争力指数排名 (2016&2020)
数据来源: Deloitte Research:《2016全球制造业竞争力指数分析》，作者

(2) 中国制造业产业结构特性适于人工智能应用。在制造业, 低技术含量(第二产业、处理常规/可预测/可编程任务)的工人将首先面临被人工智能替代。

中国制造业主要由传统产业驱动, 从业者技术要求较低, 因此其劳动力可以被自动化的程度整体较高, 重复性、规则性、可编程性较高的工作内容将在未来主要由人工智能协同智能化工业机器人完成。

基于产业结构和劳动力结构的不同, 人工智能替代低技术工人对中国的影响将大于美国。麦肯锡全球研究所(MGI)估计中国51%的工作(约3.94亿全职员工)可以自动化。由此, 未来AI对中国经济增长的驱动力将达1.3%左右, 高于世界平均水平。

(3) 制造业可源源不断产生比消费更为丰富的海量数据, 为人工智能发展提供丰富的“生产资料”。根据Monica Rogati的数据科学需求层次, 数据的收集是数据分析、测试、机器学习的基础。仅当拥有足量的数据基础时, 机器学习才能够最大程度发挥其效用。

三大产业的数据产生频率有所不同, 第一产业以一年若干季为周期, 服务业以月和日为周期, 制造业可以在产线运行、检测、运输、仓储等全过程源源不断产生数据流, 为AI时代的计算提供大量的、相对规则的数据

资料, 助力机器学习进一步的算法优化、提高预测准确度。

(4) 制造业与服务业相融合、构筑新的产业。今天, 产业互联网已经超越ToB、ToG范畴, 未来将以独特的C2B方式连接智能产业, 帮助B端打通生产制造、消费服务的价值链, 构筑新的“服务产业、也服务于人”的新型制造业服务业。

未来将不再有纯粹的“制造业”或纯粹的“服务业”, 而是两者深度融合, 制造业将从现在的标准化、规模化增添个性化与定制化的服务属性。伴随工业智能化的进一步推进, 最终有望实现定制化用户个性需求。

物联网拥有“无界、无价、无序”的本质, 通过建立自驱动的非线性网络, 有望实现“用户零距离、流程零签字、体验零延误”。

高端智造的核心不止步于生产高端产品, 而是可进一步延伸至为用户提供高端服务, 满足用户的个性化需求。依托智能化与高效率的定制美好生活平台, 或成为全球产业的下一个风口。

3. 人工智能赋能中国制造业克服挑战

尽管中国是世界第一制造业大国和“世界工厂”, 但中国制造业仍然处于国际分工中价值链相对低端的位置, 面临着生产率增速下降、技术学习难度加大,

人口红利消失, 制造业外移和国际环境的外部冲击的根本性挑战。

随着我国经济发展逐渐步入工业化后期, 需求拉动对制造业资源配置和效率提升的效应正不断弱化; 从技术层面看, 我国传统产业中的高端生产装备和核心零部件技术长期受制于人, 技术竞争力差距大。

而新兴技术和产业领域全球竞争的制高点掌控不足; 在全球产业结构调整中, 我国制造业增长更多依赖于来自发达国家的制造业转移。

在此背景下, 在新一轮“制造业+人工智能”的竞争中把握好机遇, 以人工智能技术的连接、融合功能引发传统制造业产业形态的平台化、网络化和深度服务化, 对于我国制造业的转型升级和提升国际竞争力有着重要意义。

(1) 人工智能提升制造业劳动生产率。从国际比较视角看, 中国的单位劳动产出较低。2015年, 世界平均单位劳动产出为18487美元, 中国是7318美元, 不及全球平均水平的40%。

伴随中国产业结构升级、劳动素质提升及对外开放程度的提高, 中国单位劳动产出实现过两位数的增长, 缩小了和发达国家的差距, 但2010年至今中国单位劳动产出增长速度下降到6%-7%区间。以高新技术接力赋

能增长、提高中国劳动生产率时不我待。

(2) 人工智能帮助制造业直面人口老龄化的挑战。中国正面临人口老龄化的挑战，就业倾向制造业适龄人口未来快速减少。2011年中国出现“人口红利”拐点，之后青年劳动力人口占比继续下降，已从2011年的50%，下降到2016年的46%。

根据国务院《国家人口发展规划(2016—2030年)》，14-45岁人口占比到2030年将下降到32%，适龄人口减少对未来制造业的发展将产生持续影响。

同时，“90后”和“00后”以后的年轻人对从事简单重复劳动的意愿较低，中国制造业已经出现员工稳定性下降的趋势。人工智能会为员工创造从普通操作工人向操作机器人的工程师等行业专家发展的更大的成长空间，

也为企业的持续发展创造动力。

(3) 以人工智能推动制造业装备创新，减少制造业自动化对美德日技术和设备的依赖。我国企业运用的自动化设备及技术仍然依赖美德日企业。

虽然中国企业在规模上超过美德日，但产品设计和生产所需的自动化装备、方法论和软硬件平台上，目前还主要依靠西门子、GE、三菱等美德日企业。人工智能、大数据等新技术兴起，为制造业自主化的进一步升级提供了可能性。

工业互联网提供了大数据信息处理，机器视觉信息获取，低延迟工业级信息传输等功能，这些功能对生产、运输、检测环节带来新的生产力，为先进装备的创新和发展提供了新的契机。

(4) 以人工智能解决中国制造业因劳动成本上升等引起的产

业向第三方发展中国家转移的挑战。近年来伴随中国人力、土地、环保、社保等成本端的提升，以及中美贸易摩擦带来的挑战，中国低端制造业出现向印度、越南等低成本国家的外迁趋势。

以电子产业链为例，近几十年来，全球化的电子产业沿欧美→日本→韩国/中国台湾→中国内地转移，现在部分开始从中国转移至印度/越南等低成本国家。采用人工智能自动化、优化成本控制的企业才能在产业迁移的过程中胜出。

(5) 人工智能赋能制造业全面提升企业经营效益，提升价值地位。中国制造业普遍面临利润空间狭窄的挑战。人工智能可以从产品、服务和生产三个维度帮助制造业企业实现升级，提升企业营收和利润。

产品方面：软件赋能硬件的智能升级。通过内置新操作系统或更新程序，将人工智能算法嵌入产品中，如机械、汽车等，从而帮助制造业企业生产全新的智能化产品。如腾讯人工智能开放平台对外提供计算机视觉，帮助制造业企业实现产品升级。

服务方面：提高营销能力和售后服务水平。利用人工智能算法，帮助制造业企业优化营销能力，提升售后服务水平。1) 售前营销，通过人工智能分析用户画像，判断重点需求，从而进行更实时、精准的广告投放；2)

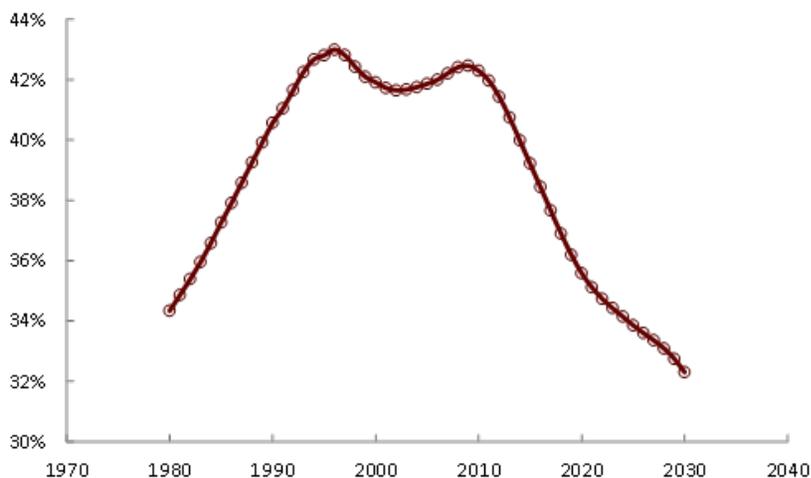


图3 中国青年壮年(20-44岁)人口占比自2011年起开始下降
数据来源：国家统计局，美国经济分析局，作者

售后服务，以物联网、大数据和人工智能算法，对产品进行实时监测、管理和风险预警。

生产方面：提升设备自动化生产能力。将人工智能技术嵌入生产过程，提升机器设备的自动化水平，实现在复杂情况下的自主生产，从而全面提升生产效率。通过机器学习建立产品的生产模型，识别各制造环节参数，判断其对最终产品质量的影响，通过深度学习自主判断最佳参数，从而实现完全机器自主的生产。

二、智能制造业的崛起

1. 智能制造产业化基本特征

智能制造特征主要有四个方面：以智能工厂为载体、以生产关键制造环节智能化为核心、以端到端数据流为基础、以全面深度互联为支撑。其中生产智能化、数据交流以及制造本体深度互联，正是工业互联网所要解决的核心问题。

随着多项技术的不断成熟和实际应用，人工智能应用领域不断拓展，制造业企业的商业世界将会被实质性地影响和改变，并在以下三个层面得到实质性的提升。

(1) 自动化达到新高度。随着机器视觉、语音识别、自然语言理解等感知类技术不断成熟，

各行业已尝试将其引入标准化程度较高的业务中，提升行业的自动化水平。

例如自然语言理解技术在金融行业被应用于客服聊天机器人以应对简单标准的客户沟通，航空业将客服机器人运用在预定机票、办理登记手续、更换座位等服务中，成本大大低于人工服务。

图像识别和语音识别技术的发展提高了身份验证的自动化程度和准确度，机器可以利用面部和声音进行身份验证，效率远高于人工判断或询问验证问题。

Blue River Technology 等领先农业技术公司将机器视觉应用到提升农耕自动化的实践中，用机器视觉来识别每一株植物，挑出符合要求的植株，向不符合的进行农药喷洒，导致害虫减少高达 90%，田地收成提高。

(2) 智能分析与决策水平提升。人工智能的发展使数据挖掘和分析技术跳出了传统分析技术的局限，并取得新的突破，大幅度提高了商业智能的水平，在风险管理、营销和服务等领域实现真正的“智能化”，具体表现包括基于社交媒体生产信用评分、财务数据分析与评论、从实时复杂交易模式中发现欺诈等。

(3) 新的商业模式与新产业诞生。在需求端，传统行业逐渐意识到了人工智能的力量，开始将人工智能作为下一个增长点。

在制造业领域，风能发电设

备巨头金风科技应用人工智能技术，对全球风能市场大数据进行分析，对自身产品故障和维修进行预测，实现了对运维模式和风场配置的优化，同时减少电量损耗，降低了运维成本。

在供给端，逐渐形成供给人工智能技术服务及产品的新业态，市场中出现大量的计算机视觉、语音识别、云计算服务等提供商。基础层、技术与算法层与应用层均有众多供给企业诞生，同时，横跨各层次的综合性巨头与机器人、无人驾驶等垂直领域解决方案提供商实力凸显。

2. 智能制造业催生新的未来智能产业

在区块链、机器视觉、语音技术、机器学习等技术的助力下，制造业+人工智能将沿着“数字化”、“网络化”、“智能化”三阶段发展，造就一个全新的产业。为设备企业、软件与服务企业、通信与解决方案提供商、工厂生产流程等都带来新的结构性机会。

(1) 产生新型的设备企业。人工智能等新兴技术在制造业中的应用催生了多种新型硬件设备，如自动光学检测、自动引导运输车、激光打标机、协作机器人等，为硬件设备制造企业带来新的产品细分市场：

例如，自动光学检测(AOI)机器通过摄像头自动扫描PCB，

采集图像，测试的焊点与数据库中的合格的参数进行比较，经过图像处理，检查缺陷，并通过显示器或自动标志把缺陷显示/标示出来，供维修人员修整。

例如，自动导引运输车（AGV）等仓储机器人在行进过程中，通过机器视觉来判断行进路线、物料位置、周围环境等重要信息，可以跨流程、跨产线、跨区域、跨部门运输物料、半成品和产品，实现生产流程柔性化，在自动化物流系统中充分地体现其自动性和柔性，实现高效、经济、灵活的无人化生产。

例如，激光打标机用激光在物料上做二维码或条形码的打标，同时在制造信息服务器以及各设备上通过物料地图来定位每个芯片的编号和流程。

当电子元件检测出现问题时（尤其是稳定性要求极高的应用端如汽车电子、航空航天、军用产品等），可以追溯该元件的整个生产流程，并同时排除周边的芯片所制产品已保证产品稳定性和可靠性。

协作机器人在高速即时的工业通信支持下，结合机器视觉、传感器、先进伺服电机和安全控制系统，可以准确地判断人的位置、动作和运动趋势，感应操作人员的力度、速度、惯性、距离等信息，并针对其状态调整机器人的状态和运动。

(2) 工业软件与服务企业开

始展露。传感器、工业云、机器学习、区块链技术的彼此配合，需要成熟的软件、算法与服务企业作为支撑，布局数字双胞胎、预测性维护、车货匹配系统等应用的软件服务公司将受益于AI与制造业的深度结合。

例如，数字双胞胎在资产的生命周期采用信息化的设计、规划、生产和管理，以近实时的速度传输数据，用以保证生产的高效、安全和运营风险管理，具体实例如DNV GL在其海上油气勘探业务中应用了数字双胞胎模型。

例如，预测性维护实现机器学习技术与制造业的结合，基于被监测设备、物料、环境的信息，依据设备剩余使用寿命、物料良率等指标，可以预测昂贵的维修需求或严重故障，并在发生严重损坏之前启动预防措施与维护工作，从而达到预测性维护降低企业生产成本的目的。

例如，区块链与供应链的结合颇受期待，行业领先的区块链服务供应商IBM的区块链服务已经广泛应用到食品安全、金融、广告、政府、保险、物联网等多个行业，与沃尔玛、马士基、中国邮政储蓄银行、联合利华等行业领先企业建立合作关系。

目前，区块链在供应链中的应用主要在高价值产品（如钻石）和大型物流（如海运），未来有望向中型单次运输量的行业渗

透，而拥有领先区块链软件及项目落地能力的企业将优先得益。

例如，语音拣选是语音技术在工业上的代表应用，作业系统将任务指令转化为语音播报给操作员，并采用电子技术将操作员与系统的信息交流转化为实际操作。语音拣选是现代化高效分销物流过程中不可或缺的一部分，可显著提高工作效率、减少错误，且在冷库运输、多项作业合并等场景下优势凸显。

(3) 通信和解决方案提供商的新机遇。前述为设备企业、软件与服务企业带来发展动能的应用，无一不依托于高速的工业通信技术和高程度系统互通互联。通信和解决方案提供商扮演提供媒介的角色，其研发与项目进展直接关系到工业互联网与制造业智能化的落地速度。

如何运用时间敏感网络（TSN）/ 5G等通信技术、传感器、云平台的技术，打破过去工厂内生产系统（OT）和信息系统（IT）之间的壁垒孕育着巨大商机。

3. 无所不包的工业云服务

工业云是人工智能未来发展的服务基础，为未来长远人工智能的发展，工业云具有5个不同层面的应用场景。

第一层：及时发现问题。

当打通了三个维度的数据流、实现了数据的自由流动之后，就能够通过从云端监测到异常的

数据，来及时发现问题，将损失的成本降到最低。

例如，东方国信基于跨行业跨领域能力打造 Cloudiip 平台，解决工业企业设计、仿真、生产、管理、运维问题。生产过程中，根据传感器数据对现场环境进行感知，避免极端情况发生。

第二层：预测问题发生（产品预测性维护）。

数据分析程度不断加深，基于设备机理模型和产品数据挖掘，可以开展基于规则的故障诊断、工艺参数优化、设备状态趋势预测等单点应用。

预测性维护是指基于被监测设备、物料、环境的信息，预测诸如设备剩余使用寿命、物料良率等指标。

预测性维护系统可以预测昂贵的维修需求或严重故障，并在发生严重损坏之前启动预防措施。服务部门可以快速反应，更换特定零件，或者提前进行维护工作，从而达到预测性维护降低企业生产成本的目的。

以半导体生产为例，设备包括大量的零部件，通常在生产厂商所存的零部件有限，如果由于磨损导致停止生产，公司往往要看零部件的交期才能恢复生产，这个时间有可能是一周或者一个月甚至更久。

如果可以预测到零部件的更换时间，通过安排及时的设备维护，生产企业只需在预先安排的

设备维护时间更换即可避免无法控制的产能损失。

第三层：产品全生命周期优化（数字双胞胎）。

在实现单点优化的基础上，下一步是实现从产品设计、生产计划到制造执行的全过程数字化，将产品创新、制造效率和有效性水平提升至一个新的高度。数字双胞胎正是在虚拟空间中完成映射，从而反映相对应的实体装备的全生命周期过程。

数字双胞胎的核心在于基于模型的企业（Model Based Enterprise, MBE）方法，就是要在整个企业和供应链范围内建立一个集成和协同化的环境，各业务环节充分利用已有的单一数据源开展工作，从而有效地缩短整个产品研制周期，改善生产现场工作环境，提高产品质量和生产效率。按照生产的不同环节，可以分为：

