CMES
中国机械工程学会

MT机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

http://www.cmes.org

2019 年第 5 期 总第 204 期

智能制造：定义、内涵和行动 p1

融入智慧企业体系下的工业互联网 p8

隐形冠军，帮助中国制造企业转型升级 p12

能源充裕时代下美国制造业加速振兴行动计划（上） p18

2019 智能制造十大科技进展 p33

目 录
CONTENTS

机械工程导报
MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2019 年第 5 期（总第 204 期）
2019 年 10 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

智能制造：定义、内涵和行动 1
融入智慧企业体系下的工业互联网 8
隐形冠军，帮助中国制造企业转型升级 12

热点关注 CURRENT POINT

能源充裕时代下美国制造业加速振兴行动计划（上） 18
2019 智能制造十大科技进展 33

学会资讯 CMES INFORMATION

2019 智能制造十大科技进展在南京发布 41
关注技术与进展 论道“智能”与“制造”
——2019 世界智能制造大会“智能制造前沿与科技进展暨中国工程科技发展战略江苏高峰论坛”召开 43
全球翘楚共议人才培养 擘画未来工程教育蓝图
——2019 国际机械工程教育大会在沪举行 47
全球专家论道物流，千人参与奉献智慧
——2019 智能物流发展论坛在上海召开 54

智能制造：定义、内涵及行动

美国爱荷华大学智能系统实验室　安德鲁·库西亚克（Andrew Kusiak）

摘要：智能制造*的主要特征涉及数字化、连接性、预测工程、新兴材料和工艺，以及可持续性。每个制造企业在走向智能化的过程中，都会在不同程度上具备这些特征。制造企业的成功可能取决于它们在数字空间的存在。智能制造的发展是全球化、没有国界的。本文介绍了各国支撑智能制造的主要举措，如信息物理系统、工业 4.0、社会 5.0 等；提出了智能制造发展的四个阶段；提出了旨在加速智能制造进程中合作的本质。

关键词：智能制造行动；制造特征；工业 4.0；中国制造 2025；制造革命；服务型制造

一、智能制造简介

1. 背景

制造业经过逐渐发展，已经变得更加自动化、计算机化和复杂化。智能制造作为一种新兴生产模式，将现在和未来的制造技术，与传感器、计算机平台、通信技术、和数据密集型建模、控制、仿真以及预测技术结合在一起。通过运用信息物理系统、物联网、云计算、服务定向运算、人工智能和数据科学的概念，智能制造将会成为下一次工业革命的标志。

数字经济定会为制造业带来一场变革。在采集越来越多的关于材料、产品和设备的数据和信息的同时，人们也在开发数据分析和计算机预判模型，借以预测机械部件故障或供应链中断问题。追根溯源，查找产品故障源头或缺陷部件，有助于快速解决问题，避免成本高昂的召回事件和诉讼案发生，同时还可以节约所用资源和能源。

智能制造并没有统一的定义。本文中，将智能制造视作有助于推动未来制造业发展，从而打造智能企业的全部概念的大集合。不同智能制造的概念主要差异在于数字化、互联性、预测工程、新材料和新工艺，以及可持续发展。

（1）数字化

我们正在见证数据在制造业中的振兴，其中一部分是随着传感器和无线技术的应用而开始的。从各类材料、工艺参数、客户和供应商等各种信息源开始采集的数据，将用于驱动各类应用，含预测模型在内。此外，它也将成为提供过去和新制造知识的最佳来源。

（2）互联性

越来越多的与制造业中所涉及的物理对象（如材料、产品和制造设备）有关的数据和信息，将为应用软件网络提供支持。其中一部分数据流还将与外部协作单位和机构共享。例如，产品故障可以追溯到产品特有的制造数据，从而有助于缩小产品召回范围，避免因仓促解决故障而引发

*注：除非有注明，本文中，“智能制造”一词所对应的原文皆为“intelligent manufacturing”。

诉讼案。

（3）预测工程

预测工程是制造业解决方案领域的最新成员。传统意义上，数据在制造业主要用于分析、监控和控制，如生产率分析、流程监控和质量控制等。制造业中提出的六西格玛（Six Sigma）及其他数据分析概念，对制造产品质量的提高和服务的提升产生了巨大影响。但基本上，传统做法更注重过去而非未来的制造工艺和体系。在为感兴趣的现象创建高保真模型（数字建模）方面，预测工程提供了一个新的范式。借助此类模型可以探索未来空间，其中一部分属于原有技术领域，另一部分则是原先闻所未闻的领域。未来，还将通过有限范围模型（如供应链行为）和包含多个系统的模型（如能源、生产率和产品质量综合模型）来丰富现有模型，为今后生产和市场行情提供决策依据。此类大范围模型可能推动制造业结构的重组。可以想象，部分制造业将转入分散生产模式，而另一些则转向集中生产。举例来说，对运输成本、上市时间较为敏感、订制适配要求高的一类产品，便可以在距离客户较近的区域生产。特殊化设备自然也会就近制造，比如医院可以生产患者专用的体内植入装置，不再依赖远程加工。

（4）材料和工艺

智能制造并不意味着需要运用新型材料，如具有形状记忆功能的合金或功能梯度材料等。尽管如此，新型材料还是不断涌现出来。虽然智能材料和智能产品有其自己的发展路径，但智能制造愿意使用所有类型的材料和未来产品，含有机材料和生物材料在内。产品使用寿命结束后，材料回收的重要性将愈加凸显。不难想象，垃圾场将成为填埋各类材料的新场所。部分新型材料需要开发新工艺，并在智能制造中运用新工艺。

新的制造工艺将随新型材料、部件和产品而涌现出来。增材制造就是其中的一个良好实例，它引领了新型材料的研发，对产品设计和制造产生影响的同时，也打开了含生物制造在内的新应用领域的大门。过去若干年来，制造工具的功能也在不断增多。如今的机床已集成了水平铣、立铣和钻孔功能（多工序自动数控机床）。未来，包括材料和制造工艺在内的更多工艺将集成在一起，例如，化工产品制造及在其基础上的药物制造。

（5）可持续发展

可持续发展对于制造业而言至关重要。需实现可持续发展的对象包括材料、制造工艺、能源和制造业所产生的污染物。所有可持续发展的主要措施都是从产品和市场开始。在产品和工艺的开发过程中，如果能够始终以实现可持续发展为目标，则将毫无疑问地获得可持续发展的最大收益。至少以下三种情形可能出现：（1）产品的可持续设计将推动产品制造；（2）可持续制造工艺将影响产品设计；（3）可持续产品和可持续工艺将同步发展。增材制造为第二种情形，即由工艺推动新的部件和产品设计。

可持续发展的核心不在于产品本身，而在于制造流程。它是使再制造、再处理、再使用和制造处于平等地位的主要幕后推动力。注重可持续发展，将模糊生产和服务之间的界限。

2.智能企业

早在几十年前，人们便产生并演示了自动化工厂的设想。不过出于合理的经营考量，制造业已放弃了追求全面自动化工厂的初衷。毫无疑问的是，一些智能工厂将实现高度自动化。新一代传感器和机器人的自主能力越来越强，无论任务大小，都将实现自动化。但智能制造并不是指制造车间的自动化水平，而是指制造企业现在和未来的自主性、发展、仿真和优化。数据和软件工具的可用性决定了企业建模、仿真和优化的范围和时间周期。制造企业的“智能化”水平，将取决于企业本身在数字空间中的反映程度。