CAD（计算机辅助设计，Computer-Aided Design）：主要用在产品设计环节，对产品和工程进行总体设计、绘图、分析和编写技术文档等。CAD 使传统的产品设计从纸面上到计算机中，通过参数的随时设置和随时改变，提高了产品设计的效率。

CAE（Computer-Aided Engineering，计算机辅助工程）：主要用在产品的工业设计环节，用来模仿产品在各种物理场情况下的力学性能，即利用计算机求

解复杂工程和产品结构强度、刚度、屈曲稳定性、动力响应、热传导、三维多体接触、弹塑性等力学性能的分析计算以及结构性能的优化设计等问题的一种近似数值分析方法。CAE 的出现大量解放了人的脑力，已经成为工程和产品结构分析中（如航空、航天、机械、土木结构等领域）必不可少的数值计算工具，对于分析繁杂的各类力学问题尤其见长。

CAM（Computer-Aided Manufacturing，计算机辅助制造）：模仿零部件和夹具在加工过程中的刀轨情况，利用计算机来进行生产设备管理控制和操作的过程，把 CAD 设计好的东西用于生成驱动数字控制机床的计算机数控代码。

它输入信息是零件的工艺路线和工序内容，输出信息是刀具加工时的运动轨迹（刀位文件）和数控程序。CAM 能够大幅缩短产品开发周期，减少操作失误。

第四层：产业链协同：交互定制平台（C2M）。

产业链协同是指跨企业的制造能力、制造资源等对接。借助云应用，实现大型产品设计制造的跨企业管理，并且动态采集掌握设备运行状态，运用大数据分析帮助产业链实现资源最优化配置。

海尔集团的交互定制平台是产业链协同的一个很好实例。通

过交互平台，消费者可在线定制冰箱、洗衣机、空调等产品。当订单提交后，互联工厂将自动生产定制化产品，日日顺物流将产品配送至消费者家中。海尔集团领先市场推出定制家电是基于领先的智能制造和电商物流能力。通过 COSMOPlat，海尔互联工厂能够迅速对用户的定制订单做出响应。

软件层面，海尔互联工厂的核心系统是 CosmoIM，它能够通过信息化、数字化的手段将产品和用户订单绑定，并解决自动排产、员工单人绩效管理现场生产执行层面的问题。

硬件层面，在互联工厂中可

以看到海尔独创的自动化运输系统，它可以根据订单执行情况，自动识别生产线需要的物料并配送到位，确保交给用户的产品一定是正确的，实现用户需求驱动下的柔性生产。日日顺物流可以将产品准确、及时的从工厂运输到消费者家庭。

第五层：开放平台。

互联网化的最终形态是吸引第三方企业自己的平台上开发工业应用。工信部在 2018 年提出的“百万工业 APP 培育”也是加快建设工业互联网平台体系的一部分。其目的是以应用服务方式实现工业知识的沉淀、传播、复用和价值创造，推动实体经济

特别是制造业向数据驱动型创新体系和发展模式转变。目前在工业互联网 APP 走在最前面的 GE 的 Predix（编者注：已被 GE 出售）和西门子的 MindSphere。

四、企业发展智能制造的路径

制造业智能化实现路径：在数字化、网络化、智能化的相互递进与配合下，企业转型智能工厂、跨企业价值链延伸、全行业生态构建与优化配置将有望得以实现。

首先，数字化。通过将种类繁多的工业传感器布置于生产与

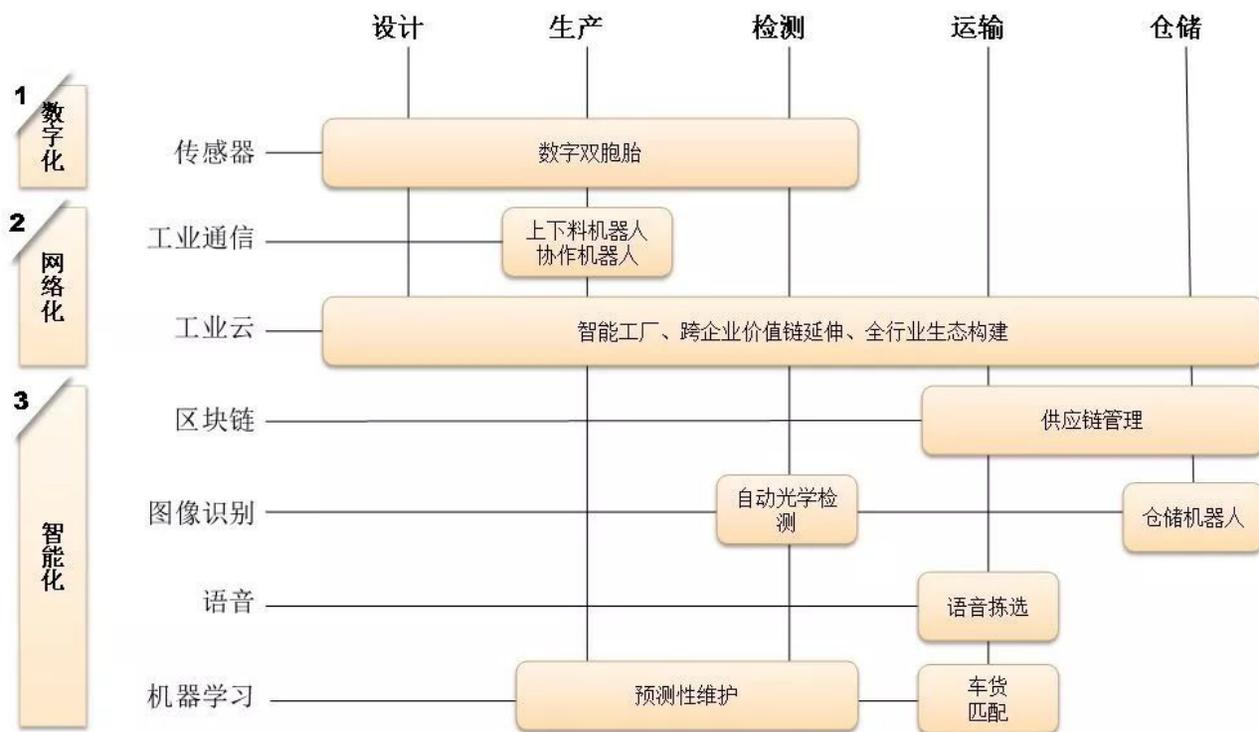


图 4：人工智能如何改变制造业
资料来源：工信部，作者

流通的各个部分，可以将工业过程各主要参数制式数字化，产生大量工业数据，为智能化奠定数据基础。

其次，网络化。工业通信将传感器采集到的工业数据低延迟、低丢包率地传输至云端。未来，通信协议标准化、无线通信技术应用将成为趋势。工业云是工业互联网最核心的部分，进行海量数据的汇聚、提炼、模型计算等，实现资源优化与预测。

最终，实现智能化。依托区块链和图像、语音、机器学习等人工智能技术，制造业企业得以在网络化的基础上进一步实现智能化，如依托区块链技术进行供应链管理、依托图像技术进行自动光学检测和仓储机器人的使用、依托语音技术进行物流语音拣选、依托机器学习进行预测性维护和车货匹配等。

因此，企业制造业智能化转型也可以分为数字化、网络化、智能化三步。在数字化、网络化、智能化的相互递进与配合下，企业转型智能工厂、跨企业价值链延伸、全行业生态构建与优化配置将有望得以实现。

1. 第一步：数字化——“感受”工业过程，采集海量数据

(1) 为配合工业智能化、实现智能制造，制造业工厂在进行数字化、网络化、智能化的软硬

件应用之前，更为基础的是在生产流程上打通设计、生产、检测、搬运、仓储、配送等主要环节，高效、科学的生产流程设计蕴含着巨大的提质增效、降本减存的机会。

(2) 工业传感器：工业数据的“采集感官”，多类别、广应用为智能化奠基。

人工智能的基础是大量的数据，而工业传感器是获得多维工业数据的感官。除了设备状态信息以外，人工智能平台需要收集工作环境（如温度湿度）、原材料的良率、辅料的使用情况等相关信息，用以预测未来的趋势。这就需要部署更多类别和数量的传感器。如今，使用数量较多的传感器包括压力、位移、加速度、角速度、温度、湿度和气体传感器等。

现在的工业传感器可以提供监视输出信号、为预测设备故障做出数据支持，可有助于确认库存中可用的原材料，可代替指示表更精确地读数以及在环境恶劣的情况下收集数据、亦可监测通过网关和云的数据传输、维护数据安全等。

2. 第二步：网络化——高速传输、云端计算、互联互通

(1) 工业通信：数据上云的“高速公路”，通信标准化、无线通信技术应用成趋势。

得到大量数据后，如何将数据传输至云端呢？这需要依托先进的工业级通信技术。和过去在车间内直接对数据进行简单响应不同，企业需要把不同车间、不同工厂、不同时间的数据汇聚到同一个地方（云数据中心），进行复杂的数据计算，以提炼出有用的数学模型。

这就对工业通信网络架构提出新要求，推动标准化通信协议及 5G 等新的技术在车间里的普及。

(2) 工业云：汇聚提炼海量数据，模型计算资源优化的场所。

人工智能进行计算的场所——云平台。工业互联网最有意义的部分是其云计算平台。工业生产中产生的海量数据将与工业云平台相连，采用分布式架构进行分布式数据挖掘，提炼有效生产改进信息，最终将用于预测性维护等领域。

在云平台上首先打通数据流和物流，在云上汇聚工厂内部的不同维度、产品生命周期不同阶段、供应链上下游不同行为主体。其次可以通过运用大数据及人工智能技术进行分析，提炼数字分析模型。

制造业智能化及工业互联网具有不同层面的应用场景。首先，在企业层面主要是内部的提质增效，降本减存，从传统制造进化为智能工厂，以数据驱动智能生产能力。其次，可实现跨企业价

值链延伸，优化跨企业的制造资源配置，打通企业外部价值链。最后，有望实现全行业生态构建，以数据驱动生态运营能力，汇聚协作企业、产品、用户等产业链资源，不断沉淀、复用、重构和输出，实现制造行业整体的资源优化配置。

3. 第三步：智能化——三个维度的整体智能化

(1) 融合 IT/OT，打通工厂内部的数据流。过去传统的制造业工厂的内部存在信息系统 (IT) 和生产管理系统 (OT) 两个相对独立的子系统。IT 系统生产规划，OT 负责执行，不需要过多的互动。

未来的智能工厂，需要打通设备，数据采集，企业 IT 系统，云平台等不同层的信息壁垒，实现从车间到决策层的纵向互联。

(2) 打通供应链各个环节数据流。供应链各个环节之间的物流会产生大量的数据。这些物流信息的收集能够帮助物流行业提升效率，降低成本。

未来的智慧物流，通过智能化收集、集成、处理物流的采购、运输、仓储、包装、装卸搬运、流通、配送等各个环节的信息，实现全面分析，及时处理及自我调整。这需要涉及到将这些数据数字化并累积成足够的数据库，需要大量的基础设施建设。

(3) 产品生命周期全过程数字化。工业互联网要实现产品从设计、制造到服务，再到报废回收再利用整个生命周期的互联。未来的工厂会以数字化方式为物理对象创建虚拟模型，来模拟其在现实环境中的行为。

通过搭建整合制造流程的数字双胞胎生产系统，能实现从产品设计、生产计划到制造执行的全过程数字化，将产品创新、制造效率和有效性水平提升至一个新的高度。

五、结束语

在人工智能、工业机器人、工业互联网、区块链等多种技术赋能下，未来智能化的制造业将值得畅想。短期人工智能与工业机器人的落地将解放大量重复、规则的人类劳动。

工业互联网日益成熟，机器之间、工厂之间得以智能化互联互通，区块链技术的加入更使得制造业“全自动运行”成为可能，“人工智能+机器人+区块链”模式值得期待。

而伴随制造业与服务业将深度融合，标准化生产与个性化定制并存，智能制造将为人们构筑美好生活。

相信在数字化、网络化、智能化的相互递进与配合下，企业转型智能工厂、跨企业价值链延伸、全行业生态构建与优化配置

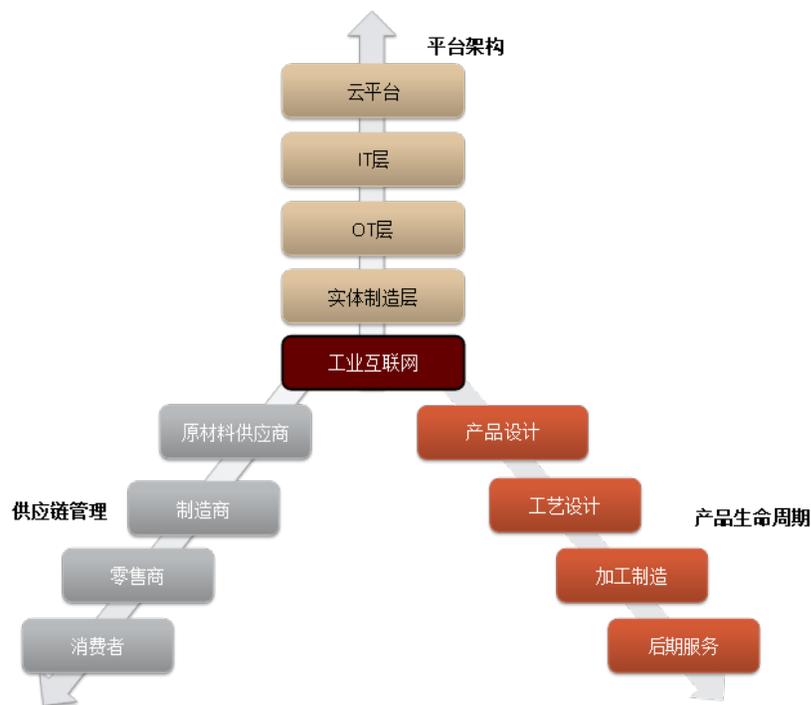


图 5 三个维度打通工业企业的数据流 (工厂平台架构, 产品生命周期, 供应链)
资料来源: 工信部, 作者

将有望得以实现，制造业的深度智能化将不再仅存在于愿景。

未来 10-15 年内，50% 的制造业将会被人工智能取代，中国的主导产业将发生天翻地覆的变化，并且面临国内外企业的新一轮冲击。面临人工智能时代全新的竞争环境，中国必须迎难而上，从当下开始打造人工智能生态，为未来全方位跟进时代浪潮打下深厚基础。

新时代下，人工智能发展的规模之大、速度之快、在国际竞争中地位之高，决定了中国需要进一步改革开放，以改革政策带来的制度创新的力量促进人工智能快速发展，占据技术制高点，并形成国际竞争力。

制造业 + 人工智能已成为中美等国制造业竞争的主赛道之一。美国拥有人工智能先发优势、领先工业制造商基础以及资金优势。

中国需要在人工智能的成熟度和行业整合上取得突破，这种背景下，能够率先建立工业互联网技术基础、并顺利将其应用和大规模铺设至智能工厂、先进制造装备等领域的国家，无疑将在全球制造业竞争中占据优势地位。

2018 年 11 月 19 日美国商务部发布题目为《Review of Controls for Certain Emerging Technologies》的法规制定提案预告 (Advance notice of proposed rulemaking, ANPRM)。

如提案落实，众多高新科技行业将面临美国出口与技术封锁，为已经面临人口结构、自动化自主程度较低、进口依赖的中国制造业的进一步升级造成额外阻碍。历史阶段与国际环境挑战下，中国的制造业亟待 AI 赋能。

但是，人工智能这轮变革是中国和世界第一次站在同一个起点上，在人工智能的竞争中，中国第一次有了资本、人才和技术去把握未来。中国实现超越有四大信心和条件。

一是用户基数与市场潜力。中国有近 14 亿用户，形成了巨大而多样化的市场，为人工智能的发展应用提供了充足的空间。特别是中国近年来互联网与移动应用和商业模式迅速发展，在很多领域已经超越了美国等发达市场的发展水平，结合巨大的用户基数产生了规模巨大而差异化的数据集，为人工智能的应用提供了最佳基础。

二是技术差距逐渐缩小。近年来中国在技术上发展迅速，国际顶级会议论文中，出现中国作者名字的占三分之一以上。海外科技人员回国创业的热潮明显，人才回流现象加强。此外，中国在超级计算机方面的潜力巨大，为技术的发展提供了加速支持。2017 年，超级计算机五百强榜单显示中国已超过美国，成为世界上拥有最快超级计算机、且数量最多的国家。

三是创新能力的提升。“中国创造”已成大势所趋，时下流行的商业模式中有诸多为中国首创，例如共享单车、移动支付、直播、手机短视频等，成为海外市场研究与效仿的对象。

四是资本力量充裕。一方面政府将创新提升至战略层面，高科技领域的政府引导基金可达到千亿、万亿的级别。另一方面大量民间资本渴望找到成长性高的投资机会。据 Pitchbook 调查，2018 中国人工智能领域的投融资已占到全球所有人工智能投融资总额的 12%，且其占比仍保持迅速上升趋势。基于以上四方面原因，中国有望在智能制造领域，百尺竿头更进一步，从“世界领先”走向“世界第一”。