制造工艺各个环节所使用的传感器和无线技术，能够采集从材料到工艺参数的广泛数据，包

括材料成份和特性、在温度和振动模式下制造设备的健康状态、产品质量、以及产品、客户和供应商的相关信息。此类数据的采集在不同行业的差别很大，飞机发动机公司会采集发动机生命周期内的数据，汽车制造公司采集车辆数据，软件公司则汇总客户行为数据。尽管制造商已经对生产率、工艺和产品质量监测许久，但数据采集潜力还要广阔得多。

企业各级工艺的计算机建模及各类信息源的数据整合，将有助于人们了解诸如恶劣天气条件导致关键部件延迟交货的风险及制造质量等相关问题。还可以探索如材料、工艺、生产效率和产品质量等迥然不同的领域之间的相互作用。经模型显示，半导体或机床制造产业中的产品质量，只能在特定工艺参数得到优化的情况下方可确保。由于材料、几何结构和工艺本身的变化性，增材制造等新技术会在预测 3D 打印质量和特性的环节，出现更具挑战性的难题。

行业中大多数现有分析所依据的数据，其采集目的并不是建模，而是工艺控制、满足核算和监管需求等。多年前，因为没有数据分析工具，制造业就抱怨派不上用场的数据过多。在部分情况下，行业本着减少浪费的初衷，其精益工作方案会将数据采集量降至最低。由于数据科学为新兴科学，所以制造业普遍尚未做好利用大数据的准备。数据科学的课程中很少有标准工程设计或商务课程。企业数据通常都存储在关系数据库中，其设计初衷是为了提高存储效率，而不是为了快速调取日常运行过程中定期采集的一长串机床等工具的数据（如温度、油耗、里程和其他几十种数据）等众多参数。

创造性活动和决策程序将越来越多地在多方参与环境下进行，这将促进技术创新并提高决策质量。共享资源模型正在从旨在降低道路拥堵的拼车出行，拓展到优步打车出行和爱彼迎短租平台提供的住宿服务。同理，智能制造商也将在保护技术细节和制造系统专业知识的同时，共享制造硬件的使用权限。冰箱制造商可以利用轮椅厂商的生产能力，生产冰箱中专为残疾人士装配的部件。相比于把部件生产环节外包，冰箱制造商通过购买制造能力能够实现更加灵活的生产管理。

委托第三方工厂生产的业务外包模型，对于制造业而言，并非新生事物。这种模型能够节约对很少使用或未经验证的技术的投资，并且可能以更加复杂的形式在智能制造中进行大规模使用。例如，几十年前，便已建立快速制造（3D 打印的前身）业务模型。鉴于技术成本高、学习困难、实用性不确定，所以即便是大公司，也不愿意投资快速制造设备。快速制造技术以前并未过多超越打造样机的范畴，时间已经证明了这一点。在几十年之后，它才以增材制造等复杂形式再度出现。

尽管出租制造设备和共享商业软件的逻辑理念可以仿照优步模式，但共享模型空间却是一大难题，因为在通过协作建模获取收益之前先要投入时间和创意。共享脸书和维基百科等类似的数字制造模型，可能需要花费数十年时间方可完全实现。从公共利益的角度出发所进行的投资，与商业投资千差万别。

智能制造业应将重点放在材料、制造工艺、能耗和污染物方面，从而促进可持续发展。有机材料和生物材料可利用很低的能耗，通过环保方式生产。三大趋势正在涌现：可持续产品设计将对制造工艺带来影响；可持续制造工艺将影响产品设计；部分产品、材料和工艺将同步开发。增材制造对部件和产品市场所带来的影响，相对于这一技术本身的极高关注度而言，很难引人注意。原因之一就是，关于 3D 打印部件和产品的设计知识有限。虽然任何形态的产品几乎都可以打印出来，但在设计不佳的情况下，其质量和结构特性都无法得到保证。再制造、翻新和再使用量正在不断增加。可持续发展将通过翻新二手产品等方式，模糊生产和服务之间的界限。

最大程度地缩短产品和部件的运输距离，将有助于降低成本，减少环境危害。工业运输大致分为两类：内部运输，利用工厂专用设备或各类卡车运输物资；以及外部运输，通过陆运、水运和空运方式，在供应链上下游之间运输物资、部件和产品。机器人和自动飞行器、自动航行船舶和自动驾驶车辆，将提高运输自动化水平并促进资源共享。部分自动运输技术，尤其是路面车辆，几乎已可以随时部署。待解决稳定性问题、人为因素，并克服初期成本障碍后，就可以马上部署。

改变全球制造业供应链、价值链和利润链，需要各产业间协作。这可以从能源和医疗领域入手，因为这些领域的社会效应最广泛。例如，可利用智能工厂生产能源发电机，以便在整个生命周期内不会对环境造成负面影响。风电机组利用风力发电属于环保工艺，但建造风电机组则要用到各类材料（主要为金属）。此类材料和部件往往在全球范围内运输，以修建在一定年限（通常约20年）后便不得不淘汰的风电机组。有待解决的一大问题是：应该对风电机组的设计投入多少精力，才能在其生产、运输和废弃阶段最大程度地降低对环境产生的危害？风电机组的各个部件，含变速箱、发电机、机舱、塔架和一定长度的电缆在内，很可能都未曾精心设计过。同一问题也适用于大多数消费品和工业产品。

二、智能制造行动方案

2010年前后，很多国家、地区和公司企业都对智能制造重燃兴趣，先后设立了名目繁多的各类计划和项目。尽管名称各不相同，但所有项目都不约而同地将运用最新工艺和信息技术成果来推动制造业发展作为共同的主题。支持智能制造发展的主要理念和行动方案包括：信息物理系统（CPS）、工业4.0、社会5.0、中国制造2025和智能制造（Smart Manufacturing），接下来将一一探讨。所有此类行动方案中，工业4.0对提高智能制造意识的贡献最大。

1. 信息物理系统

信息物理系统一词，最初由美国国家科学基金会于2006年前后提出，旨在强调计算机和物理系统之间的相互依赖性。信息物理系统将工程设计模型和方法，与计算机科学模型和方法集成在一起，涉及到智能制造的相关概念，如物联网（IoT）、机对机通信（M2M）、云计算和工业4.0，体现了将物理世界和信息世界融会贯通的技术愿景。

2. 工业4.0

工业4.0一词，最早源于德国政府在2011年提出的制造业计算机化促进战略，同年下半年在汉诺威工业博览会上正式宣布。2012年，工业4.0工作组向德国政府提交了实施建议。