中国近年出台多项政策鼓励智能制造及互联网、新兴技术于制造业的应用结合，然而我们需要清醒认识到政策与制度层面、人才与环境层面仍存在落地困难。

未来，伴随中国制造业转型升级意识的增强，人工智能、新兴技术与制造业应用进展的进一步推进，以及相关行业、企业、政府三大层面的政策引领作用的提升，一个自动高效、互联互通、具备前瞻预测能力的智能制造时代将早日到来。MT

(鸣谢北京大学工学院陈璞教授，达索系统赵文功先生，及周少林先生提供的帮助)

2018 年机械工业运行情况综述 及 2019 年展望



中国机械工业联合会

摘要：2019 年 2 月 25 日，2018 年机械行业经济运行信息发布会在京召开。中国机械工业联合会执行副会长陈斌通报了 2018 年机械工业经济运行情况，在对 2019 年机械工业发展进行展望时指出，预计 2019 年机械工业经济运行总体将比较平稳，工业增加值、主营业务收入增速在 6.5% 左右，利润总额受 2018 年低基数的影响增速回升至 5% 左右，对外贸易出口将适度增长，但实现难度将大于 2018 年。

2018 年是全面贯彻党的十九大精神的开局之年，机械工业全行业认真贯彻落实党中央国务院的战略部署，坚持稳中求进工作总基调，按照高质量发展要求，应对发展环境的深刻变化。全行业经济运行表现出产销基本平稳、投资有所改善，外贸出口好于预期的态势。但同时，成本上升、效益下滑、需求疲软、订货不足等问题依然存在，行业实现稳定运行的压力在增大。

展望 2019 年，机械工业将以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导，按照中央经济工

作会议的部署，坚持稳中求进工作总基调，全力以赴稳增长，加大力度补短板、集中精力强基础，加快产业转型升级，培育发展新动力，推动全行业高质量发展。

一、2018 年机械工业经济运行情况

（一）增加值增速稳中趋缓

2018 年机械工业增加值增速先升后降，总体运行基本平稳。上半年呈现逐月提升的趋势，由年初 1-2 月的 7% 升至 1-6 月的

8.4%，此后增速逐月放缓至年底的 6.3%。年末机械工业增加值增速高于全国工业增加值增速 0.1 个百分点，但低于制造业增加值增速 0.2 个百分点。

（二）行业运行分化明显

2018 年机械工业累计实现主营业务收入 21.38 万亿元，同比增长 6.05%；实现利润总额 1.45 万亿元，同比增长 2.18%。两项指标虽均实现了同比正增长，但与上年相比，主营业务收入和利润总额增速分别回落了 3.42 和

8.56个百分点。与全国工业比较，机械工业主营业务收入和利润总额增速低于同期全国工业平均水平2.46和8.15个百分点。

2018年机械工业主要分行业经济运行分化特征明显。作为机械工业第一大分行业的汽车制造业，出现了明显的回落，主营业务收入同比仅增长2.9%、利润总额同比下降4.67%，是机械工业主要指标整体回落的主要因素。而其他分行业中，工程机械行业主营业务收入和利润总额均大幅上涨，增幅在20%左右；石化通用设备制造、重型矿山设备制造和机械基础件行业这两项指标的增幅也达到10%左右；电工电器、机床工具等行业相关指标则基本保持了5%~8%的增幅。

（三）过半数主要产品产量下降

截至2018年末，机械工业重点监测的64种主要产品中，产量同比增长的产品有30种，占比47%，比上年减少17种；产量同比下降的产品34种，占比53%。其中有19种产品产量由上年同比增长转为同比下降，2种产品产量由上年同比下降转为增长。

实现产量同比增长的产品有如下特征：一是工程机械类产品在上年高基数的基础上保持增

长，挖掘机增速接近50%，装载机、压实机械、电动叉车产量增长在15%左右。二是原材料行业生产用相关设备保持增长，金属冶炼设备、起重机械等产量增长30%左右，水泥专用设备增长10%，矿山专用设备、金属轧制设备产量增长均超过6%。三是应用面广的通用设备和各类零配件类产品普遍增长，风机、阀门、电线电缆、锻件产量增速在10%左右。

产量同比下降的产品主要是前些年持续高速增长的农业机械设备、发电设备、汽车以及为汽车配套的发动机与仪表等产品。

（四）固定资产投资平稳向好

经历了两年多的低迷后，2018年以来机械工业固定资产投资出现恢复性增长。机械工业主要涉及的五个国民经济行业大类，通用设备制造业、专用设备制造业、汽车制造业、仪器仪表制造业、电气机械和器材制造业，2018年固定资产投资同比增速分别为8.6%、15.4%、3.5%、7.5%和13.4%。其中除汽车制造业外，其他行业投资增速均高于同期全社会投资增速（5.9%）。从趋势看，2018年以来机械工业所涉及主要行业大类中汽车制造业投资增速前高后低，仪器仪表制造业波动回升，其他行业投资增速均逐月

稳步上升，总体表现出平稳向好的趋势。

（五）对外贸易表现出韧性

据海关统计，2018年全国机电产品累计实现出口总额1.46万亿美元，同比增长10.6%；其中机械设备出口4294亿美元，同比增长12.1%，运输工具出口1181亿美元，同比增长12.7%，仪器仪表出口715亿美元，同比增长1.2%。全国机电产品累计进口总额9656亿美元，同比增长13%；其中机械设备进口2020亿美元，同比增长19.1%，运输工具进口1150亿美元，同比增长7.2%，仪器仪表进口1026亿美元，同比增长5.3%。

在外部环境发生深刻变化、贸易摩擦升级的背景下，我国机械产品的对外贸易表现出了一定的韧性。

（六）价格指数总体平稳

国家统计局数据显示，2018年工业生产者出厂价格指数和生产资料工业生产者出厂价格指数由年初4%左右的增速回落至年末1%左右；原料业生产资料工业生产者出厂价格指数由年初7%左右增速回落至年末1%左右；均表现出明显的回落趋势。但机械工业价格指数全年仅小幅波动，年初2月同比增长0.2%，4月、

5月一度同比下降0.1%，此后增幅在0.2%-0.3%波动，至年末12月同比微涨0.2%。数据比较，反映出机械制造企业产品议价能力低，原材料价格上涨导致的成本上升只能在行业内消化。

（七）市场需求回落、生产经营压力上升

市场疲软、需求不足是一段时期以来持续困扰机械行业发展的难题。2018年全国固定资产投资低位运行，其中设备工器具购置投资仅增长2.9%，反映出机械产品需求市场总体偏冷的态势。机械工业重点联系企业数据显示，企业订货在经历2017年回升向好，2018年以来企业累计订货增速呈现波动下行的趋势，一季度至上半年累计订货增幅保持在8%以上，但此后持续回落，截至年底累计订货同比仅增长0.84%，较上年同期（13.75%）回落近13个百分点。

2018年机械工业主营业务成本同比增长6.34%，高于同期主营业务收入和利润总额的增速。机械工业每百元主营业务收入中的成本为83.86元，比上年上涨了0.23元。具体看，原材料价格、人工成本、融资成本普遍上升。在多重成本压力下，2018年机械工业利润总额低速增长，主营业务收入利润率为6.78%，低于上

年同期0.26个百分点，但高于全国工业0.29个百分点。机械工业趋势指数12月为102.32点，比上月继续回落，表明机械企业运行压力将延续。

二、创新引领动能转换

十九大报告指出，我国经济正处在转变发展方式、优化经济结构、转换增长动力的攻关期。而创新是引领发展的第一动力。机械工业作为传统产业，通过创新引领培育新增长点、形成新动能，不断践行高质量发展要求，逐步实现产业优化升级。

（一）技术创新，大力推动产业升级

战略性新兴产业对行业发展的带动作用增强。2018年机械工业涉及的战略性新兴产业主营业务收入同比增长7.19%、利润总额增长4.97%，高于机械工业平均水平1.14和2.79个百分点，在机械工业中的比重分别为72.17%和69.41%，较上年提高0.77和1.85个百分点；其中机械工业涉及的高端装备制造业主营业务收入同比增长7.14%、利润总额同比增长6.03%，高于机械工业平均水平1.09和3.85个百分点，在机械工业收入总额和利润总额中的比重分别为23.11%

和21.83%，较上年提高了0.24和0.79个百分点。

高端装备取得进展。全球首台球床模块式高温气冷堆蒸汽发生器在哈电集团（秦皇岛）重型装备有限公司顺利通过验收，运往石岛湾高温气冷堆示范电站进行安装，标志着我国核电设备设计制造能力迈向一个新的高度。陕西中大机械集团有限责任公司联合长安大学历时两年研制的多用途摊铺机在“济青高速”四改八道路扩建工程中成功应用，创造了摊铺宽度最宽、摊铺厚度最厚、摊铺厚度最薄、动态变宽最大、总装功率最大五项世界第一，标志着我国道路施工机械研制能力迈上一个新的台阶。特变电工股份有限公司成功研制世界首台发送端±1100kV高压直流换流变压器，标志着我国跨入±1100kV特高压直流输电时代。国机重型装备集团二重装备成功制造的总重2400吨的260万吨/年沸腾床渣油锻焊加氢反应器创造了世界加氢反应器产品总重量和制造技术工艺复杂性两项世界之最。

工业强基稳步推进。中国第二重型机械集团德阳万航模锻有限责任公司顺利完成针对宽体客机使用起落架主起外筒锻件试制工作，这是我国在航空大型锻件领域取得的又一重大突破，也为

我国民机研制提供了有力保障。中信重工机械股份有限公司成功自主研发直径7.2米、重310吨特大型海洋工程液压打桩机大型核心关键部件替打环锻件，相关技术已达到国际先进水平，为我国大型海工装备制造提供重要保障。洛阳LYC轴承与中铁隧道局联合研制的国内首台直径11米级盾构机主轴承成功下线，将用于首台再制造大直径泥水盾构机，此举将进一步推动盾构机核心部件国产化，打破大直径主轴承技术壁垒，推进盾构机制造及再制造的国产化进程。

（二）协同创新，谋求新动能

为探索新的发展机遇，机械制造企业积极谋求跨界合作与联合创新。埃夫特智能装备股份有限公司和中国商飞上海飞机制造有限公司签署战略合作协议，共建“民用飞机机器人应用技术联合试验室”，目标直指中国大飞机C929、C919和ARJ21的产业化生产。中国一汽集团与中石化签署战略合作框架，将在新能源汽车、智能网联汽车、移动出行服务等领域拓展合作空间。汇川技术股份有限公司与美团外卖达成战略合作，致力于无人送餐车与电梯变频之间的物联网连接合作。

（三）服务创新，培育新市场

为培育新的需求，近年来机械企业不断进军服务消费品市场，同时也积极探索与尝试新的销售模式。上海电气旗下上海三菱电梯在天猫开设旗舰店销售家用别墅电梯，实现线上预览、咨询、下单功能，并设立线下分公司，提供上门服务。机械科学研究总院与山东康平纳集团合作，将其业务范围由毛纺面料生产扩展到智能装备研究与制造、智能染色生产线、智能染整综合服务解决方案供应商，经济效益、社会效益都十分显著。

在对外贸易中，机械企业也加大对海外市场的服务力度。徐工巴西公司加大了当地服务投入和网点建设，建立三级服务保障体系、服务网点500公里覆盖，为客户提供差异化的全生命周期服务。2018年徐工巴西中标联邦部委采购订单，包含挖装机、平地机和挖掘机等共近300台成套设备，总价值超过1.4亿人民币。

三、2019年机械工业发展展望

展望2019年，国际环境具有不稳定性、不确定性，贸易保护主义盛行，全球经济将面临下行风险，对我国外贸出口市场形

成持续压力。国内的结构性矛盾仍然突出，机械工业传统用户钢铁、电力、煤炭、石油化工等领域处于产能调整阶段的需求环境没有变化；机械产品供大于求、过度竞争的供需关系没有改变；人力成本上升、环保约束升级的趋势没有变化。行业运行面临的形势更为严峻复杂，行业实现平稳运行、实现由高速度向高质量发展的任务依然艰巨。

但同时，积极的因素也在集聚。中央经济工作会议指出，要以供给侧结构性改革为主线，强化实体经济吸引力和竞争力，优化存量资源配置，强化创新驱动，发挥好消费的基础性作用，促进有效投资特别是民间投资合理增长。2019年新年伊始，国家10部委就出台了《进一步优化供给推动消费平稳增长促进形成强大国内市场的实施方案》，释放出积极信号。专项调查显示，近期国家陆续出台的一系列政策措施，极大的稳定了机械企业的发展信心、提振了发展士气。

综合分析，预计2019年机械工业经济运行总体将比较平稳，工业增加值、主营业务收入增速在6.5%左右，利润总额受2018年低基数的影响增速回升至5%左右，对外贸易出口将适度增长，但实现难度将大于2018年。MT

美国先进制造战略规划

编者按：2018年10月，美国总统行政办公室发布了2018年的《确保美国先进制造业领先地位战略》报告，该报告由美国国家科学技术委员会下属的先进制造分委会编写，旨在实现“维持美国先进制造业的领先地位，以确保国家安全和经济繁荣”这一愿景。本刊翻译刊登此报告，为国内从事制造业的相关政府部门专家学者企业家提供参考。

执行摘要

美国之所以能长期保持繁荣，是因为美国能够制造各种商品并在国内市场和全球市场进行销售。制造业在美国经济的各个领域都发挥着至关重要的作用，从航空航天业到制药业等等。先进制造，泛指新兴的制造方法以及通过创新实现的新产品生产，它是美国经济实力的引擎，也是美国国家安全的支柱。新技术和创新活动能够提高生产率，制造出新产品，甚至开创全新的产业，因此制造业的进步能够促进经济不断发展。

20世纪，制造业的进步对美

国保持全球经济主导地位发挥了重要作用。然而，本世纪却形势剧变。从20世纪90年代开始，美国的制造业就业人数就开始大幅下降，2008年经济衰退期间这种趋势更加明显。面对激烈的全球竞争环境，特朗普政府采取了强有力的行动来捍卫经济，扩大制造业就业，保证美国具有强大的制造业和国防工业基础以及强韧的供应链。美国需要采取强有力的行动来打击不公平的全球贸易活动，帮助美国制造商充分发挥其市场潜力。虽然制造业就业总人数仍然低于经济衰退前的水平，但制造业就业岗位仍占劳动力总量的8.5%，而且自特朗普总

统就职以来，已创造了近35万个制造业岗位。

该战略规划是由美国国家科学技术委员会先进制造分委会制订的，事前开展了充分的公众讨论。其愿景是美国在各工业领域保持先进制造领先地位，以确保国家安全和经济繁荣，希望达成如下3个总目标：

1. 新的制造技术的开发与技术转化；
2. 制造业劳动力的教育、培训与联系；
3. 美国国内制造业供应链能力的提升。

针对各个总目标还确定了一些战略目标，以及技术和计划方

面的优先项目，包括未来4年内计划完成的具体行动和期望取得的成果。本执行摘要末尾的表1列出了各个总目标和战略目标所涉及的联邦机构。

制订这份战略规划报告时考虑了一些影响先进制造业创新能力和竞争力的因素。技术的快速发展与经济力量相结合，正在改变产品和服务的构思、设计、生产、分销和售后方式。长期以来，快速创新一直是美国工业界的特色，但是近年来对制造业技术的私人投资大幅缩减，因为投资者更倾向于投资软件初创企业，从而快速取得投资回报。在新兴市场、出口和贸易领域保持制造业领先地位，这不仅需要对先进技术进行投资，还需要有效地利用跨工业领域的新技术和新平台。贸易政策虽然不是本规划报告的重点，但是要想保持制造业领先地位，就需要贸易政策能够保护和促进美国工业的发展；美国要确保贸易是公平的、互惠的，这可以为先进制造业的增长创造最佳环境。

虽然在某些工业领域美国仍然是最大的产品生产国，但令人担忧的是，在某些具有重要战略意义的工业领域，特别是通信业和计算机业，美国的生产和就业都在急剧下滑。由这些工业领域和其他一些关键工业领域所构成的美国制造业与国防工业基础及供应链对美国的经济繁荣而言至

关重要，美国在这些领域必须保持快速创新的能力，使我们的作战人员在任何冲突中都能不落下

风。
美国先进制造业在创新能力和竞争力方面所面临的种种挑

表1 美国先进技术战略规划目标及涉及部门

总目标	战略目标	DoD	DOE	DOC	HHS	NSF	NASA	DOL	USDA	DOEd
新的制造技术的开发与转化	把握智能制造系统的未来	●	●	●		●	●			
	开发国际领先的材料技术与加工技术	●	●	●		●	●			
	确保医疗产品能够在美国国内制造取得	●		●	●	●				
	保持电子设备设计与制造方面的领先地位	●	●	●		●	●			
	增强食品与农业制造领域的发展动力	●				●			●	
制造业劳动力的教育、培训与联系	吸引和培养未来的制造业人才	●	●	●		●	●	●		●
	升级和拓展职业技术教育的途径	●	●	●		●	●	●		●
	发展学徒培训，取得业界认可的专业技能证书	●	●	●		●	●	●	●	●
	建立技术工人与产业界之间的供需通道	●			●			●	●	
美国国内制造业供应链能力的提升	提升中小型制造企业在先进制造业中的作用	●	●	●	●	●	●		●	
	发展制造业创新生态系统	●	●	●	●		●			
	加强国防制造业基础	●	●	●	●		●			
	加强乡村社区的先进制造业								●	