自2015年起，在欧盟地平线2020科研项目中，大量工业4.0项目已经启动。

工业4.0的技术要点有：

√信息物理系统

√物联网

√云计算

√认知计算

这四项技术具备以下共同特点：

√产品和服务数字化：注重产品和服务数据的采集，以及在改进和创新产品和服务领域的应用。

√工艺和商业模型数字化：此类模型为优化生产和开展业务所需模型。

√横纵向整合：不断加强的互联性和信息流，自然会使所有价值链间实现更大程度的整合。

注重制造业的数据和建模，使得约20年前出现的数字主线（横向数据流）等概念再度出现，同时也使数字孪生（数字复制）等较新术语的定义涌现出来。

3. 社会5.0

为了应对除制造业数字化转型以外的挑战，日本推出了社会5.0概念。社会5.0旨在实现日本社会所有层面上的数字化和社会本身的数字化转型，是继狩猎社会（社会1.0）、农业社会（社会2.0）、工业社会（社会3.0）和信息社会（社会4.0）之后的

社会形态。社会 5.0 是涵盖从个人和组织机构到政府政策和整个国家的一种数字化转型战略。

4. 中国制造 2025

“中国制造 2025”是李克强总理及国务院于 2015 年 5 月宣布的战略计划，旨在使中国从低附加值优质产品生产国升级为高附加值产品和服务输出国。该计划倡议中国的制造能力转型，注重汽车、航空航天、能源、信息技术、医疗、机器人和半导体产业集群的发展。

5. 智能制造

（Smart Manufacturing）

智能制造（Smart Manufacturing）涉及到各类技术，如设备和服务的连接性、云解决方案、机器人技术和大数据在决策领域的应用等。企业集成平台从机械设备中采集数据，用以跟踪生产情况和设备状态。云软件能够实现具有高度适配性的计算资源访问权。工业机器人能够与机器设备和人类交流和协作。采集的传感器数据和各类信息交换均可用于开发企业的跨领域模型，涵盖从设备状态监测和预防性维护到需求预测等范围。很多国家都开展了智能制造（Smart Manufacturing）行动方案，包括美国和新加坡在内。

三、智能制造的发展历程

过去三十年来，智能制造不断发展。我们已经见证了三代智能制造的演变，可以将其称之为 0 代到 2 代，同时 3 代正在兴起（见表 1）。注意，这里的“代”字是指发展历程扮演关键角色的自然体系（包括利用自然现象而开发的计算智能）。

1.0 代

1990 年，《智能制造系统》一书为智能制造概念的提出奠定了基础，与此同时，《智能制造期刊》的发布标志着智能制造的正式提出。

2. 1 代

1995 年，日本经济贸易产业省开展的智能制造系统（IMS）计划对 0 代提出的概念进行了验证。日本政府意识到，单凭一国工业无法改变制造业，需要进行国际协作。最初，参与该计划的主要为日本企业，之后与美国、韩国和欧盟的企业合作，共同为制造业的未来而努力。在 IMS 计划中，积极参与的日本企业数量最多。随着日本企业的大力参与，IMS 活动在美国以非盈利性项目——下一代制造系统项目的名义开展。随后，欧盟对 IMS 给予了大力支持，并设立了其自己的科研项目，所以，智能制造计划的范围得以进一步扩大。通过 www.ims.org 平台，参与 IMS 计划的企业以联盟的形式所做的努力，一直持续至今。

从此类协作项目中汲取的主要教训是，除技术以外，还需要信任、决心、信念和政策到位，方可实现互惠目标。全球各大企业管理模式上的差异、协作中缺乏信任、无法看到全球协作的价值所在，仍旧是国际协作项目所面临的难题。当前各行业在全球范围内的拓展，为加速实现智能企业带来了希望。

全球化扩张在一定程度上消除了过去制造业对于协作所持有的部分疑虑。伴随着计算机、通信和制造技术的发展，以及人工智能和数据科学的进步，将原有

表 1. 智能制造的发展历程

序号	年份	标志事件	备注
0 代	1990	《智能制造期刊》（Journal of Intelligent Manufacturing）	参考文献 [3]
		《智能制造系统》（Intelligent Manufacturing Systems）一书	参考文献 [5]
1 代	1995	智能制造系统项目	
2 代	2010	信息物理系统、工业 4.0、社会 5.0、中国制造 2025、智能制造（Smart Manufacturing）	这些概念约在此时出现
3 代	2020	服务型制造、可持续制造、自主制造、共享制造	可能趋势
			参考文献 [4]、[6]、[7]

智能制造努力转化为智能制造现实的契机已经开始显现。

3.2 代

2010 年前后，计算机和制造技术所取得的大量进步，促使业界对智能制造重燃兴趣。由于对智能制造有积极贡献的各类技术的问世时间不同，所以 2010 年只是一个参考时间点，而非特定年份。此类技术及其在行业内应用的潜力，促使各大公司和各国政府相继启动新一代制造计划。其中最著名的有信息物理系统、工业 4.0、社会 5.0、“中国制造 2025”和智能制造（Smart Manufacturing）。

4.3 代

服务型制造（制造作为一项服务）可能成为下一个推动智能制造发展的主要动力。服务型制造的详细介绍，请查阅参考文献[6]。未来企业很可能采用各类形式的开放式制造概念，比如将产品设计与制造脱钩，物流和服务与制造业资产脱钩。诸如供货、分销和维护等一类服务，可以最先与制造企业脱钩。制造工艺将逐渐成为服务。开放式制造企业会成为实体资产和服务的综合体，专为产品生产而配置。很多情况下，实体制造业资产将自然而然地随着服务模式的改变而改变。此类发展的结果便是，竞争焦点将逐渐从内部研发的技术，转移为获取对分散式服务及其资产进行配置、再配置，以及优化运营的知识和能力。

开放式制造架构将随时间的推移而扩大；但集成制造将成为在材料、产品和工艺发展的推动下实现产业进步的关键所在。许多企业将成为集成和开放式架构的混合体。采用开放式制造的企业将遵循 X 作为服务的模式，其中 X 即代表制造、供货和分销等。它将支持资源共享和联网。毫无疑问，很多制造部门和支持职能部门及云端运营实体将采用服务架构模式，使未来企业成为动态组合服务的综合体。

制造业的服务方向，源于第三方服务和分包模式下的行业经验。例如，快速制造（增材制造前身）的服务模式，就是在几十年前技术成本高、设备利用率低、学习困难和技术实用性不确定的情况下建立的。

除服务型制造作为可见模式之一的发展趋势外，未来制造业中最能明确引起或暗藏共鸣的关键词就是自主制造、共享制造和可持续制造。可能出现的情况是，未来在数字化图书馆中搜索此类关键词，将会反馈丰富详尽的制造业转型信息，而这一转型将带来具有同等影响力的社会效益。

四、加快智能制造进程

要加快智能制造业进程，需要科研人员和实践人员相互协作。所需的协作和牵头工作可采用不同的形式，含下文概述的形式在内。

1. 建立问题定义网络

学术、企业和工程设计人员的重点在于解决问题。但目前尚缺乏完善的平台，供实践人员和科研人员针对不断涌现的行业问题共同探讨、开发、发布各类规范及定义。建立此类平台，对跨学科问题提供规范和定义，将有助于加快发展进程。建立允许用户间交流的众包网站，可作为问题定义网络可选的初期经营模式。众包业务所取得的成功，可以为预期的网络实现增值。

2. 开发网络建模和创新平台

建立由关键行业和科研机构参与的开放式开发平台网，将有助于拓展协作范围和规模。可针对此类平台的不同形式进行探索，从在线论坛到创客空间再到面对面创新空间。创客运动主要在学术背景下发展。斯坦福研究院（SRI）、PG 和谷歌等一些企业，均已投资创新空间。美国国家科学基金会也在倡导工业和学术背景下的类似解决方案。这些经历经过拓展、丰富和共享后，便可转化为目标平台，再通过平台促进数据驱动的模型和软件工具的开发。一些平台自然会发展为颇具前景的企业，但扩大合作建模的规模可能会增加其复杂性和成本。信任和信息披露问题必须得到解决，多样化的创意、文化和

开放性也必不可少，同时，中小企业的加盟也十分关键，更需要的是开发一个网络平台，该平台为专家间的互动交流提供了共享空间，除此之外，还具备数据管理、模型开发、方案创立、基准研究以及将成果转化为商业化产品的功能。

3. 使数据共享成为现实

两种建议平台离开数据都无法开发。尽管对数据所持的兴趣日益浓厚，但业界普遍还不知道现有大数据库是否含有可用信息。此类数据往往未经过分析，因此价值不明。但几乎可以肯定的是，需要大数据方可实现智能制造的转型。数据需求越早确定、数据越早采集，对于制造业而言就越有利。通过大数据共享，为协作平台提供数据的任务更加复杂，需要建立完善的数据共享和保护机制。对于工业企业、科研院校和政府机关等所有实体而言，提供和管理此类数据都是有待解决的问题。虽然一旦进行公开研究，人们就会愈加意识到数据中隐藏的潜在价值，但实现海量数据访问和交换的道路依然漫长。这些数据将成为从问题界定到企业模型开发的协作基础。

4. 出台智能制造有利政策

毫无疑问，制造业将向智能制造逐步转型。在这个过程中，政府需要承担一定的角色，来填补产权缺失或产业投资风险过大、需要科研支持的空白领域。过去几年来，振兴制造业已成为社会密切讨论的焦点话题，同时涌现出很多假设、行动倡议和实施方案。通过工业企业、政府和科研院校的共同努力，智能制造必将成为现实。MT

参考文献

[1] Ezell,S.J.A Policymaker's Guide to Intelligent Manufacturing, Information & Technology Innovation Foundation, November 2016, http://itif.org/.

[2] Gao, J., H. Xue, L. Gao, and Z. Luo, Topology Optimization for Auxetic Metamaterials Based on Isogeometric Analysis, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering,* Vol. 352, pp. 211-236.

[3] *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer Nature, https://link.springer.com/journal/10845.

[4] Kusiak, A., Fundamentals of Smart Manufacturing: A Multi-Thread Perspective, *IFAC Annual Reviews in Control*, Vol. 47, 2019, pp. 214-220.

[5] Kusiak, A., *Intelligent Manufacturing Systems*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1990 (Published in Chinese by Tsinghua University Press in 1993).

[6] Kusiak, A., Service Manufacturing: Basic Concepts and Technologies, *SME Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 52, Part A, 2019, pp. 198-204.

[7] Kusiak, A., Smart Manufacturing, *International Journal of Production Research*, Vol. 56, Nos. 1-2, 2018, pp. 508-517.

[8] Kusiak, A., Smart Manufacturing Must Embrace Big Data, *Nature*, Vol. 544, No. 7648 (April 6), 2017, pp. 23-25.

[9] Tao, F., Q. Qi, A. Liu, and A. Kusiak, Data-Driven Smart Manufacturing, *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 48, Part C, 2018, pp. 157-169.

[10] Yang, C., W. Shen, and X. Wang, The Internet of Things in Manufacturing: Key Issues and Potential Applications, *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, Vol. 4, No. 1, pp. 6-15.

融入智慧企业体系下的工业互联网

SAP China　彭俊松

自从2013年德国政府发布工业4.0以来，代表德国制造业最高水平的汉诺威工博会的主题就一直被定格为“Integrated Industry”，每一年仅仅在副标题上体现差别。2014年～2018年的副标题分别是“未来趋势”、“加入网络大家庭”、“发现解决方案”、“创造价值”、“连接与协作”，今年是“工业智能”。实际上，德国人命名的“Integrated Industry”其实应该翻译为“集成的工业”，但是国内却更加愿意翻译为“融合的工业”，从而体现中国的文化特点。但是，从德国政府为工业4.0提出的技术路线——“纵向集成、横向集成和全生命周期集成”来看，数字化推动下的这场工业革命的法则本就是精密到每个字节都必须严丝合缝。“集成”这一被IT产业奉为圭臬的准则，依然是第四次工业革命的精髓，也是无法绕过的难点。这几年，我们看到了德国战车牵引着工业4.0精准前行，而同一时期出现的美国工业互联网的旗手却彻底在汉诺威消失匿迹，以至于将高举的工业互联网大旗拱手相让给德国企业。翻看德国工业4.0发布的技术标准，再对比美国工业互联网的架构文件，可以清楚地感受到两者之间在细节、文风和颗粒度上的差异。中国的工业互联网建设历程，是否可以从中获取一些有益的经验？

一、数字化转型是一场大规模的资源消耗战

就在汉诺威工博会闭幕后一周，位于德国波恩的中小企业研究所（IfM）发布了年度研究报告。报告指出，从2014年到2016年，在德国的中小企业中，利用工业4.0技术改造内部流程的比例，从22%增加到26%；而与此同期，在市场上进行产品和服务创新的比例，则从33%降低到30%。背后的原因，据IfM的分析，是因为德国中小企业侧重工业4.0相关的数字化转型，占据了大量的人力和资金，以至于挤压了其他领域的创新。这说明，即便是在资金更加丰富、数字化程度更高、提供工业4.0的产品和服务水平更加成熟的德国，面对数字化转型的资源消耗，也会发生顾此失彼的情况，更毋庸去谈其他国家需要面临的问题。

事实上，根据IDC发布的数据，企业在数字化转型领域普遍面临着项目众多带来的多线作战，以及人力财力花费巨大的挑战。从2017年到2022年，全球数字化转型的年度开支每年不断增长速度达到16.7%，到2022年全球总开支将达到2万亿美元，而目前全球GDP也仅停留在80万亿美元左右（图1）。显然，各个国家选择的数字化转型技术的集约化（通过技术整合的手段来缩短战线）和商品化（通过大规模采购和实施持续降低成本）所达到的力度，很有可能将直接

决定数字化转型的成败。

二、规模化和高效率推广是当前数字化转型创新成功的关键

人工智能的广泛应用，或者说“智能化”，代表着数字化转型已经进入到一个新的阶段。今年的汉诺威工博会，就是以工业智能（Industrial Intelligence）为主题，向观众们介绍“人工智能时代人与机器之间的数字网络”，这一判断，与国际主流厂商的认识是完全一致的。