DoD: 国防部; DOE: 能源部; DOC: 商务部; HHS: 卫生部; NSF: 国家科学基金会; NASA: 美国航空航天局; DOL: 劳工部; USDA: 农业部; DOEd: 教育部。

战，其根源在于美国在先进制造业人才储备方面有所欠缺，很多美国人并不具备相关的科学、技术、工程、数学方面的知识和专业技能。美国人需要从小学到中学都接受相应的教育和培训，通过技术培训计划、再培训、学徒培训、高等教育等方式，取得有效的、业界认可的专业技能证书。这是特朗普政府最先要做的的事情之一。

联邦政府、州政府和地方政府必须共同努力支持先进制造业发展，资助研发活动，提升劳动力水平，促进自由和公平的贸易，并建立一套能够释放私营部门活力的税收监管体系。通过研发、教育和人力开发等方面的投资，联邦机构在促进先进制造业发展方面发挥着关键作用。

一、美国制造业与竞争力

制造业几乎在美国经济的每个领域都发挥着至关重要的作用，从航空航天业到制药业等等。先进制造，泛指新兴的制造方法以及通过创新实现的新产品生产，它是美国经济实力的引擎，也是美国国家安全的支柱。新技术和创新活动能够提高生产率，制造出新产品，甚至开创全新的产业，因此制造业的进步能够促进经济不断发展。这些新兴产业往往能创造出新的高收入就

业岗位，取代健康经济体中那些随着时代变迁而日益显得普通化的工作岗位。面对激烈的全球竞争环境，特朗普政府采取了强有力的行动来捍卫美国经济，扩大制造业就业，保证美国具有强大的制造业和国防工业基础以及强韧的供应链。美国需要采取强有力的行动来打击不公平的全球贸易活动，此类贸易活动有时被用来削弱美国的创新能力，使美国制造商不能完全释放其市场潜力。

“当我们发展美国制造业时，我们不仅是在增加就业机会、提高收入，也是在培养美国的精神。”

“在美国，没有比这里更适合建厂、雇人和发展的地方了。现在是美国历史上对商业最具开放态度的时期。”

——美国总统唐纳德·特朗普 (Donald J.Trump)

20世纪，制造业的进步对美国保持全球经济主导地位发挥了重要作用。然而，21世纪美国制造业形势却急剧变化。从20世纪90年代开始美国制造业的就业人数就呈现下滑趋势，在2008年经济衰退期间这种趋势尤为明显。从2006年至2010年的4年间，制造业就业人数从1420万减少到1130万，下降了20%。虽然制

造业就业总人数仍然远低于2006年的水平，但制造业就业岗位仍占劳动力总量的8.5%，而且自特朗普总统就职以来，已创造了近35万个制造业岗位。

制造业是薪酬最高的经济领域之一，对其他领域的就业机会具有广泛的影响。例如，一项研究表明，先进制造技术的就业倍增效应十分显著，每个技术密集型制造岗位至少支撑了其他行业的4个工作岗位。制造业所具有的这些影响也推动着制造业自身不断发展——美国能够将其转化为产品、工艺和服务——这是研究与开发(R&D)活动的优先考虑事项，也是美国政府总体制造战略的关键要素。

《2010年美国竞争再授权法》(42U.S.C.6622)第102节修订案，指示国家科学技术委员会(NSTC)与国家经济委员会协调，制订一份四年期的战略规划并根据情况做出调整，目的是促进政府部门之间的协调，为联邦计划和行动提供长期指导，以提升美国制造业的竞争力，包括先进制造领域的研发能力。本篇报告《美国保持先进制造领域领先地位的战略》就是这样一篇指导性报告。它是由国家科学技术委员会先进制造分委会制订的，期间通过信息调查单的形式搜集了公众意见，并与各种利益攸关方举行了一系列的区域圆桌会议。

1. 影响先进制造业创新力与竞争力的因素

技术的快速发展与经济力量相结合，正在改变产品和服务的构思、设计、生产、分销和售后方式。制造业不再是一种独立于价值链的活动，而是一个集研发、产品设计、软件开发与集成、以及产品全生命期服务活动于一体的系统，目的是将一份有价值的产品或服务交付给市场。

先进制造业的发展离不开技术基础设施的进步。技术创新是与制造能力密切相关的。美国制造商需要保持（在某些方面是重新赢得）其竞争优势才能实现在创新领域的全球领先地位。虽然长期以来，快速创新一直是美国工业界的特色，但是近年来对制造业技术的私人投资大幅缩减，因为投资者更倾向于投资软件初创企业，从而快速取得投资回报。在基础研究和早期应用研究方面进行公共投资，并开展公私合作研发，这样有助于在先进制造领域吸引私人投资，促进技术创新。

对先进制造业的投资依赖于可靠和可预测的知识产权。可靠的知识产权，加上能够有效保障这些权利的法律体系，可以促进创新，鼓励私营部门进行研发投入。无论是先进制造技术领域还是其他技术领域，都同样需要保护知识产权，特别是专利、商标和商业秘密。美国的知识产权生态系统对美国以及国外的创新活

动加以保护，通过自愿的、共同商定的条款实现知识产权的转让与许可使用，美国制造商受益于此。

此外，创新与制造之间保持着良性循环：美国的制造能力使其在创新方面处于优势地位；反过来，通过创新，美国可以继续先进制造领域保持竞争力。

新兴市场、出口和贸易都会受到先进制造业的影响。在制造业保持领先地位不仅需要先进的技术，还需要有效地利用跨工业领域的新技术和新平台。新兴市场将受到各种技术进步的推动，包括智能制造和数字化制造系统、工业机器人、人工智能、增材制造、高性能材料、半导体和混合电子技术、光子技术、先进纺织品、生物制造、食品和农业制造等等。其中的许多技术带来的是双重机遇：一方面，它们可以提高其他细分行业的生产率，从而增强其竞争力；另一方面，这些新兴技术本身每年的市场容量也高达数十亿美元。美国制造商需要密切关注国外的新兴市场机会，以及有助于它们进入国外市场的资源，特别是国际贸易局方面的资源。

在先进制造领域保持领先地位要求美国的贸易政策能够保护和促进美国工业发展。美国出口的商品中，70%以上是制成品。公平、互惠的贸易有利于经济发展和制造业扩张，对先进制造业

进行投资来开发新产品能够创造出新的出口机会。美国正面临着各种不公平的全球贸易活动，必须准备好迎战那些觊觎全球主导权、搞不公平竞争的坏分子，它们的某些活动是完全非法的。美国应制订、推广有利于美国创新者和制造商的标准与技术规范，这一点非常重要，还有就是保护知识产权，推动建立数据的跨境自由流动体系。虽然贸易政策不是本规划报告的重点，但它能否保护和促进美国工业发展，对于该先进制造技术发展战略能否成功却是至关重要的。

制造业驱动全球经济发展。制造业与基础设施建设、就业机会增加以及国内生产总值（GDP）增长密切相关。根据彭博社2018年创新指数，美国在全球创新指数中的排名最近从第9位下降到第11位。该指数采用若干标准评判各国的创新能力，包括研发强度、制造业附加值、生产率、高科技密度、研究人员集中度和专利活动。具体而言，在通信和计算机等高科技制造业领域，美国的生产和就业都急剧下降。然而，在测试、测量和控制仪器方面，美国仍是世界头号生产国；在航空航天与制药领域，美国也是全球主要生产国。

稳固的国防工业基础是国之重器，其中包括具有创新精神的、可盈利的国内制造业以及强韧的供应链。美国的制造业和国防工

业基础及供应链对美国的经济繁荣和国家安全至关重要。国防工业必须不断创新才能在经济上保持竞争力，并使美国的作战人员能够在任何冲突中都不落下风。美国政府以及私营研发部门在国防工业领域投入了5000多亿美元用于研究、技术、发明和创新，其中1/4来自联邦政府，作为未来防务建设的种子基金。本战略规划报告中列出的各个总目标和重点方向将促进制造工业基础的发展，可以作为公共投资与私人投资的指南。

先进制造业从业人员要具有扎实的科学、技术、工程和数学（STEM）基础。制造业岗位仍是美国人进入中产阶层的一个途径，但现在这些岗位往往要求从业人员接受以制造业为重点的STEM教育，因此STEM技能对于未来从事制造业工作非常关键。美国人需要从小学到中学都接受相应的教育和培训，通过技术培训计划、再培训、学徒培训、高等教育等方式，取得有效的、业界认可的专业技能证书。

特朗普政府通过强调其透明和可实现的关键目标，优先考虑STEM教育。政府为学生们在教育与工作之间建立更为紧密的联系，从而强调STEM教育对于美国未来就业人员发展的重要性；强调创新与创业；普及计算机科学原理；让所有美国人都能更为便捷地学习STEM课程、接受技

术培训，包括妇女、少数民族、残疾人和农村地区的人。

联邦政府、州政府和地方政府必须共同努力支持先进制造业发展。在美国，私营部门一直是开发和新兴技术的主力军，但政府的资助也是一个重要因素。在推动先进制造等新兴技术发展方面，可供政府采用的重要措施有很多，比如：直接投资早期研发；提供有利于创新的政策，以减少行政限制，帮助美国人开发和新兴技术；利用贸易政策来保护知识产权，确保美国公司能够在国际市场进行公平竞争；建立世界级的实验室和研究设施；以及努力培养一流的科学和技术人才。

通过对研发活动、教育和劳动力培养活动投入资金，联邦机构能够在促进先进制造业发展方面发挥自身的关键作用。卫生部（HHS）/美国国立卫生研究院（NIH）和国家科学基金会（NSF）侧重于资助可能形成制造新工艺、新系统的基础研究活动，而国防部（DOD）、能源部（DOE）、美国航空航天局（NASA）、商务部（DOC）/美国国家标准与技术研究院（NIST）以及农业部（USDA）则资助先进制造领域的基础研究及早期应用研究，美国的联邦实验室和联邦资助的实验室能够开展许多世界级的研发工作。近来，联邦政府更加侧重于通过公私部门合作、技术转让、与各州政府

的协调以及劳动力协同发展计划等方式，在研究工作与商品化之间构建创新通道。

2. 先进制造业的愿景与总目标

本战略规划报告旨在实现如下愿景：

美国在各工业领域保持先进制造领先地位，以确保国家安全与经济繁荣。

这个愿景可通过下面3个总目标来实现：

- 新的制造技术的开发与转化；
- 制造业劳动力的教育、培训与联系；
- 美国国内制造业供应链能力的提升。

每个总目标都是通过许多战略目标来实现的，下面章节将对这些总目标及战略目标加以介绍。对于每个战略目标，还确定了一组在技术和计划方面的优先项目，包括未来4年内各项目计划完成的具体措施和期望取得的成果。在执行摘要末尾的表格中列出了各个总目标和战略目标所涉及的联邦机构。

二、总目标1：新的制造技术的开发与转化

近几十年来，全球制造业竞争的焦点一直是计算技术在生产设备与物流领域的不断成熟、

商品化以及广泛应用，这有效地平衡了全球的技术竞争环境，更加重视低工资和渐进式的技术改进。网络的普及以及机器学习、生物技术和材料科学的新进展，为基于科技创新的全球制造业竞争开创了新的机遇。尽管美国的竞争对手都在有组织地开展相关的工作，例如欧盟的“工业 4.0 计划”和中国的“中国制造 2025 计划”，但美国仍然在全球科技创新方面领先一步。美国必须保持和利用这种优势，迅速有效地开发新的制造技术并在国内工业基地和国际盟国中投入应用。

最近的一项研究报告指出，应对先进制造领域的科技挑战并提出解决办法每年至少可以为美国制造商节省 1000 亿美元，同时还能进一步提升联邦研发项目对于私营部门的经济价值。在先进制造相关的研究、开发和应用方面，联邦政府的投资通常侧重于特定的任务目标，然而各机构相互协调的组合战略将会更有效地实现新的制造技术的开发与转化。

公私部门合作是开发新的制造技术并实现技术转让的关键，这可以让利益与优势相互交织的各方共同推动目标技术领域的发展，使美国在这些领域处于领先地位。建立大型的联合体可以实现资源共享，例如物理基础设施，以及工具、技术与嵌入式专业知识的托管中心，这样可以扩大区

域创新生态系统，并推动区域内和区域间的经济增长。

在总目标 1 的框架下，未来 4 年计划实现下列战略目标：

把握智能制造系统的未来；

开发国际领先的材料技术与加工技术；

确保医疗产品能够在美国国内制造取得；

保持电子设备设计与制造方面的领先地位；

增强食品与农业制造领域的发展动力。

对于每个战略目标，还确定了一组技术优先项目，包括未来 4 年内各项目计划实现的具体措施和 / 或成果。

1. 把握智能制造系统的未来

数字设计和制造技术能够无缝地对所需的各种信息进行分配，将设计方案和原材料转化为产品，从而形成一个由供应链中多个公司参与的、高度互联的工业企业。智能制造技术可以实现这种转化，它能对系统中的各种异常情况进行检测并加以纠正，从而确保产品的一致性、质量和可追溯性。这些进步正是来源于创新，包括鲁棒的工业物联网（IIoT）、可应用于各种制造工艺的机器学习算法、以及可在以信息为中心的集成式系统中实现即插即用的机床和控制器。

美国要想在数字设计和制造

技术方面取得领先，需要继续努力研发数字化制造环境下产品、工艺、物流信息的表现方式、结构、通信、存储、标准化和安全防护技术。

在技术方面，该战略目标的优先项目包括智能制造与数字化制造、先进的工业机器人技术、人工智能基础设施以及制造环境下的网络安全技术。

(1) 智能制造与数字化制造。通过技术进步来提高生产力总是能够推动就业增长。广泛应用的高速信息技术和通信技术可能会带来生产力的新一轮爆发式增长，但首先要做的是将信息技术与运营技术（OT）适当地集成起来。在这个新兴领域中，智能制造和数字化制造是两个不同却又相互关联的方面。

智能制造和数字化制造的最终目标是实现从设计方案到零部件生产的无缝整合，生产质量有保障的优质零部件。当前的智能制造实施方案达不到 100% 的可靠性，在针对特定工艺对智能制造方法进行调整并开展生产时，修复执行故障所产生的成本在所有工程成本中占据了较大比例。对智能制造和数字化制造加以改进，将会以更低的成本在更短的时间内完成复杂产品的高度集成化设计和制造，加快将新产品推向市场的步伐。

未来 4 年，计划采取如下具体措施（如上所述，本报告通篇

将采用这种格式)：

在一系列制造活动中应用大数据分析 and 先进的传感与控制技术，推进制造业的数字化转型。优先支持生产设备、流程和系统的实时建模和仿真技术，利用这些技术对产品性能和可靠性进行预测进而加以改进；挖掘以前的设计、生产和性能数据，以揭示设计专家在创作它们时所使用的产品和工艺技术。制订标准，实现智能制造要素和平台之间的无缝集成。

(2) 先进的工业机器人技术。协作式智能机器人可以实现人机协作，从而减少工人的脑力与体力工作量，降低制造成本，提高质量，并快速响应不断变化的客户需求。先进的机器人系统可以完成多种任务，因而不需要再配备很多种专用工具，减少了资本投入，提高了制造的敏捷性。基于机器人的生产系统还可以实现高效的单件批次生产（也称为大规模定制）。

改进机器人技术，减少制约机器人在制造业大规模应用的技术、运营和经济因素，这将推动美国制造业进一步发展。航空航天、汽车、电子、生物技术、纺织等工业领域将受益于下一代机器人技术。可能取得突破的机器人技术领域包括人机交互技术、适应技术、学习、操作、自主技术、移动技术、敏捷性、灵活性和感知技术等。目前使用的一些

工业机器人在运动时并不了解其工作环境，因此机器人附近的区域对于人而言是有危险性的，这样的机器人并不适合作为工人的助手使用，也就是说它们并不是协作型机器人（cobot）。此外，对于机器人而言，其人类同事的行为是难以预测的，只有在人工智能方面取得新突破，才能使机器人预测人类行为，从而提高工作安全性。

推动开发新技术、制订新标准，实现机器人技术在先进制造环境下的广泛应用，发展安全、高效的人机交互技术。

(3) 人工智能基础设施。云计算、数据分析与基于人工智能（AI）的计算建模相融合将成为工业物联网的关键推动因素，它使各制造商能够从所有制造商的经验汇总中得到精确的指导。机器学习使未来的制造系统能够从国内相似系统的生产经验中学习过往所有的相关知识。机器学习方法在挖掘这种大量的制造业经验时需要使用大规模的数据集。可用数据越多，这种机器学习方法就越有效，因此数据管理与访问技术成为机器学习和人工智能应用的关键推动因素。然而，各公司只有在可以确定数据所有权并保证安全的情况下才会提供其制造数据。