结合 IDC、麦肯锡和 SAP 的研究，从大约 2007 年开始的数字化转型浪潮，已经走过了“大型企业导入”的第一阶段。这一阶段的主要技术，以云为引领，包括移动、社交和大数据。经过实践，很多大型企业基本上已经初步完成了这些技术的试验和交付。目前，我们正处在“包括中小型企业在内的加速推广”的第二个阶段。这一阶段的主要技术以人工智能为引领，还包括物联网、区块链和自然接口。这一阶段的关注焦点，是借助以平台化为代表的集约手段，在包括广大中小企业在内的实体中成规模地普及性推广。今天人们普遍关心的一些社会化的大规模高度复杂的问题，例如智能交通和智能电网，有望在第三阶段，通过以指数级人工智能为引领的更为先进的数字化技术，以自治系统的形式加以解决（图 2）。自治系统也是德国在工业 4.0、智能服务世界之后的下一个新的研究课题。

三、汉诺威工博会上的两个工业互联网流派

从图 2 中的数字化转型的三个发展阶段来看，工业互联网属于第二阶段以规模化和高效率推广为目标的综合性技术。从时间进程来看，对于企业和供应商各方来说都具有相当的紧迫性。目前，从企业应用软件的视角，笔者认为，业界需要正视事实存在的“两个工业互联网流派”，厘清在研发和推广过程中的差异，为广大中小企业给出可供实战的架构和路线，提高企业的参与意愿。

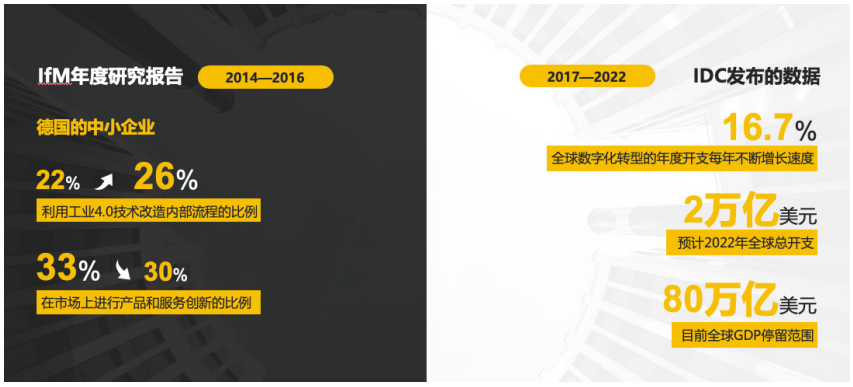


图 1：数字化转型的风险和投入

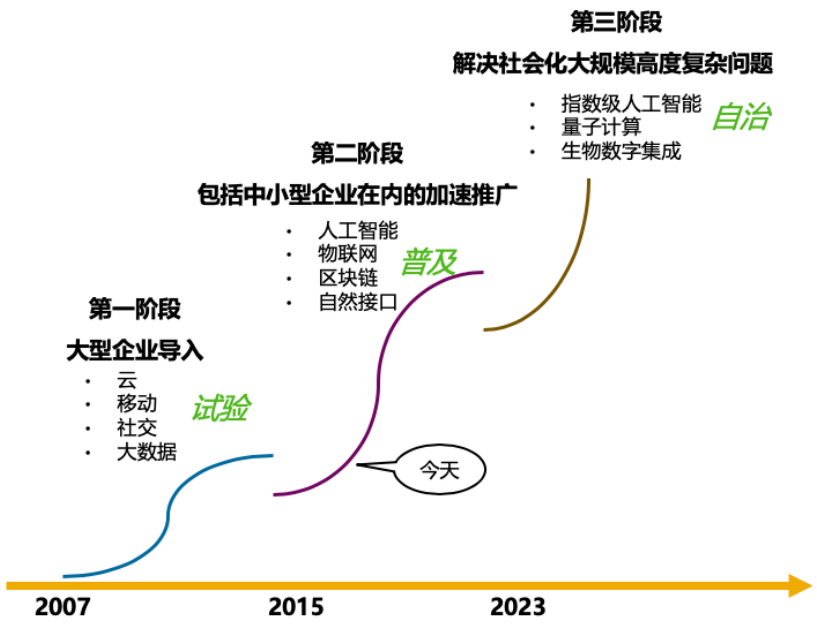


图 2：数字化转型的三个发展阶段

今天，国内外对工业互联网的解读，事实上有两个不同的版本或流派。这在2019年汉诺威工博会上，有着鲜明的反映。

第一个流派主要围绕工业大数据，特别是在设备管理和生产管理阶段，以“模型+深度数据分析”为代表的各类App为主的应用。在展会现场，很多国外的工业互联网平台应用，基本都属于这种类型。这些平台的背后，往往都是工业自动化厂商——如Siemens、ABB、Schneider、Festo等。我们姑且将它称为“工业自动化流派”。

第二个流派在前者的基础上，将ERP、CRM、HCM、SCM、PDM等传统的企业应用软件（下文统称为“增量部分”）都纳入到工业互联网平台应用的范畴，从而将工业互联网上升到“全生产要素连接”、“全产业链连接枢纽”的新高度。展会上的一些来自国内的工业互联网平台，如航天、海尔、徐工、三一等等，大多属于这一类型。他们所展示的平台功能，一部分与“工业自动化流派”的数据分析型App存在类似的地方，另一部分与以ERP、CRM为代表的传统的企业应用软件高度重合。这些厂商普遍将自己的产品定位为通用型平台，对外着重宣传跨行业的应用案例。由于中国企业在全球自动化领域实力较弱，因此这些平台的背景基本上都来自自动化领域以外的国内行业头部企业。实际上，以SAP为代表的企业应用软件厂商所推出的工业互联网平台，也属于这一类型。我们姑且将它称为“全生产要素流派”。

四、从支持企业建设和推广的角度，厘清两种流派的差异

尽管“工业自动化流派”和“全生产要素流派”涵盖的应用范围不同，但是它们目前在架构上却惊人地相似，但是，在应用系统开发的技术路线上，两者还是有一定的区别。

今天，以IaaS-PaaS-SaaS云计算为特征的三层划分方式，已经成为两种流派都普遍接受的技术架构。但是在开发技术路线上，还是存在差异。对于前者，目前的不少声音都认为需要走“软件解耦”以及“微服务”的技术路线，通过提高开发敏捷性来解决落地时的工业App之间的集成问题。但是对于后者的增量部分，也就是传统的企业应用软件部分，微服务仅用于一些与客户和员工相关的领域（如CRM、HCM等），而在其他领域尚未形成共识。目前后者主流的技术路线还是依靠套装软件的内部集成和跨中间件的软件集成。

事实上，经过数十年的发展，对于“全生产要素版”增量部分的这部分企业应用软件，市场上早已实现了充分竞争，达到了很高的商品化水平，形成了各自的生态系统。从20世纪90年代开始，企业应用软件商就启动了向SaaS的转型，并在2018年完成了全行业从本地独立部署向SaaS的转型。今天，一家典型的制造企业，所使用的这部分商品化企业应用软件的源代码总和，普遍可以达到数亿乃至十亿行规模的水平。而“工业自动化流派”的单个工业App，其核心算法的源代码行数，目前看来普遍在万行或数千行的规模。它们不仅尚未形成成熟的商品化能力，并且由于工业自动化领域本身的分散竞争格局，这些工业App分布在各个厂商的平台之上而难以整合。在悬殊的体量对比和现实因素的考虑之下，在可以预期的时间内，“工业自动化流派”所期待的传统企业应用软件“软件解耦”，并迁移到“工业自动化流派”平台上的预期，是不大可能发生的。两种流派的平台，将会长期共存。