制订人工智能的新标准并确定最佳的操作，从而在行业内和行业内实现制造业数据的一致可

用性、可访问性和实用性，并保证数据安全、尊重知识产权。研发活动应侧重于为美国制造商开发数据访问、保密、加密和风险评估的新方法。

(4) 制造环境下的网络安全技术。随着智能制造模式的不断普及，美国制造业也更容易受到恶意行为和盗版数据的攻击。制造业特别容易成为国家间谍活动和商业间谍活动的目标。数据不仅可能被窃取，而且还可能被篡改和操纵，从而产生有缺陷的产品，甚至引发系统中断和故障。加强网络安全是国家的优先事项。

传统的网络安全解决方案和工作主要是保护基于信息技术（IT）的系统，例如更好的身份验证方法、不断更新的安全补丁以及云计算的风险管理。制造业组织中的网络安全更为复杂，它需要清楚地理解 IT 系统和 OT 系统之间的漏洞差异。制造系统及其集成控制系统构成了 OT 系统，它可以直接影响现实世界，并且通常无法根据需要进行更新，因此只是简单地采用新一代 IT 方法往往不能有效地保障其安全。

美国需要开展研究工作来制订新的标准和指南和 / 或对已有版本进行更新，以便将新的网络安全技术应用于制造系统，包括用于安全威胁检测和处理的 AI 技术、用于保护敏感制造信息安全的区块链技术、以及智能制造

系统中使用的 IIoT 设备的安全性技术。新开发的量子器件似乎可以轻易地绕过传统的安全措施。因此，在传统领域和量子领域都需要采用新的网络安全方法。

制订标准，开发工具和测试平台，并推广指南，以实现智能制造系统的网络安全性。重点是让美国制造商获得更好的网络安全保护。

2. 发展世界领先的材料及其加工技术

先进材料对于新产品开发以及经济安全和国家安全都是至关重要的，它可以应用于很多工业领域，包括国防、能源、运输、航空航天和医疗保健。不幸的是，从发现材料到将其推向市场可能需要 20 年甚至更长的时间。材料的特性决定了它的性能，因此，先进材料的定义取决于材料的目标应用领域。例如，先进材料可以包括高超音速领域中使用的极端温度复合材料、高能材料、高强度轻质金属合金、合成生物材料、先进过滤系统中的防腐膜、发电用高效涡轮机的超高温结构等等。采用更快速、更高效、更精确、更鲁棒的技术来取代当下的流行方法形成先进的工艺流程，可以使上述先进材料成形并提高其性能，这样可以提升整个行业的成本效益和竞争力。一些尚处于开发阶段或即将应用的先

进加工技术有望实现突破，包括化学和热加工强化技术、先进的再制造与回收再利用技术、以及原子级精准制造技术。

从技术层面讲，本战略目标的优先项目包括高性能材料、增材制造以及关键材料。

(1) 高性能材料。轻质现代金属、复合材料以及其他类型先进材料的发现和开发，有望在国防、能源、运输和其他行业中显著提升产品性能。一些专业知识和技能是可以跨行业共享的，只不过尚未实现。美国的很多高科技公司采用昂贵的材料和加工方法来保持产品性能优势，还有一些公司则是在大批量、低成本生产方面处于领先地位，它们对于降低生产成本具有丰富的经验。在相互不存在竞争关系的高技术公司和大批量生产型公司之间进行专业技能转移，可以降低高性能产品的成本，提高低成本产品的性能，对各行业都大有益处。

一些有效的新方法可以利用高性能计算技术来预测材料行为，这将有助于实现这种知识转移。重点是先进计算方法的跨领域借鉴应用，例如材料基因组计划中首先使用的计算方法。这些方法可以计算出先进材料系统在加工和使用过程中可能表现出的性质，从而减少目前设计新材料时需要完成的昂贵且耗时的实验过程。

针对材料的设计、优化和制造，建立材料基因组和系统级计算方法，大幅度缩短高性能材料的识别、开发、鉴定和小规模生产过程所需的时间并降低成本。

(2) 增材制造。增材制造 (AM) 是指利用三维 (3D) 打印及其他相关技术直接创建实体结构，目前该技术正在发挥其革命性的潜力，无论是在单件成本还是在系统性能方面，都对商业制造和国防制造领域产生了冲击。例如，在航空航天领域，采用 AM 技术生产高性能的整体式金属零件，可以大幅度减轻重量、提升性能。类似地，借助生物细胞打印技术，未来有望实现人体组织和器官的生产。然而，要实现零部件的安全可靠生产，可能需要精确和重复地打印数以百万计的金属粉末颗粒或活性细胞，目前这种精度尚不易实现。

将 AM 技术引入制造行业需要可靠地设定加工参数，从而在不同的地点和不同的机器上完成可靠和可重复的生产，这需要实现机器 / 工艺流程的标准化，还要求制作材料的质量可靠。AM 技术创造了一种新的设计范例，因为制作零件时不受传统的机加工、铸造或锻造工艺的限制。为保持竞争力，设计人员必须学习如何将 AM 技术融入到未来的系统中。随着 AM 的生产能力不断扩大，需要在基础研究的支持下开展新的标准化工作，以确保

零件生产的可重复性和可靠性。

不断发展过程控制和过程监测技术，确保 AM 技术成为可行的生产替代方案。开发新方法来测量和量化材料与加工技术之间的相互作用，深刻理解材料—工艺—结构之间的关系。制订新标准以支持 AM 数据的表示、提交和评估，确保零件的质量以及可再现性。加大研究工作力度，探索将仿真与机器学习等计算技术应用用于 AM 的最佳模式。

(3) 关键材料。关键材料，包括关键的矿物，是许多先进技术的关键要素，这些技术支撑着美国的能源生产、国防技术、产品制造和整个经济，而这些关键材料却存在供应风险。这类材料通常都能表现出独特的、其他材料系统难以复制的优异性质。然而，美国国内并不能保障这些材料的生产，因此导致供应链极其脆弱。

为了确保关键矿物供应更加稳健，特朗普总统发布了 13817 号行政命令《确保关键矿物安全可靠供应的联邦战略》。根据该命令，各联邦机构制订了一份清单，列出 35 种对美国至关重要而供应链容易中断的矿物原料。评估表明，许多关键矿物的生产集中在少数几个国家，因此存在价格飙升和供应中断的风险，威胁到美国的经济和国家安全。

研发经济高效的关键材料加工和分离技术，包括关键的矿物，

这些材料在化学结构上非常相似，但性质却显著不同，因此可以应用于不同的领域。同时，还需要开展材料研究，探索在现有应用领域以及未来应用领域更有效地使用这些材料的新方法，减少下游部件制造过程中的材料损耗，并在适当情况下回收再利用这些材料。这些工作可以增强美国对关键材料的开采、加工、精炼、回收和替代使用的能力，降低成本，减少对外国资源的依赖，确保对美国制造商的材料供应。

发展经济高效的加工和分离技术，降低生产成本。研究可能情况下的替代品和替代材料，减少对关键材料的依赖，并通过创新制造工艺开发关键元素的回收方法。

3. 确保医疗产品能够在美国国内制造取得

受卫生监管的制药产品和生物技术产品（包括药物、生物制剂与器械）的先进制造技术对经济安全和国家安全具有重大意义。一项行业研究表明，美国的医疗器械制造行业和制药行业每年的直接销售额超过 1 万亿美元，而且提供了高收入就业岗位。除了对美国国内生产总值（GDP）的直接贡献外，这些行业还对改善美国的公共健康状况做出了大量间接的重要贡献，这种贡献是难以用数据来量化表达的。

美国需要充分利用现有方

法，并开展新工作来缩小端到端的创新生态系统中的差距，实现卫生监管制品的国内制造。通过开展研究活动、开发测量方法和制订技术标准来发展竞争前的跨领域技术，从而缩短开发周期、提高成本效益，降低产业界建设可灵活扩展的模块化基础设施时的过渡风险。这些进展将确保美国的制造能力也更好的响应需求。

从技术方面讲，该战略目标的优先项目包括低成本分布式制造、连续制造和组织及器官的生物制造。

(1) 低成本分布式制造。美国制药业已经转向复杂度更高、市场价值也更高的生物先进疗法，普通抗菌药等传统小分子药物和小部分疫苗已经转到国外生产，主要生产国是印度和其他一些亚洲国家。这带来了潜在的国家安全风险，因为在外国供应中断时可能需要采取应对措施。公共健康方面，要想让所有美国公民都能够在本国得到最佳治疗并且负担得起相应的费用，美国需要具有在国内各地生产足够的药品和生物制剂的能力，而且生产规模应该可以调整、响应速度要快、成本效益要好。这种小规模生产能力对于罕见病症的精准医疗也是至关重要的。

一些慈善基金会的目标是在资源匮乏的国家实现药品全球供应，为此它们在具有较高成本效

益的药品和生物制剂生产领域进行投资。尽管如此，美国仍需推动医药制造业创新，对于某些具有较高公共健康价值但商业价值较低的药品和生物制剂，增强其在国内生产的商业驱动力。

扩大美国的药品生产能力，以降低药品短缺风险，经济高效地实现药品与生物制剂的小规模生产。缩短从工作台到诊所的生产途径，鼓励发展新疗法和新器械。

(2) 连续制造。传统上，制药业属于大批量生产行业，每个生产批次都需要做大量的测试以保证最终产品的质量稳定。批量生产中，原材料成分或加工过程中发生的任何问题都可能造成整批次药品报废，或导致费用高昂的产品召回事件。

连续制造(CM)是将制造过程要素集成到一个由计算机控制的单一系统中，当原材料输入并流过制造流程时，该系统不断地调节产品流及其回收过程。CM是特种化学品和药品生产中的一种新范例，它可以提高产品的一致性，增强可持续性，可以由更小、更高效的生产基地实现更多种药品和关键特种化学品的柔性生产。CM还可以缩短生产时间，可以小批量生产特种药物，实现商品药的按需生产。将CM模式投入应用还存在一些难点，因此需要各方共同努力，使药品和特种化学品的连续生产成为一项国家

级的优先项目。特别是，需要研究解决将传感器及处理硬件与控制软件进行集成时的技术难题，使计算机以毫秒为单位不断检验产品质量。

开发新方法，将当前“以批次为中心”的制药生产模式转变为无缝集成的连续单元操作制造生产模式，保持产品质量的一致性。

(3) 组织与器官的生物制造。就基础科学和学术水平而言，美国在生物技术和生物制造技术方面与其他国家相比优势明显。要想在医疗保健和生物安全技术方面保持技术领先优势，最大的挑战是将联邦政府资助下取得的研发成果转变为可以制造的、规模可调整的产品，并将相关的先进制造设备及技术知识保留在美国国内。为可复制的和规模可调整的组织制造开发相关的工艺流程和平台技术应该是首要任务。

在基础层面，生物增材制造(即在生物组织工程中精确地放置活体人体细胞)领域已经取得很大的进展，但要想制造人造生物器官还需要深入探索基本的生物分子标识机制，生物体的这种标识机制能够指导细胞装配，组合多种细胞形成功能器官。如果解决了这些难题，未来就可以利用患者自身的细胞来制造所需的器官，器官捐献表会变得很短、易于管理，所有公民都将因此而受益。

制订标准，确定原始材料，自动完成制造流程，这样可以改进生物制造技术，未来将会利用患者自身的细胞来制造所需的组织和器官。

4. 保持电子设备设计与制造方面的领先地位

半导体是微电子技术的基石，它驱动了信息与通信技术、消费电子产品、在线商务以及社交媒体的发展。半导体技术的进步对于几乎所有的经济领域以及国家安全方面的许多关键系统都至关重要。互补金属氧化物半导体(CMOS)技术的创新一直是晶体管密度呈指数增长的驱动力，同时它还降低了每个晶体管的功率。该行业目前面临着一些问题，包括CMOS技术的基本性能限制，处理器和存储器之外市场的多样化，以及激烈的全球竞争。因此，迫切需要开发基础材料与器件，融合各种解决方案，实现未来的计算与存储范例，以超越传统的CMOS半导体和普遍采用的冯·诺依曼计算机体系结构以及经典的信息处理/存储方法。

该战略目标的技术优先项目是半导体的设计工具及制造，新材料、新器件以及新的体系结构。

(1) 半导体的设计工具及制造。由先进半导体材料及工艺制作的集成电路，其设计工具及加工厂的费用高昂，这是阻碍半导体和微电子行业创新的一个重

要因素。多层新材料结构的设计和和生产所需的专用设备，其购买和维护成本极高，并且需要训练有素的操作人员。因此，各设计公司投资此类设备并不划算，因为机器必须连续运转才能收回其高昂的成本。

连续生产模式限制了对新制造材料和新设计方案的探索，因为切换到新工艺所需的时间会打断高价值的生产过程。此外，将新材料引入到传统的半导体加工厂可能会污染整个设施，导致其不适合再开展生产。美国需要建设半导体加工厂及相关的设计工具，使全美国的设计师都能够获得先进半导体材料方面的制造服务，对其电路设计方案开展实验，再进一步实现商品化。让更多的美国人都能够使用外来材料、绝缘体和生物细胞来制作计算硬件，利用这样的设施来研究、开发和高效实现新的计算机体系结构，用于未来的神经计算机。

优先开展基础能力投资，确保新一代微电子装置能够保留在美国生产。研究从样机阶段开始实现敏捷制造的方法，从而创造新装置、测试新材料。建立模型，让人们能够更为便捷地利用各种设计工具和国内的微电子加工厂。

(2) 新材料、新器件及新的体系结构。50多年来，全球计算能力的提升、通讯技术的进步、生活水平的提高，在很大程度上

是源于电子设备性能的指数级增长，摩尔定律反映了这种规律，即每两年芯片上的晶体管数量将会增加一倍，计算能力也随之增加一倍。由于晶体管的最小可制造特征尺寸存在理论极限，自2012年以来，摩尔定律所述的这种增长遇到挑战。为了继续提升性能，需要进一步开发新技术，包括3D片上系统集成、隧道场效应晶体管、自旋电子学、集成光子学、III-V族化合物半导体与硅基器件的集成、以及量子信息系统。板级技术也是一个优先项目，包括基于集成电子设备的3D打印、贴片式柔性混合电路和卷对卷式制造。还需要研究精确传感（包括时间、空间、重力和电磁）、健康和资产监测传感器、光伏设备和医疗设备。最后，对量子计算技术的投资仍然是个重点，只有这样才能在未来的复杂电子设备设计和计算能力方面保持全球领先。

优先支持半导体与电子技术研究，扩大投资范围，将板级制造技术包含进来。

5. 增强食品与农业制造领域的发展动力

食品和农产品加工制造技术对于安全、营养食品的弹性生产至关重要，对美国农村经济具有重大意义。“农业与农村繁荣机构间工作组”最近的报告指出，到2050年，预计美国人口将增

加到近4亿人，而且全球收入的增加将转化为对粮食需求的全球历史性增长。为了养活这个饥饿的世界，我们需要利用创新来提高美国农田的产量。除了增加作物产量外，还可以通过技术创新提高作物质量、营养价值，增强食品安全性。

在美国农村地区，制造业的就业人口比例与薪资比例都要高于城市地区，而食品制造业是农村制造业的最大子类，占2015年农村制造业就业人口的18%以上。美国将开发新技术使美国的食品生产和制造业能够满足不断增长的人口需求，保护食品供应链安全，并提高生物产品制造水平。

在技术方面，该战略目标下的优先项目包括：食品安全中的加工、检测和追溯技术，食品供应安全方面的生产和供应链，以及如何降低生物产品的成本并增强其功能性。

(1) 食品安全中的加工、检测与追溯技术。先进制造业在农业生产、食品加工和食品安全方面发挥着重要作用。供应食品安全是至关重要的，需要采取措施来改进食品制造，减少不确定性，完善检测手段，并实现整个食品供应链的可追溯性。食品制造涉及到工程学、加工技术、包装、卫生、机器人技术、纳米技术、传感器、高速自动化技术、数学建模、数字成像、质量/安全检

测和其他学科。新技术可以用来简化传统的加工工艺，提高质量，改进食品生产。这些先进的措施有望提高食品质量，降低高营养放心食品的生产成本，增强食品生产的环境可持续性。

发展智能制造和数字化制造技术并将其理念引入到食品制造业，包括使用数字成像技术、自动化技术、先进检测技术和数字主线技术来提高供应链的完整性。

(2) 食品供应安全方面的生产与供应链。美国人认为他们的食品供应安全是理所当然的，但不断增长的需求、气候的变化以及地缘政治的压力使食品供应风险不断上升。美国必须将食品供应安全作为国家安全的一个重要方面，加强发展可持续农业和营养食品。随着食品生产和加工领域所涉及的技术和工程方法快速发展，先进的食品制造业可以帮助美国保持食品供应的高安全、高质量和高营养性，这也是美国人的期望。相关的联邦机构将密切合作，参与公私部门的合作，通过共同投资加速食品制造业的发展。

食品生产是一个极为关键的制造业领域，美国需要通过高效、合理的分配来确保供应链的稳健性，增强国内食品生产能力。利用下一代质量控制系统确保所有美国公民都能获得高营养的放心食品。

(3) 降低生物产品的成本并增强其功能。除食品安全和食品供应安全外，美国还生产各种非食品类农产品，包括纺织品、建筑材料、生物能源和生物化学品及原料。美国需要新的制造方法来降低这些产品的成本并增强其功能。美国的创新优先项目包括：多产品生物炼制技术、纤维素纳米材料、高附加值林业产品、设施农业技术和其他技术。其他的制造业优先项目对于食品应用领域及非食品应用领域也同样重要，例如利用植物育种方面的数学优化技术发展种子生产，提高植物生产力和适应能力，降低加工和转化成本，确保工人安全，以及提升全供应链的效率。还需要对先进加工技术与供应链进行集成，增强生物产品的功能并降低其成本。

对植物育种、基因组学和生物产品开发的交叉学科进行研发。采用高通量自动化技术发展和筛选植物特性，例如增加高附加值产品的产量、提高作物在区域适宜环境中的适应能力。

三、总目标 2：制造业劳动力的教育、培训与联系

美国制造业正面临着这样一个问题，即新出现的就业岗位缺乏合格的就业人员，而且缺口很大。传统的教育技能和技术技

能已不能满足需求。未来的工作岗位需要新的技术素养和认知能力，如数据能力和系统思维能力。最近的一项研究估计，到 2025 年，美国制造领域将出现 350 万个新工作岗位，其中 270 万个岗位来自于婴儿潮一代的退休，而 200 万个岗位将面临无人可用。本来有许多年轻人可能受益于此，可以从事这些高技能、高收入的工作，但他们正在失去机会，因为有些人抱有一些过时的观念，认为制造业工作仍旧都是些重复性的、劳动密集型的低薪工作，也有些人担心此类工作在美国的未来。许多学生及其家人低估或误解了技术职业，不了解美国对有技能的技术人员不断增长的需求，因此放弃了社区学院和技术学校中一些有价值的选项。

为了应对这些挑战，美国必须着重制订和加强关键人力资本战略来支持下一代先进制造技术发展，重点是调整教育路线，让工程课程和科学课程更贴近当前的集成制造环境。先进制造业的从业人员要能够有效设计、定制和实施先进制造方法，这样才能提高生产率、开发新产品。

为了实现经济的持续增长，至关重要的是，针对总目标 1 中所列的先进制造业优先项目，发展有助于提高美国制造业全球竞争力的人才通道，来培养所需的劳动力。美国政府需要培养未来的制造业人才，扩大技术职业教

育，发展培训行业和学徒制度，并鼓励取得有效的、业界认可的专业技能证书，建立技术工人与产业界之间的供需通道。

为了满足未来制造业岗位对STEM人才的需求，美国的国家投资应优先考虑国民的终身STEM教育，包括小学、中学、职业技术教育（CTE）、社区学院、大学、学术实验室都要开展STEM教育，平台要多样化，以满足实践学习和自主学习的要求。其他的投资优先项目包括学徒制度、实习生制度、培训制度和其他实用的新手培养模式。这些计划在构建人才教育发展渠道方面发挥着关键作用，使在岗人员及离岗人员都有机会接受新领域的再培训，或在当前职业方向上继续深造。通过产业界、政府和教育机构之间的公私部门合作，其中的一些计划已经得到落实、发展。但是，美国联邦政府、州政府和地方政策制订者需要推行劳动力发展战略，以构建智能制造和数字化制造生态系统，取得有效的投资回报。

在总目标2的框架下，未来4年计划实现下列战略目标：

吸引和培养未来的制造业人才；

升级和拓展职业技术教育的途径；

发展学徒培训，取得业界认可的专业技能证书；

建立技术工人与产业界之间

的供需通道。

1. 吸引和培养未来的制造业人才

培养未来的STEM人才需要在中小学、职业技术教育、高等教育、大学和研究生课程中做出相应的安排。对于人数较少的群体，应增加其接受STEM教育的机会，例如增加中学在数学/科学/技术方面的磁石计划，改善商业、信息技术、数据管理和保护、软件设计、自动化和学生技术领导力方面的课程，等等。在职业技术教育中，应特别注意增材制造、计算机辅助设计以及工程学方面的课程。

私营部门可以与教育机构合作，分享其对工作人员的能力要求，这样未来的工作人员就能够接触到先进制造业所需的各种核心STEM技能，私营部门也会因此受益。这种合作伙伴关系除了可以改进培训、增加就业途径外，还应发挥一个作用，就是让学生及其家长更好地了解先进制造业的好处。例如，参加制造日（每年10月的第一个星期五）的活动有助于加深公众对制造业的了解，促进技术职业道路的发展。每年10月，全国各地的制造商向社区、教育工作者、学生和家長敞开大门，展示当今的制造业，激励下一代创新者投身制造业。

在计划方面，该战略目标的优先项目包括：以制造业为重点

的STEM基础教育、制造工程教育、工业界与学术界的合作。

（1）以制造业为重点的STEM基础教育。2017年的一项研究表明，目前以及近一段时间内学校的教育内容与制造业就业市场所需的技能之间都存在严重的脱节问题。现有证据还表明，校内外的正式和非正式工程教育可以激发人们更广泛的兴趣，改善其对数学和科学的学习，还可以加深对工程和技术理解。然而，只有1/3的父母鼓励他们的孩子从事制造业工作，因为很多人认为制造业工作并不是很好的职业发展道路。

美国制造业研究所的教育推广工作是由联邦政府资助的，采用公私部门合作的方式，帮助扭转了学生及其家长对于制造业的不良印象，从“肮脏、黑暗、危险”转变为“智能、可持续、安全”。2017财年，近20万名学生、教师和制造业从业人员参与了一个研究所项目，这是一个实习、资格认证或培训计划，涉及一系列的先进制造技术。美国需要开展更多的活动来提高公众对创新活动的关注度，让公众明白，制造业可以提供各种令人兴奋的创造性工作。

为各学区提供适当的资源，将制造和工程技术教育课程纳入其科学标准，吸引并留住年轻的STEM学生，特别是要覆盖人数较少的群体，并让家长和其他社会

成员更深入地了解制造业及先进技术职业的优点。

(2) 制造工程教育。为保持美国在全球市场的竞争优势,充分支持先进制造技术的发展,美国制造商需要具备出色的批判性思维和创新技能的高水平技术工人。很明显,高收入的制造业岗位要求从业人员接受过高中以上的教育。美国需要继续投资于国防部制造工程教育计划和国家科学基金会高级技术教育计划这样的联邦项目,以提供高中以上的教育,拓展人才渠道。

增加对制造工程教育的投资,设计两年制学位、四年制学位和高级学位,为先进制造业建立一个强大的人才渠道。设立更多的技术课程和研究计划,让毕业生能够解决现实难题,创造未来的新型制造技术。

(3) 产业界与学术界的合作。各项投资应该促进公私部门之间的合作,使课程贴近制造业实际情况。随着对机器人技术、激光切割机、雕刻机和3D打印机等新技术的需求变得越来越强烈,学生和消费者可以通过校园竞赛和社区技术中心(例如,创客空间和微观装配实验室)接触到这些技术。这些技术提高了学生和教师的批判性思维能力和解决问题的能力,对非传统教育产生了巨大的影响。社区数字化制造活动,尤其是具有创业要素的活动,正在改变小批量生产状况,

生产出创新性产品,而且有可能把相关的先进制造活动和专业知识保留在美国。

加强公私部门之间的合作,在先进制造课程中纳入与行业相关的培训,让学生和教师有机会接受行业从业人员的指导,掌握最新的技术并分享教育资料。

2. 升级和拓展职业技术教育的途径

一个人要想成为一名成功的制造业人才,无论是高中毕业直接就业,还是高中毕业后接受了进一步的教育,他都需要具有强大的技术技能、扎实的学术基础和核心就业技能。最近的经济衰退影响了美国人和年轻一代对教育的投资方式。利用技术平台或工业物联网获取资本的创业思维和创造性方法使大学学费暴涨的问题成为许多家庭对话的主要话题。与大多数其他发达经济体不同,美国缺乏一种正式的机制来协调政府、教育界人士、劳工代表和雇主,从而制订国家层面的劳动力发展政策并付诸实施。因此,支持中学及中学以后的职业技术教育、项目课程、能力培训、职业发展道路和自主学习计划就变得尤其重要。这些非传统的学习方式对于先进制造业至关重要,并且使工人更容易从衰退的行业流动到新的不断发展的技术领域。两年制社区学院课程和四年制大学课程也需要进一

步调整,特别是在软件设计、工程技术、系统工程、机器人技术以及生物技术等科学/技术相关领域。

在计划方面,该战略目标的优先项目包括职业技术教育以及熟练技工培训。

(1) 职业技术教育。让学生基于项目进行实践学习,可以培养他们产品设计与定制所需的关键技能,支持美国制造业的发展重点不断向这些方面转移,而且通过研发活动、试验和验证他们的想法,也有助于培养学生的想象力、创造力、创新能力和协作能力。特朗普总统于2018年7月签署了《加强21世纪职业技术教育法》,修订并拓展了《卡尔·D·帕金斯职业技术教育法案》,主要依据该法案,美国支持在中学及高校开展职业技术教育。新法案为各州、各社区和制造业领袖们提供了一个重要的机会去重新思考和振兴职业技术教育,以解决学校与就业之间存在的技能差距。重要的是,新法律使各州、学区和社区学院在使用联邦资金时具有更大的灵活性。修订后的《卡尔·D·帕金斯职业技术教育法案》和其他相关计划将使中学和高校的学生有更多的机会接触高质量的技术教育、接受资格认证。这样,受过良好教育和培训、获得资格认证的人员将能够有效地填补先进制造领域中未来的高需求、高薪岗位。

州和地方一级的劳动力委员会有责任开展更多的联合活动，融合各项科学 / 工程 / 职业技术教育计划，为中學生、下岗人员和失业人员创造接受教育的途径。

利用重新审批的《卡尔·D·帕金斯职业技术教育法案》中提供的机会，根据本地需求以及让学生能够以学徒方式进行工作和学习的策略推进高质量的先进制造计划。

(2) 培训熟练技术人员。美国目前的培训系统太过复杂，即使是积极性很高的人也很难接受受到相关培训。《劳动力创新与机遇法案 (WIOA)》提供了一个强有力的职业培训系统，该系统由州政府管理、由当地政府具体实施，有助于实现许多已证明效果的解决方案。美国应该利用现有的联邦投资，重点提升 WIOA 对制造业的支持力度，有效地培训熟练的制造业劳动力或开展再培训。

加强联邦政府、州政府和地方政府与教育机构、私营部门之间的协调，将工作重点重新放在学徒课程、工作学习和技术培训上，让工人们能够学习到先进制造知识与技能。

3. 发展学徒培训，取得业界认可的专业技能证书

学徒制度使人们能够在学习的同时赚取一些收入，并掌握相关的工作技能，取得业界认可的

专业技能证书，而且不会像取得四年制学位那样承受债务负担。

然而，学徒制却没有得到充分利用，美国只有 0.3% 的劳动力通过了已注册的学徒课程。特朗普总统呼吁扩大学徒计划，改革无效的教育与劳动力发展计划，让美国工人能够负担得起教育费用并取得适当的报酬。完成学徒课程的个人应获得全国通用的、业界认可的累积式证书。业界认可模式对于先进制造业尤为重要，目前该领域缺乏甚至没有已注册的学徒课程。还有，需要修改学徒补助金制度以涵盖所有的学徒模式，使各州、教育机构和私营部门能够共同努力，在有需求的经济领域发展学徒制度。此外，学徒和资格认证课程注册制也适用于那些想在先进制造技术方面接受进一步培训的人。

在计划方面，该战略目标的优先项目包括：制造业学徒制度，学徒与资格认证课程注册制。

(1) 制造业学徒制度。加速发展高质量、业界认可的学徒课程，这将为美国工人拓展新的先进制造业就业机会，使他们能够获得通用的、业界认可的资格认证证书。工人如果取得高级证书，就可以获得足以支撑家庭支出的工作，而且这也有助于恢复美国制造业基础的活力。由产业界、劳工界、教育界和非营利组织成员组成的“扩大学徒制工作组”最近向总统提交了一些建议，

希望在以往没有采用学徒制模式的行业中建立和推广学徒制度。这些建议旨在有效实施新手培养战略，这也是发展熟练劳动力所需要的。

加速发展优秀的、业界认可的学徒课程，让制造业工人能够更为便利地取得通用的、业界认可的专业技能证书。

(2) 学徒与资格认证课程注册制。许多学徒课程可以通过当地机构、区域级机构和国家级机构进行学习，其中既有公共机构，也有私营机构。但是，个人通常很难确定一门课程是否符合其需要，课程时间安排是否合适。利用中央资料库或注册管理系统可以帮助雇主找到具有相应资格证书的求职者，满足其对劳动力的需求。这样的系统还可以进一步增加美国退伍军人的职业资格认证课程，如 Skill Bridge 计划，它可以提供焊接、管道安装和信息技术等领域的培训；也可以增加学徒类课程，如“老兵到能源行业来工作”计划，它可以为退伍军人提供替代能源研究方面的付薪实习。建立这样一个资料库需要得到各州和当地社区的优先支持，以增加人们的参与度，让更多的人能够完成这些课程。

建立并维护一个中央资料库或注册管理系统，帮助求职者确定哪些学徒资格是与制造业相关的，哪些资格认证证书是得到业界认可的。

4. 建立技术工人与产业界之间的供需通道

虽然培养合格的工人非常重要，但是如果不能在熟练的制造业工人与雇主之间建立供需交流平台，那么上述工作的价值将无从体现。求职的工人应该能够在本社区、本地区和本州与用人单位建立无缝联系。WIOA 美国就业中心（也称一站式就业中心）等现有方案是解决此问题的关键，利用它们可以在培养技术工人的人力供应方（例如学徒、培训和职业资格认证机构）与用人的制造商之间建立供需通道，将各方的资源联系起来。

在计划方面，该战略目标的优先项目包括劳动力多样性以及劳动力评估。

（1）劳动力多样性。劳动力培养体系难以跟上工业界快速创新和技能升级的步伐。雇主需要采取特定的策略才能雇佣人数不占多数的人群。为了接触到这些人群，必须联系传统黑人大学、少数民族服务机构、关注弱势群体的非营利组织以及相关的妇女职业发展团体。此外，美国每年有 20 多万军事人员退伍。退伍军人训练有素、技术技能广泛、做事准时、随时可以参加工作。但坦克机械师或爱国者导弹电池技师的技能并不符合制造公司的要求。

与工业界和其他利益相关方合作，制订更为有效的策略来培

训和招聘少数人群，将退伍军人转变为劳动力，促进先进制造业劳动力的多样化。

（2）劳动力评估。保持制造业劳动力的持续竞争力需要制订国家级的政策，鼓励并创造机会让工人接受教育，掌握技术发达经济体所需的技能。对于用来分析制造业劳动力状况的相关制度要定期评估并加以改进完善，使各州及联邦政府能够准确地了解未来需求的技能。发展制造业劳动力时要以数据为支撑，保证所采取的各项措施都有事实基础，使联邦投资能取得强劲回报。

继续评估美国制造业的状况，以及国家应该如何培养自立且具有全球竞争力的劳动力。

四、总目标 3：美国国内制造业供应链能力的提升

美国的制造业供应链是由大型和小型制造商、集成商、原材料生产商、物流公司以及提供其他支持服务（会计、财务、法律顾问等）的公司组成的复杂体系。这些公司形成了相互依赖的网络，为美国和全球客户提供各种各样的制成品，其中有许多公司并不在美国国内。数字化和信息技术的出现使制造业供应链不再关注特定的地点，而是变得日益全球化。尽管这带来了许多好处，但在某些领域，供应链

的离岸运作使制造商难以在国内运营。至关重要的是，为了让美国开发的技术和培养的人才能够服务于美国，必须有一个健康的国内供应链来吸纳它们。

几乎所有的美国制造企业，特别是那些涉及供应链的制造企业，都是员工总数不到 500 人的中小型制造商（SMM）。这些制造企业对于当地经济和区域经济都是至关重要的，在经济困难时期，它们的衰退会对当地社区产生负面影响。因此，确保这些公司能够充分参与先进制造业是非常关键的。

如前文及《美国制造业与国防工业基础及供应链韧性的评估和加强》报告所述，美国制造商面临着各种挑战，包括国外竞争（通常得到了外国政府的补贴）、熟练工人不足、快速变化的技术变革和创新、网络安全威胁、财务限制、国内供应链缺失等等。大型制造商（它们通常依赖于复杂的、分散的供应链）以及资源有限的小型制造商所面临的挑战也在变化。

美国需要在若干方面采取措施以确保先进制造业供应链的健全、可靠和繁荣。首先，联邦政府在发展供应链时需要以中小型制造商为重点。这包括由联邦政府组织建设公私部门之间的合作伙伴关系，以发展更大、网络更安全的供应链。其次，美国必须扶持新的业务发展模式，将碎片

化的创新孤岛与先进制造生态系统联系起来，由供应链的多方成员共同开展竞争前应用研究，共担风险以获得更高的回报。这些创新生态系统和相关工作要促进新的制造业务发展模式，加快研发成果向先进制造产品的转化。再次，美国必须加强支撑国防工业基础的供应链。为实现这一目标，需要更好地利用现有的授权法案，如《买美国货》和《对外军售》法案，还要进一步发展军民两用技术。最后，需要针对重要的农业领域发展专门的先进制造技术与工艺流程，支持美国农村地区发展，使其保持繁荣。