面对两大不同的流派，企业在建设工业互联网的时候，在架构和技术路线上究竟应该如何做出选择呢？

五、案例：两种工业互联网流派的实战结合

刀具作为金属切削加工的工具，直接决定了机械制造产品的质量。德国精密刀具和加工解决方案的“隐形冠军”企业，同时也是一家中型家族企业——MAPAL（玛帕

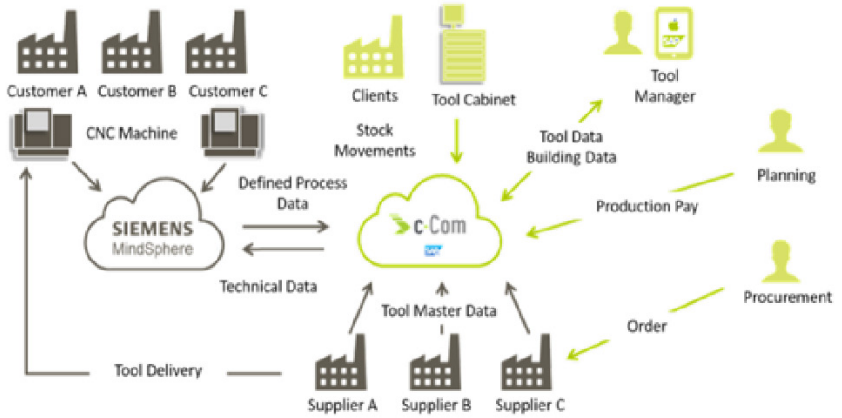


图 3：MAPAL 与 SAP 和 Siemens 合作打造工业互联网

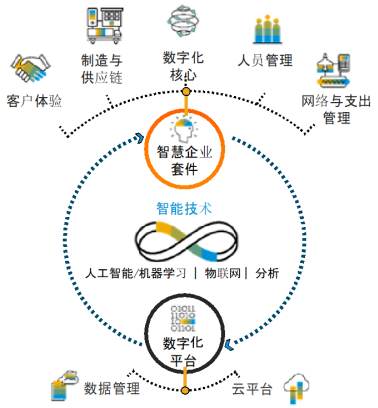


图 4：SAP 的智慧企业架构

刀具），通过与 SAP 和 Siemens 合作，打造自己的工业互联网的方案，代表了德国企业将两种流派结合的工业互联网技术路线。

对于 MAPAL 来说，它的客户普遍面临的一大挑战，是如何有效地管理围绕刀具在加工过程中搜集的数据，并帮助客户更好地进行刀具的管理。MAPAL 给出的解决方案是由 MAPLE 和客户一起来维护和使用通过物联网采集而来的刀具数据。MAPAL 在 SAP 的 PaaS 云平台上，将刀具所有的数据都整合进来——无论是刀具在切削过程的工艺数据，还是刀具自身的制造数据、材料数据——从而实现刀具全生命周期的数据管理。在此基础上，结合 MAPAL 对刀具使用寿命和磨损程度的理解，利用 SAP 现有的 SaaS 软件，以及在 SAP 的 PaaS 云平台上开发自己的工具，帮助客户管理自己的刀具库，优化采购流程，合理地设置刀具库存。为了帮助客户更容易地访问刀具数据和使用相关的 SaaS 软件，SAP 还与 Apple 合作，开发出了基于 IOS 的应用，进一步促进和加快客户刀具经理的工作。与此同时 MAPAL 还与 Siemens 合作，借助 Siemens Mindsphere，采集刀具在客户工作现场的技术数据，并将这些数据传递给 SAP 的云平台（图 3）。

事实上，MAPAL 自己在财务、人事、设计、采购、生产、销售、服务等内部领域，也都在使用 SAP 的系统。MAPAL 为客户提供的工业互联网，让 MAPAL 可以涵盖的业务范围，从 MAPAL 内部扩展到了使用 MAPAL 刀具的客户。那么，对于 MAPAL 来说，应该在怎样的一个架构下，规划自身对内的数字化和对外的工业互联网建设呢？

六、融入智慧企业体系下的工业互联网

智慧企业（Intelligent Enterprise）是 SAP 在 2018 年提出的企业的新一代数字化架构。它包括了五大 SaaS 领域——客户体验、制造与供应链、数字化核心、人员管理和网络与支出管理（它们统称为智慧企业套件，包含了一系列的 SaaS 应用），以及整合了数据管理和云平台的数字化平台（图 4）。智能技术（包括人工智能与机器学习、物联网和分析等）布置在智慧企业套件和数字化平台中。

显然，从业务的视角，无论是客户自身的业务功能（如 MAPAL 的财务、人事、设计、采购、生产、销售、服务），还是工业互联网的功能（在 MAPAL 的案例中，它的工业互联网的使用者既包括了客户，也包括 MAPAL 自己），都被整合到同一个智慧企业的架构中。在 2019 年的汉诺威工博会上，SAP 与 20 多家合作伙伴一起，同样在这个架构下，提供了从设计到运营 D20（Design to Operation）的工业互联网端到端应用。基于商品化软件实现的 D20 的出现，意味着工业 4.0 的进展又迈向了一个新的台阶。MT

隐形冠军，帮助中国制造企业转型升级

德国 MAKA 系统公司（MAKA Systems GmbH）中国区　吴昊阳

这些年中国资本的海外并购开展得如火如荼。本文希望通过对“隐形冠军企业”战略劣势的分析，梳理出并购这类企业的战略思路。

隐形冠军企业又叫“利基企业”，指的是具有全球性或区域性市场领袖地位的中小型企业。此类企业的产品不易被察觉且行事风格低调、社会知名度低，是各自细分领域全球范围内最优秀的企业。德国管理学家赫尔曼·西蒙在其著作《隐形冠军：谁是全球最优秀的公司》提出了“隐形冠军企业”的概念。

现在网上经常有人把“隐形冠军”和“行业龙头”甚至“行业巨头”混为一谈，同时将其吹得神乎其神。虽说可以博人眼球，有助于激发中国企业赶超列强之精神，但是缺乏操作性，这与中国家长用别人家孩子的“先进事迹”鼓励自家小孩努力读书的教育方式颇为相似。换做是我，首先会分析自己有没有相应的学霸基因，家族里有没有学术传统、资源和潜力，再观察自己的小孩是“牛娃”还是“普娃”（普通娃），有没有超过“别人家孩子”的希望。如果有希望或必须成为优等生以应付升学，那么就应该帮助孩子制定一套中长期且可操作的复习考学方案，而绝不仅仅是精神层面的鼓舞；如果孩子实在不争气，倒不如让他尽早步入社会，或发展家族企业，或迅速赚钱以后雇学霸为其打工。本文的意义就在于讨论分析：如何让发达国家的“学霸企业”给中国的“学渣公司”打工。

“隐形冠军企业”字面上包含了两个条件：一是“隐形”，即该公司并不为大众所熟知；二是“冠军”，即该公司要在本行业成为领袖。不同行业的“冠军”企业很多但未必“隐形”。为大众所熟知行业的“冠军企业”，通常叫做“行业领袖”或“领军企业”，做大的叫“行业巨头”，