在总目标3的框架下，未来4年计划实现下列战略目标：

- 提升中小型制造企业在先进制造业中的作用；
- 鼓励发展制造业创新生态系统；
- 加强国防制造业基础；
- 加强农村地区的先进制造业。

1. 提升中小型制造企业在先进制造业中的作用

中小型制造企业是所有供应链的关键组成部分。任何产品在制造时都需要从其他供应商处取得原料，而所生产的产品很多也是用于制作其他的零部件、组件、子系统和服务。中小型制造企业是新产品、新工艺和新业

务模式的关键创新源。它们必须通过供应商、大学、联邦实验室、美国制造业研究所等机构才能得到相关的技术与专业知识，才能使用技术基础设施。中小型制造企业还需要值得信赖的顾问，就新技术的实际发展前景提供适当的建议。

在计划方面，该目标的优先项目包括：供应链的发展、网络安全概念的延伸及意识的增强、公私部门之间的合作。

(1) 供应链的发展。新技术将会影响未来的制造业供应链的形态及运作方式。以往的联邦投资产生了各种各样的技术，这些技术汇集在一起，从根本上改变了制造商在供应链中以及在公司内部交换业务信息和生产信息及数据的方式。在中小型制造企业层面应对这些变化，意味着理解新技术并利用它们来扩张和改进生产，例如增材制造和生物制造技术，大数据、数字物流及工业物联网的应用，利用网络商务改善制造服务，以及安全可靠的高速通信。

加强推广和教育工作，让中小型制造企业了解和采用创新方案。这样可以确保各政府机构的技术转化计划将重点放在中小型制造商上。

(2) 网络安全概念的延伸及意识的增强。网络安全是一个全国性问题，在该问题上，美国农业部的农村发展合作服务（研

究和拓展）计划以及商务部的制造业拓展伙伴计划等公私合作计划可以有效地服务于美国的中小型制造企业。对于需要在内部网络安全和外部网络安全领域寻求专利保护的个人和机构，美国专利商标局还开展了宣传和教育工作。国防部数字化制造与设计创新中心（“美国制造业研究所”之一）最近推出的“制造业网络安全中心”将寻求解决制造业方面的网络安全漏洞，并在此基础上进行拓展，以支持最佳的工作方案。美国应该推广这些计划，提高大家的网络安全意识，加深对网络安全的理解，在自愿的基础上帮助各公司进行自我评估，并将研究成果和专业知识从联邦政府专家（如美国国家标准与技术研究院）转移到中小型制造商。鼓励小型制造商评估自身的网络安全风险并采取措施降低风险，例如采用小企业证书，提高其网络安全性。此外，还需要通过现有的和新的业务辅助计划对中小型制造商开展推广和教育活动。

为中小型制造商提供网络安全专业知识和工具，以保护美国最具价值的商品——知识产权。高度互联的制造设施的安全性问题具有独特性，需要提高认识，加深理解；探讨对中小型制造商的激励措施，以评估并降低其网络安全风险。

(3) 公私部门之间的合作。中小型制造商通常并不了解如何

建立公私伙伴关系，有些制造商即便对其有所了解，可能也不清楚参与这些协作活动有哪些好处。这些协作活动的益处包括：了解将影响其业务的或重大或细微的技术变化；向联合体/协作组提出研究课题建议，这样的话，其研究成果就可以应用于中小型制造商；可以跟踪新技术的发展趋势，掌握何时对其进行投资；与潜在客户开展研发活动，提升中小型制造商作为这些客户的创新型供应商的声誉。

与联邦实验室联合体合作的一系列项目中可以采用“美国三角国际研究中心”的类似流程，这样可以确保先进制造生态系统各参与方的持续参与，加深对相关技术及行业价值链的理解，确定行业需求并开展针对性的研究，有效利用联邦的和地区的相关计划及资产。

继续利用联邦政府的权力组织相关各方，尤其是中小型制造商，确保所有参与方都能在公私部门联合体和协作体的形成阶段就充分参与。

2. 鼓励发展制造业创新生态系统

制造业生态系统包括各种类型和规模的制造企业，每个企业都发挥了重要作用。除了大型制造商外，初创公司和高科技企业都可能做出突破性创新，形成新产品、新工艺、新业务模式，创

造并发展出新的市场。这类公司如果打算自己开展生产，那么从样机转为商业运作的过程中随着规模扩张会遇到各种挑战；如果打算外包生产，那么寻找生产合作伙伴时也会遇到各种问题。州和联邦两级政府机构可以而且应该支持“在美国制造”，给予资金支持，提供相关的建议。技术驱动的市场情报等服务可以帮助各公司根据其技术资产确定产品和服务的目标客户和市场。

公私部门合作涉及到生态系统的各参与方，需要了解并适应行业需求，并利用现有的区域资产。各区域建立协作体或联合体，可以促进特定地区的经济发展，和/或推动特定技术的发展。重要的是，要搞清楚研究联合体（为填补知识或技术开发中的特定空白而形成的竞争前研究计划）、经济发展集群计划（基于特定领域的资产，通过保留原成员和吸引新成员来实现该领域的发展）、以及先进制造技术创新协作体（侧重于传播和采用先进制造技术并实现商业化，从而推动创新活动和经济增长）。美国需要发展上述各类联合体，这样才能在先进制造领域保持全球领先。

在计划方面，该战略目标的优先项目包括：制造业创新生态系统、新业务的形成与发展、研发成果转化。

(1) 制造业创新生态系统。以前，联邦政府曾围绕他们资助

和主导的某项技术或能力组织过研发联合体，但一旦联邦政府停止投资，相关的技术能力就会变弱甚至废弃。之所以发生这种失败，在很大程度上是因为所组建的联合体并不是聚焦于产业界的，因此也得不到产业界的持续的、重要的资金支持。联邦政府，特别是那些资助先进系统开发的联邦机构，例如国防部和美国航空航天局，如果不继续提供大部分的资金，就不能保持供应链的活力。

公私部门之间的合作，主要是由产业界驱动的，重点是商业制造和国防制造的工艺流程和产品，它可以最大限度地减少因生态系统完全依赖于联邦资金而引发的这种问题。商用与军用双重点的架构有助于制造业创新生态系统的持续发展，使其在美国保持活力。国防部可以利用公私部门间合作所取得的成果，而且不必完全由自己来出资。这些合作不仅能够提供尖端技术解决方案，而且还可以降低成本，因为前期应用研究的费用是由多方分摊的。

创建和利用制造业协作体和联合体，并加大工作力度，以促进技术和经济发展。针对那些对美国未来竞争力有重要影响的技术，在公私部门之间建立更多的合作。

(2) 新业务的形成与发展。突破性技术需要很长时间才能进

入市场。在私人资本稀缺的制造业中，旨在协助小型企业发展的联邦计划就显得尤为重要。小型企业创新研究（SBIR）计划和小型企业技术转移（STTR）计划可以为具有新想法的小公司提供资金。SBIR 和 STTR 计划对企业家是有利的，因为政府并不占有股权，而是希望企业能够销售优秀的产品，从而通过税收取得长期回报。SBIR 和 STTR 计划是由很多政府机构发起的计划。

国家科学基金会创新团队（I-Corps™）计划是对 SBIR/STTR 计划的补充，该计划可以提供市场发现方面的强化培训，帮助实现新成果商业化的运作。还有其他一些机构也采用了 I-Corps 模式，制订了类似的计划，重点资助成果转化研究，将机构资助的研究项目投入商业运作，转化为产品或服务，使公众受益。国防部快速创新基金对小型企业的成熟技术理念进行投资，从而将其技术转化为国防采购项目。快速创新基金的目标体现出国防部的采购强调的是快速性和响应速度，其投资的小型企业创新技术要解决作战难题或关键的国家安全需求。国防部的“导师—门生计划”是目前仍在连续运作的最早的联邦计划，它在小型企业与大公司之间建立合作关系。

优先考虑计划能够为新业务的形成与发展提供关键支持，包

括对企业家的培训以及对科学家与工程师的指导。

（3）研发结果转化。制造业要能迅速调整制造能力，这样才能利用研发部门快速取得的技术成果。这种情况并非先进制造业特有的，联邦政府资助的所有研发领域都是如此。“总统管理议程”认识到了技术转让的关键作用，以及促使技术从实验室向市场转移的重要性，并将其作为跨部门优先（CAP）目标。各联邦机构通过实验室—市场 CAP 目标这一机制加强相互间的协调，以促进技术转移。重点采用 5 项战略：确定联邦技术转让政策和操作中存在的监管阻碍因素和可采取的行政改进措施；加强与私营部门技术开发专家及投资者的接触；建立更具创业精神的研发团队；支持技术转让方面的创新性工具和服务；加深对全球科技发展趋势和基准的理解。

在先进制造研发领域，尤其重要的是，要与那些可能进一步开发和实施新技术的公司先行开展合作，推动其发展。为快速实现新技术在全球制造领域中的全面商业化，技术标准是需要重视的一个方面。同样，测量科学的进步是制造技术进步的一个基本要素，在测量技术的支持下制造技术的可重复性才能得到证明，促进其广泛应用。

在各部门之间以及联邦技术转让政策组之间进行协调，以

确定哪些技术适于在美国境内从实验室推向市场。优先为测量科学和标准制订方面的研究提供资金，以加速从研发向商业实践的转化。

3. 加强国防制造业基础

50 多年来，美国国防部一直致力于开发改变游戏规则的技术，这些技术确保了美国的军事优势，并支撑着私营部门的经济竞争力和创新能力。先进复合材料、微电子技术、雷达、全球定位系统（GPS）、互联网和高级合金等技术已经影响了地球上几乎每个人的生活，并使美国成为全球领导者。这些颠覆性技术中的每一项都源于短期的军事需求，同时也有着深远的科学技术目标，每种技术都要采用先进制造技术才能实现改变游戏规则的目标。

帮助中小型制造商了解联邦合同动态，这对于那些希望参与国防领域工作的中小型制造商来说是非常重要的，为此国防部的各个援助计划也需要扩大其范围。根据《其他交易授权》法案，国防部有权试验性地采购创新型商用物品、技术和服务。此类创新举措应该加以拓展，以充分利用非传统制造商的才能。

在计划方面，该战略目标的优先项目包括：颠覆性的军民两用技术、买美国货行动、以及充分利用现有的授权法案。

(1) 颠覆性的军民两用技术。军民两用技术为美国制造商提供了更大的市场，使他们在开发新产品时能够开展更多的研发工作。国防部广泛采用军民两用技术具有很多优点：可以形成更广泛、更稳固的国防工业基础，大幅降低了采购成本和风险。例如，高性能微电子设备，国防部年需求量通常还不到半导体工厂一天的产量，而其成本却高达 50 亿美元。利用同一批设备来生产消费品，这样可以分摊军品的生产成本。仍以微电子设备为例，国防部可以利用这些设施作为可靠的加工厂，确保产品来源可靠，并且关键系统的供应链中没有伪制品。

有效推行军民两用技术还将刺激民用领域的创新和技术发展，有助于实现经济稳定、长期增长和繁荣。

采用军民两用技术，可以促进国防和商业供应链的创新和技术发展，有助于经济稳定和长期增长，同时保持强大的国防力量。

(2) 买美国货。特朗普总统的“买美国货、用美国人”行政命令规定所有联邦机构在美国加强执行“买美国货”的相关法律。该政策能对重要领域在国内的供应链起到支持作用。这种支持可以振兴国防制造商和民用制造商所必需的某些供应链。“买美国货”政策也应该不断更新调整，准确反映当前对军方至关重要

的元器件和材料。应审查相关政策，确保其所列内容都是当前对国防工业基础具有重要影响的技术和材料。

扩大技术和供应商巡查计划，以确定能够生产与进口产品相同或相似产品的国内产源，从而减少豁免情况。

充分利用现有的授权法案。在国防制造基础范畴内，有很多专门的财政授权法案可以更广泛地用于先进制造业。1950 年的《国防生产法案 (DPA)》，修订后编号为 (50 USC 4502)，就是应对国内制造挑战而制订的法律，以确保国内工业基础的活力。该法案向总统提供了一系列授权，可以制订国防战备计划，可以采取适当的措施保持和加强国内工业基础。目前，国防部是唯一可以执行《国防生产法案》第 3 法令规定的特殊征用权限的联邦机构，但其他政府机构可以与国防部合作以满足其需求。

2002 年的《国土安全法》，修订后编号为 (6 USC 101)，针对反恐技术的开发和部署，建立了风险与诉讼管理体系，以促进相关技术的发展。相关措施将确保债务威胁不会妨碍有效反恐技术的潜在制造商或销售商开发可以挽救生命的技术，并利用其开展制造和商业化操作。

美国防务制造商依靠庞大的对外军售来协助补充其国防部业务。这部分销售有助于维持先进制

造生态系统并建立充足的峰值产能，在国防部采购量减少时起到缓冲作用，并通过更广泛的客户群来分摊开发成本和其他间接成本。遗憾的是，某些过时政策造成了一些不必要的阻碍，抑制了对外军售的增长，这不会增强我们的国防工业基础，而且起到了相反作用。对外军售越多，则国内制造产量越高，从而利用高产量降低了国防部武器系统的成本。

扩大现有授权的应用范围，以确保对国家安全具有重要影响的商业产品能在国内制造。评估对外军售政策和流程，确保在不影响国家安全的前提下简化程序。

4. 加强农村地区的先进制造业

制造业是全国农村经济的基石，对美国农村尤其重要，制造业的就业人口比例与薪资比例都要高于城市地区。联邦政府支持那些旨在提高农村地区制造业实力和适应能力的计划。例如，促进农村繁荣和经济发展就被确定为美国农业部的主要战略目标之一。美国农业部的各项计划为农村繁荣提供了一个全面支撑体系，其中的一些计划对于先进制造业也是非常重要的，例如 STEM 教育、劳动力发展、农村基础设施建设、以及对农村发展方面的商业组织和研究组织的拨款和贷款。

在计划方面，该战略目标的

优先项目包括：面向农村繁荣的先进制造业，资本准入、投资及商业援助。

(1) 面向农村繁荣的先进制造业。“农业与农村繁荣机构间工作组”2017年的报告强调了制造业对美国农村的重要性，并确定了有利于农村繁荣的5个关键优先领域：在美国农村普及电子商务、提高生活质量、支持农村劳动力发展、利用技术创新和发展农村经济。美国农业部正在积极支持上述优先领域。

美国农业部经济研究局发布了一系列关于农村制造业适应力以及制造业对农村经济重要性的研究报告，这些数据可供地区、州和联邦政策制订者参考，有助于他们更深入地理解美国农村地区的制造业。美国农业部的其他一些计划，如农村商业合作服务中心，可以为制造商开发创新性高附加值农产品提供技术援助拨款，帮助其扩大市场占有率。

利用联邦机构、州政府及地方政府、非营利组织以及私营部门之间的战略伙伴关系，通过制造业的发展及增长，提高促进农村繁荣工作的效率和效益。

(2) 资本准入、投资及商业援助。农村先进制造业的蓬勃发展，需要及时获得资本和其他形式的商业援助。为了提高联邦政府在这些领域的支持力度，美国农业部和小企业管理局(SBA)针对“农业与农村繁荣机构间工

作组”认定的一些优先项目，最近签署了一份谅解备忘录。通过机构间的合作，可以改善农村地区的资本准入和投资情况，建立创新群体，改善农村技术援助情况，使农村企业更容易进入全球市场，进一步发挥2017年《减税和就业法案》的效益，还可以实现其他一些目标。先进制造计划应该反映这些优先项目以及“农业与农村繁荣机构间工作组”认定的优先项目，例如改进后的税法，基础设施建设，以及那些支持农业、林业和粮食生产增长的计划。这些优先项目对于农村社区的制造商而言是关键的支持系统。为此，需要直接投资于农村社区以及那些支撑农村经济发展的商业基础设施，例如美国农业部农村公用事业服务中心开展的投资，其中包括学校和图书馆的高速宽带互联网，医疗保健设施，以及电力、电信、水和垃圾处理系统。

协助农村地区发展在规划、领导力、技术等方面的专业知识，以维持和发展农村经济，利用多领域或多辖区之间的伙伴关系，推动区域协作。

五、2012年战略规划报告中各目标的进展情况

2012年2月，国家科学技术委员会发布了《先进制造业国家

战略规划报告》。本节总结这份报告中确定的一些主要目标的进展情况。

目标1：更有效地利用联邦政府的职能和设施，包括由联邦机构对尖端产品进行早期采购，从而加快对先进制造技术的投资，特别是对中小型制造企业的投资。

各种联邦政府计划成功地促进了技术开发，并将相关技术转移到制造企业，特别是那些中小型企业。这些计划包括“美国制造业研究所”计划、美国国家标准与技术研究院(NIST)的制造业拓展伙伴(MEP)计划和能源部的制造示范设施和嵌入式企业家计划。此外，国防部、能源部、卫生部、国家科学基金会、美国航空航天局和商务部的SBIR/STTR计划为制造业研发活动提供了创业帮助。

NISTMEP计划中心在14家美国制造业研究所都派驻了人员，负责与美国各地的中小型制造商联系，将各研究所开发的已成熟的技术推荐给相关企业。派驻人员还确定了一些可以参与各研究所研究项目的公司，以及相关公司对研究所的技术需求。

目标2：针对先进制造领域的不断发展，培养更多的掌握所需技能的工人，并使教育和培训系统能够更快地适应技能需求变化。

联邦政府在教育与劳动力发展方面开展了一些面向任务的

投资，这也是许多联邦机构的重要职能。教育部的侧重点是基础（K-12）教育，劳工部的侧重点是劳动力发展和资格认证，其他联邦机构，如国防部、美国国家航空航天局和国家科学基金会，则资助了 STEM 教育方面以及相关的劳动力培训和发展方面一些较为侧重于制造业的计划。

美国制造业研究所与 MEP 中心合作，也积极参与教育和劳动力发展工作。2017 财年，美国制造业方面的教育和劳动力计划覆盖了全国近 20 万名学生和制造业从业者，使许多人决定从事制造业工作。根据《劳动力创新与机遇法案》（WIOA），劳工部帮助培训了一些失业的制造业工人和一些希望就业的人。根据《卡尔·D·帕金斯职业技术教育法案》，教育部帮助吸引中学和社区学院的适龄学生投身制造业。

表 2 列出了各联邦机构在制造业教育、培训和劳动力发展方面的相关计划。

目标 3：创建并支持国家级和地区级的公私部门合作，以及政府—产业界—学术界合作，以加快对先进制造技术的投资和部署。

公私部门合作是“美国制造业研究所”计划不可分割的一部分，并伴随其发展起来，它有效地开发、实施和转让一些新的先进制造技术。还有其他一些计划也对实现这一目标做出了贡献，包括 NISTMEP 计划和 NSF 产业

界—大学合作研究中心和工程研究中心。

美国制造业研究所的建立和发展是在这一目标下所取得的核心成就。研究所为工业界和学术界创建了一套中立的协作空间，用于进行制造技术创新并向各种规模的企业转让新技术，从而提升整个生态系统。每个研究所都有双重使命，既要关键的新兴技术开展高影响力的竞争前研究，又要缩小这些技术的教育差距，及劳动力缺口。根据最近的一项评估，这些研究所大大加快

了美国制造商开发新技术的速度并降低了研发风险。各研究所目前正在研究以下 14 项技术：增材制造、数字化制造和设计、轻质金属、宽带隙电子设备、复合材料制造、集成光子学、柔性混合电子设备、工艺强化、智能制造、纤维和纺织品、生物制药、生物制造、制造业用机器人和循环一再利用—回收技术。

2017 财年，美国制造业研究所共有 1291 家会员单位，包括 844 家制造公司（占 65%）、297 所教育机构（占 23%）和 150 家

表 2 美国各联邦机构在制造业教育、培训和劳动力发展方面的相关计划

机构	教育与劳动力发展计划	
国土安全部	国土安全方面的 STEM 夏季实习生计划	
商务部	“美国制造业研究所”计划，教育与劳动力计划	MEP 中心，劳动力发展计划
国防部	军队教育拓展计划 加强基础航空与太空探索的科技学院计划（STARBASE 计划） “美国制造业研究所”计划，教育与劳动力计划 “老兵到能源行业来工作”计划 制造工程教育计划	转型国防教育的科学、数学和研究计划 STEM 拓展计划 系统工程顶点计划 过渡援助计划 SkillBridge 计划 国防教育计划
教育部	《卡尔·D·帕金斯职业技术教育法案》	
能源部	“美国制造业研究所”计划，教育劳动力计划 实验室创业计划	先进制造技术培训 能源效率与可再生能源办公室（EERE）机器人实习生计划 工业评价中心
劳工部	学徒计划 贸易调整援助计划	《劳动力创新与机遇法案》
美国航空航天局	空间技术研究资助计划 人才奖学金计划	促进竞争性研究的已确定计划
国家科学基金会	先进技术教育计划 工程参与扩展计划	本科生研究体验计划 教师研究体验计划
农业部	学术奖学金与助学金 4-H 科学计划	提高退伍军人的农业就业机会

其他实体单位（占 12%）。教育机构包括大学、社区学院和其他学术机构；其他实体机构包括联邦、州和地方各级政府，联邦实验室和非营利组织；制造商中，有 549 家（占 65%）是员工总数不超过 500 人的小型企业，剩余的 295 家（占 35%）是大型制造商。

目标 4：采纳不同机构的观点并进行相应的调整，优化联邦政府的先进制造业投资。

联邦政府的许多机构都在投资制造业研发活动，各机构之间相互协调以避免重复投资，同时还要确保这些投资能够满足任务要求并在需要时形成互补。机构间协调的一项职责是技术水平审查委员会的主题专家跨机构开展拨款评审和其他来源选择工作。在 NIST 先进制造技术国家计划办公室（跨机构工作）的指导下，参与 NSTC 先进制造专委会（SAM）的各机构已经协调了（并将继续协调）各自对美国制造业研究所的投资和监管。在 NSTC 的框架下，SAM 与各主管部门合作，协调和优化联邦政府在先进制造技术研发方面的投资。

目标 5：增加美国在先进制造技术研发方面的公私投资总额。

虽然国家科学委员会的科学和工程指标并没有对联邦政府的先进制造技术研发支出进行集中和持续的跟踪，也没有对全球的相关研发活动进行跟踪，但现有数据显示，自 2012 财年发布上

表 3 美国先进制造技术研发联邦计划

机构	制造技术及相关计划	
商务部（美国国家标准与技术研究院和国际贸易局）	美国制造业 制造业拓展伙伴关系 增材制造 智能制造系统 用于智能制造的机器人技术 先进材料测量 标准参考物	材料基因组计划 物理测量 生物制造 国际贸易局（ITA）全球市场 ITA 产业与分析 ITA 执行与合规性
国防部	制造技术计划 美国制造业研究所 国防工业基础现代化	工业基础分析与支持计划 国防工业基础扩展 国防生产法案第 3 法令
能源部	清洁能源制造研究所 制造业中的高性能计算 实验室创业	能源创新中心 橡树岭国家实验室制造演示装置 关键材料中心
卫生部 / 食品药品监督管理局	面向连续制造的管理科学前沿 研究与发展 先进开发与制造创新中心	生物医药高级研究与发展管理局 医疗对策高级发展与制造
美国航空航天局	改变游戏规则的技术计划 先进探测系统计划，航天制造工程	先进制造技术工程 先进制造技术国家中心
国家科学基金会	工程研究中心 产业界 / 大学联合研究中心 先进制造 国家机器人计划 2.0	安全可靠的网络空间 网络物理系统 细胞与生物化学工程 颠覆和塑造我们未来的材料的设计
农业部	生物炼制、可再生化学品和生物基制品制造辅助计划 工商担保贷款计划 生物燃料基础设施伙伴关系 农村公用事业服务中心	农村商业合作服务中心 科研项目 小型企业创新研究 对出口相关活动及市场营销工作的支持，包括美国农业部的生物优先计划

一份战略规划报告以来，先进制造领域的研发投资有所增加。例如，在 NSF 的各奖项中，标题或摘要中提到“先进制造”的奖项，2012 财年总额为 500 万美元，在 2015 财年达到近 5000 万美元，2013 财年至 2017 财年平均每年为 3400 万美元。2012 财年，能源部对先进制造业的拨款总额为 1.17 亿美元，2017 财年增加至 2.91 亿美元，2013 财年至 2017

财年年均拨款额为 1.76 亿美元。最后，在上一份规划报告发布时，全国还没有一个美国制造业研究所；在 2017 财年，新增了 6 个研究所，总计达 14 个研究所，承诺投资总额已增长至 30 多亿美元，其中包括 10 亿美元的联邦投资以及超过 20 亿美元的非联邦投资。

表 3 列出了先进制造技术研发方面的联邦计划。MIT

认清形势 认准目标 加强协作 共建世界一流学会

——中国机械工程学会 2019 年总干事秘书长工作会议在厦门召开

2019 年 3 月 12-13 日，中国机械工程学会 2019 年总干事秘书长工作会议在福建省厦门市召开。中国机械工程学会常务副理事长张彦敏、副理事长兼秘书长陆大明出席会议并讲话。中国机械工程学会副秘书长陈超志、邢梅、左晓卫，32 个专业分会、28 个省区市机械工程学会的总干事和秘书长，以及工作总部相关部门负责人共计 101 人参加了本次会议。

本次会议是学会全面落实世界一流学会建设目标和主要任务的一次部署动员会。会议分成全体会议、分组讨论和集中总结 3 个部分。

12 日上午的全体会议由陈超志副秘书长主持，福建省机械工程学会黄辉秘书长致欢迎词。全体会议分为 2019 年工作部署和典型经验交流两个环节。

张彦敏常务副理事长以“突出重点、强化优势、补齐短板、全面提升，建设世界一流学会”为题，传达了中国科协关于世界一流学会建设的重要精神和我会

建设一流学会的指导思想。报告第一部分从我会建设世界一流学会的总体思路和目标入手指出建设世界一流学会是我会三年重点任务；第二部分从建设制造强国、科技强国、创新驱动发展、学会自身发展需要 4 个方面深入分析了为什么要建设世界一流学会；最后一部分指出，学会要建设世界一流学会，一要思想上高度重视，二要聚焦考核指标、三要坚持创新、四要坚持开放办会、五要做好风险防控。

陆大明副理事长兼秘书长做了题为“认准目标、加强协作、共建世界一流学会”的工作报告。报告回顾了 2018 年度学会系统在党的建设和组织建设、学术交流、科学普及、智库建设、创新助力、会员发展等方面所取得的成绩，分析了学会在对标世界一流学会建设目标和建设方向以及中国科协学会综合能力评估指标存在问题和不足，明确了学会系统 2019 年将以提升学会的学术影响力、组织凝聚力、社会服务能力为中心，强化组织建设，大

力发展会员，提高活动质量，补齐发展短板，培育学会事业发展的新动能，提出了 2019 年在“继续加强党的建设、深入推进内部治理机制改革”、“大力发展会员，弘扬科学家精神”、“提升业务工作质量，完成各项考核指标”、“推进资源共享，全面加强协作”四个方面的主要任务和具体措施。

摩擦学分会总干事顾卡丽、广东省机械工程学会常务副理事长兼秘书长刘奕华、流体传动与控制分会秘书长张青松、湖北省机械工程学会秘书长朱永平分别介绍了党建活动和会员服务、承接政府委托的职称评定、组织建设、科普活动组织等方面的经验和做法。

12 日下午的分组讨论分成专业分会组和省区市学会组进行。专业分会组由机械设计分会总干事林松、铸造分会总干事苏仕方主持，与会代表重点围绕分支机构管理办法草案和工作报告内容进行了讨论。省区市学会组由山东机械工程学会理事长林江海、

黑龙江省机械工程学会副理事长兼秘书长郭洪鑫主持，与会代表重点讨论了工作报告内容以及学会系统协同发展的建议。

13日上午的会议总结部分，黑龙江省学会副理事长兼秘书长郭洪鑫、无损检测分会总干事季敬元首先分别代表各组对讨论情况进行了总结。省区市学会组肯定了12日上午报告的内容，着重从会员登记、会员资源共享、会员发展、分会与省区市学会间的协作、全国学会对省区市学会的工作支持等方面提出了意见和建议。专业分会组就分支机构管理办法具体条款、专业分会如何创新发展、专业分会会员发展等方面提出了具体的意见和建议。

陆大明副理事长兼秘书长在总结时对专业分会、省区市学会提出的部分问题进行了回应，并着重就会员发展和服务、组织建设等关系学会发展的重要问题进行了说明，希望各专业分会和省区市学会树立“一盘棋”、“一个家”的意识，共同完成好世界一流学会建设的任务指标。

张彦敏常务副理事长在总结时指出，本次会议在建设世界一流学会的重要节点召开，建设世界一流学会也将是本届理事会今后几年的重点工作，建设的最终目的不仅是要完成各项考核指标，更重要是实现学会“五个能力”明显提升，希望学会系统通过建设实现组织和人员结构的调整 and 改变，



会场



中国机械工程学会常务副理事长张彦敏做报告



中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明做报告

为学会未来事业发展打下基础，为构建学会命运共同体共同努力。

本次会议期间还安排召开了

团体标准工作推进会议、展览工作委员会筹备会议，对获得 2018 年度优秀与先进专业分会和省区

市机械工程学会、2018 年度最具影响力的学术活动的举办单位进行了表彰。MT

附：受表彰的单位

一、2018 年度优秀专业分会

（按汉语拼音字母顺序排列）

焊接分会

流体传动与控制分会

摩擦学分会

热处理分会

铸造分会

二、2018 年度先进专业分会

（按汉语拼音字母顺序排列）

材料分会

成组与智能集成技术分会

机器人分会

机械设计分会

设备与维修工程分会

生产工程分会

特种加工分会

无损检测分会

物流工程分会

增材制造技术分会

三、2018 年度优秀省区市机械工程学会

（按汉语拼音字母顺序排列）

广东省机械工程学会

河南省机械工程学会

湖北省机械工程学会

陕西省机械工程学会

四川省机械工程学会

四、2018 年度先进省区市机械工程学会

（按汉语拼音字母顺序排列）

安徽省机械工程学会

广西机械工程学会

黑龙江省机械工程学会

江苏省机械工程学会

江西省机械工程学会

辽宁省机械工程学会

山东机械工程学会

山西省机械工程学会

浙江省机械工程学会

新疆维吾尔自治区机械工程学会

2018 年度最具影响力的学术活动

年会类：（按照活动举办的时间先后排序）

1. 第十届全国流体传动与控制学术会议（2018.7.24，北京）

2. 2018 年全国设备监测诊断与维护学术会议（2018.8.10-12，内蒙古·包头）

3. 2018 年全国机械行业可靠性技术学术交流会 (2018. 8. 26-28, 浙江·温州)
4. 第二十二次全国焊接学术会议 (2018. 10. 10-12, 辽宁·大连)
5. 中国机械工程学会无损检测分会第十一届年会暨第三届“百人奖”授奖大会 (2018. 10. 30-11. 1, 上海)
6. 第十二届全国表面工程大会暨第十届全国青年表面工程论坛 (2018. 11. 9, 云南·昆明)
7. 第 23 届全国工业设计学术年会暨 2018 国际创新设计学术高峰论坛 (2018. 11. 9, 山东·济南)
8. 2018 年中国机械工程学会年会 (2018. 11. 9-11, 四川·成都)
9. 2018 中国再制造大会暨再制造产品展览会 (2018. 11. 15-17, 广东·广州)
10. 2018 年中国机器人学术年会 (2018. 12. 8-10, 湖北·武汉)

系列专题类：（按照活动举办的时间先后排序）

1. 2018 年全国青年摩擦学学术会议 (2018. 4. 27-29, 福建·福州市)
2. 第六届智能制造国际会议 (2018. 5. 9, 北京)
3. 第十六届全国机械设计教学研讨会 (2018. 7. 28-30, 甘肃·兰州)
4. 2018 全国金属材料光谱分析技术交流会 (2018. 11. 21-23, 陕西·兴平)

国际和双边类：（按照活动举办的时间先后排序）

1. 第二十四届工业工程与工程管理国际学术会议 (IE&EM 2018) (2018. 5. 19-21, 湖南·长沙)
2. 第 25 届国际热处理与表面工程联合会大会 (2018. 9. 11-14, 陕西·西安)
3. 第十四届中日超精密加工国际会议 (CJUMP2018) (2018. 9. 13-15, 黑龙江·哈尔滨)
4. 第 15 届亚太断裂与强度会议 (APCFS-2018) (2018. 10. 21-25, 陕西·西安)
5. 第五届国际增材制造与生物制造会议 (ICAM-BM 2018) (2018. 12. 2-5, 北京)



CeMAT
ASIA

2019亚洲国际物流技术与运输系统展览会

物料搬运、自动化技术、运输系统和物流的国际盛会

2019年10月23-26日 上海新国际博览中心
www.cemat-asia.com



详情请联系：

中国物流与采购联合会
联系人：马增荣 先生
电话：010-83775772
网址：www.chinawuliu.com.cn
邮箱：hzb@cflp.orz.cn
地址：北京市丰台区双营路9号
亿达丽泽商务中心3层

汉诺威米兰展览(上海)有限公司
联系人：汪洋 女士/于雪婷 小姐/
陈飞 先生/王宸 先生/朱海昆 先生
电话：021-5045 6700转227/331/313/283/236
传真：021-5045 9355/6886 2355
邮箱：ceamat-asia@hmf-china.com
网址：www.cemat-asia.com

中国机械工程学会
联系人：张伟光 先生
电话：010-6879 9042
传真：010-6879 9026
邮箱：zhangwg@cmes.org
网址：www.cmes.org.cn



BEW2019



第24届北京·埃森焊接与切割展览会

THE 24th BEIJING ESSEN WELDING & CUTTING FAIR



2019年6月25-28日
上海新国际博览中心

Shanghai New International Expo Center
June 25-28, 2019



微信二维码



www.beijing-essen-welding.com

www.埃森焊接展.com