把大多数企业都挤垮的叫“行业寡头”。“冠军企业”或有希望成为“冠军”的企业，存在于一个极具潜力的新兴市场，那么这个企业会被叫做“独角兽公司”。

所以“隐形冠军”、“行业巨头”或“独角兽公司”本质上都是一类拥有强劲竞争力的优秀企业，在一定条件下称谓会发生变化。本文仅专注于蜕变之前的“隐形冠军”。

一、诞生“隐形冠军企业”的土壤

很多人关心中国的制造企业，离隐形冠军还有多远，中国何时才会诞生大量的“隐形冠军企业”。我的回答是：不用着急，时间到了自然会有。

1.“隐形冠军”是市场竞争的必然结果

自由竞争的结果必然是资源向少数企业集中，最终剩下为数不多的行业寡头或一家垄断。如果行业垄断者处于一个相对狭小的且不为人熟知的领域，那么就可以称之为“隐形冠军”。简单讲，“隐形冠军企业”的出现是市场成熟的标志。

2. 工业品市场容易“隐形”，也容易产生隐形冠军

工业品市场需要典型的大客户营销。工业 / 企业客户对产品成本并不像大众消费者那样敏感，但对产品可靠性的要求较高。因此“隐形行业”的业务特点体现为专业性强，利润高，订单稳定，客户忠诚度高，技术门槛高。在这样的商业环境里，必然容易催生具有“工匠精神”的企业。因为，从原则上讲，只要技术过硬，质量过硬，即便价格贵一些，也绝对不会被客户抛弃。所以，“隐形冠军”企业往往具有专一的特性，绝不会盲目多元化。

3.“隐形冠军”是供应链优化的必然结果

当下游市场的竞争格局确定后，市场被少数几个行业巨头控制，那么这些行业巨头就会选择他们信任的供应商合作，而其他没有进入主流供应体系的企业就慢慢被挤出市场并逐渐消失。

越是工业体系成熟完善的工业国家，就会产生越多的隐形冠军企业。隐形冠军的诞生需要行业巨头的稳定。也就是说，只有当下游产品端市场稳定下来以后，中上游的细分市场才可能稳定，并逐渐形成清晰的利益格局，产生行业寡头，而这就是隐形冠军。如果下游市场还非常混乱，那么中游一定会充斥大量拼价格的中小供应商，以满足下游市场的低端生产商。例如，中国的手机代工市场除了有 iPhone，华为，小米这种正规的大品牌，还有大量远销非洲的“杂牌机”，那么在这种杂牌机生产商的加持下，低价的设备供应商和零部件供应商会过得不错。随着手机市场逐渐被几大巨头瓜分，原本为国产山寨机和杂牌组装机供货的上游供应商将越来越无法通过低质低价策略获得订单，它们逐渐失去市场的过程和中国手机零部件隐形冠军诞生的过程是一致的。

4.“隐形冠军”是市场细分的必然结果

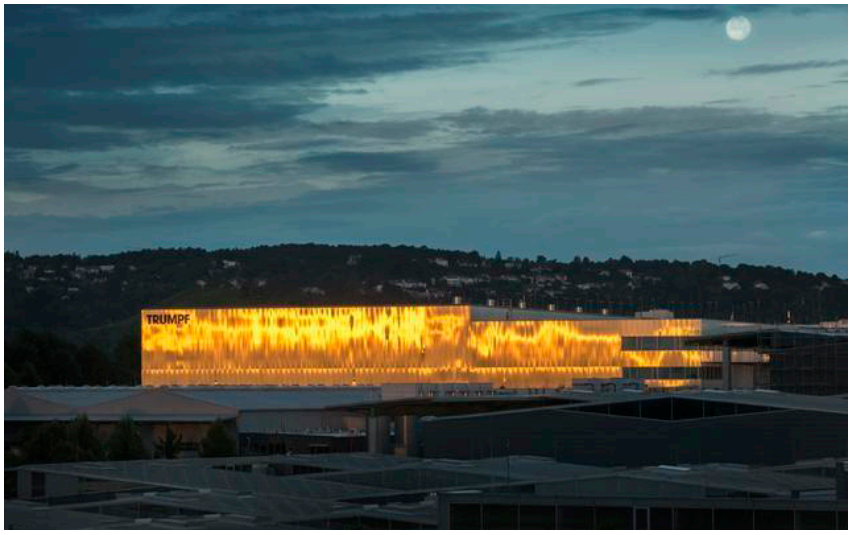
从理论上讲，只要市场分得足够细，那么每个细分市场都必然存在占据绝对优势的“隐形冠军”。在激烈的市场竞争中，总有一些企业会被边缘化，被迫退出主流市场，发现属于自己的“蓝海”，专注于细分市场。比如宾利和劳斯莱斯应该说在主流的汽车市场的竞争中落败，转而专注于奢侈品牌（赚大钱的公司绝不仅仅立足高端市场而是着眼于更广阔的中低端市场）。他们会深度挖掘超高端人群的特殊需求，开发出合适的产品。当然，细分市场的存在是行业成熟的结果，也是竞争的结果。

KUKA，ABB 是欧洲最大的两家工业机器人公司，其搬运，焊接和喷涂机器人占据了绝大多数市场。这两家企业的产品战略是使其产品系列能够最大程度覆盖到市场需求。例如 KUKA 一定要确保其搬运机器人最大允许载荷的领先性，以此作为藐视 Fanuc 的资本。而混迹于欧洲主流市

场的第三大机器人厂家是意大利的 COMAU，日子就一直半死不活。相比之下，在这个领域的非主流细分市场，充斥着大量的隐形冠军，这些企业凭借其独特的技术过得十分滋润。例如瑞士的 Staubli，专攻对防水防爆有特殊要求的场合，尽管订单数少，但是客户也没有其他选择，只得高价接受。而对于 KUKA 和 ABB 来说，投资研发类似机器人与 Staubli 竞争并无意义，因为这个细分市场就那么大。如果细分市场突然爆发，那么业内的主要玩家必然花巨资进入。例如，丹麦的 UR，专攻轻型机器人市场，之前主要应用在测量和科学试验中的人机配合，日子过得也很舒服，算是隐形冠军。但随着近年来人机配合成为一大热点，未来市场潜力不可限量，所以 KUKA，ABB，Staubli 都开发了自己的轻型机器人和双机配合方案，渴望在这个市场施展拳脚。所以面临巨头的竞争，UR 隐形冠军的地位也岌岌可危。其中明显的例子就是 KUKA 大概 5 年前刚推出轻型机器人的时候做了个机器人打乒乓球的广告，广告一出业界震惊：不管真实性能如何，气势上瞬间秒杀 UR。

5.“隐形冠军”是技术突破的必然结果

在技术革命以及随之而来的产业革命阶段，新成熟的技术和产品会催生出一批行业新贵。他们先是会快速成长为“隐形冠军”，在产业爆发期会崛起成为“行业巨头”，通过殖民地和全球化运动成长为“跨国集团”。发明了火花塞的博世，发明汽车的奔驰，改进了电报系统的西门子，大发明家爱迪生参与创建的通用电器，最早涉足芯片代工的台积电无不如此。这些都是技术先驱，他们成为“隐形冠军”，经过发展壮大之后变成“独角兽企业”以及行业巨头是自然而然的。



二、“隐形冠军”的“隐忧”

按产品形态，隐形冠军企业可以分为两大类：一是以元器件、耗材、零部件为主要产品，暂且称之为“I 型隐形冠军”；另一类是以设备、软件等生产工具为主要产品，不妨叫它“II 型隐形冠军”。

II 型隐形冠军的客户全部是工业客户，客户采购行为的实质是对生产资料的投资。对于生产型企业来说，产品量产后生产资料的固定成本摊销在每一个产品上就非常小，所以在成熟的制造业体系里，工厂更愿意采购性能稳定，维护成本低，但价格稍高的生产设备和工具。也正因如此，生产工具相关的行业特别容易出现隐形冠军。而德国和日本这两个机器生产大国恰恰都是隐形冠军大国。

大部分 I 型隐形冠军是产品零部件供应商（对民用细分市场的隐形冠军企业暂且不做讨论）。这类元器件、零部件和耗材体现在客户产品的变动成本里。一旦因某个零件出现问题，就可能造成大规模召回事件。这对企业的利润、声誉都会造成长期不可估量的影响。因此成熟稳健的工厂也自然会选择长期的合作伙伴，

要求其产品在高品质的前提下具有价格竞争力。

然而，隐形冠军企业并不稳定。如果把时间线拉长，隐形冠军都有两种宿命：一是从“隐形冠军”到行业巨头；二是从“隐形冠军”到消亡。

I 型隐形冠军非常容易做大，成为行业巨头，但也容易被新技术或新的竞争对手所取代；II 型隐形冠军通常难以做大，但是技术稳定性高，市场规模小，竞争者少，容易长期惬意生存。

1 .II 型隐形冠军（工具类）生存现状和发展预期

作为生产工具，其需求量与产品本身往往相差若干个数量级，而生产一种产品需要不同种类不同型号的工具。目前还没有出现“万能型生产技术”。因此细分市场众多，单个市场的规模有限，客户订单有限。这就决定了该行业存在数量巨大的“隐形冠军”，每个冠军都有自己的独门绝技。德国 Reichenbacher 公司专门为轻量化零件生产企业设计制造专用加工中心，这个能力是全球绝无仅有的。虽说机床巨头们也可以斥巨资开发新机型，但是都不能像 Reichenbacher 那样快速且低价开发专用设备。相对传统的金属加工，轻量化零件加工市场还非常小，所以机床集团巨头对这个市场也兴趣不大。所以 Reichenbacher 公司存在了将近 70 年一直没受到严重的竞争威胁，而一旦该行业快速膨胀，就难免与新入行的对手展开竞争。

该类型的隐形冠军企业尽管面临的竞争压力小，但由于订单量有限而金额高，所以现金流特别容易大起大落，对企业经营也是不小的挑战。再有，不管是设备还是软件开发，都需要大量的技术人员，所以该生产工具类隐形冠军企业都需要支付高昂的人员成本。因此老板的税后净利润通常不高，远不如做“大路货”的老板。“大路货”生产商可以通过设备投入提高生产效率，同时剥削劳工，因此能够获得大量的“剩余价值”，而 II 型隐形冠军企业主则没什么剩余价值可供剥削。

2 .I 型隐形冠军（产品类）生存现状和发展预期

订单主要来自下游企业客户。零部件、元器件和耗材的产量理论上一定是数倍于或高于最终产品若干个数量级。订单量巨大，因此现金流相对稳定。所以产品型隐形冠军往往是超大规模的制造商，属于资本和技术密集型企业，典型代表就是鸿海富士康和台积电。当然，这两个公司应该是“显性冠军”了。

在同样的技术平台上，容易开发出系列化产品，可跨行业发展。因此容易做大，也容易出现行业巨头。例如生产气动标准件的费思托（FESTO），其系列气动产品应用在各个工业领域，所以成长稳定。二十年前就是隐形冠军，十年前已经成为行业巨头。

对于走高端路线的 I 型隐形冠军来说，中低端的竞争者始终会威胁其生存，因此压力相对更大。典型的是汽车非关键性零部件供应商，如遮阳板、雨刷电机、天窗边框、玻璃等。传统欧洲供应商的地盘被中国厂商纷纷攻占。原因是当低端竞争者突破技术门槛后，就有能力通过大量的测试和改进提升产品的可靠性，使之接近甚至超过原有供应商。这时隐形冠军就会位置难保，其根本原因是技术门槛上升空间有限，原行业领跑者无法持续为竞争者设置门槛。例如，汽车遮阳板就算做出花来也就是那么个带镜子的塑料片，一旦竞争对手能够在相近的质量要求下提供更具优势的价格，那么车厂必然选择更换供应商。

除了突破技术门槛的竞争对手，对 I 型隐形冠军企业最大的威胁在于颠覆性技术的出现，这将给这类企业带来灭顶之灾。比如电动车替代传统内燃机汽车，车厂不见得倒闭，但是小排量发动机相关的产业会倒掉一批；再比如平板手机的兴起也消灭了一批做薄膜按键的隐形冠军。产品型隐形冠军的成功和失败都在于其技术的“专一性”和“独特性”，

所以脱离实际背景和前提条件，讲制造企业应如何如何绝对是站着说话不腰疼的高谈阔论。

对于处于高端 / 奢侈品市场隐形冠军企业来说，尽管其品牌技术处于绝对优势，但由于难以开发出低价产品，难以在主流中端市场立足，因此这类企业通常会被大型集团收编整合。

可见，隐形冠军在成为“独角兽企业”或行业巨头之前，是一直存在软肋的。

三、隐形冠军并非必不可少

隐形冠军企业多并不一定意味着这个国家的制造业 / 工业实力强，也绝不意味着该国可以运用隐形冠军企业的“制造力”提升国家的竞争力和综合国力。中国没有太多隐形冠军企业，但可以将低端的钢材产能在整个欧亚大陆大兴土木，修桥梁铺铁路，用“制造力”提升全球影响力；尽管中国的大飞机的很多关键部件来自德国和日本，但飞机技术平台需要极强的技术集成能力，中国通过这个平台培养的企业和技术团队将远超德日。所以对于中国这种世界性大国来说，培育终端产品制造巨头（如高铁，大飞机）要比培育隐形冠军企业重要。换句话说，先解决最终产品的有无问题，再解决零部件供应问题。

1. 国家实力表现在大型工程和高端产品上

例如，俄罗斯极度缺乏隐形冠军，但是能造出优秀的战斗机，而日本却不能。因为隐形冠军并不能代表一个制造行业的最高水平，终端产品（特别是高复杂度产品）的研发和生产才是最复杂，考虑问题最多，对技术集成能力和综合运用能力要求最高的工作。

德国和日本虽然生产隐形冠军，但是这两个国家都被限制进行军事科技研发，因此在诸如航空航天和武器系统这类复杂度极高的产品开发上屡屡被掣肘，使之永远无法拥有自己的高复杂度产品平台，制造业进一步升级的通路相当于被盟友锁死了。尽管我们经常说日本和德国有很强的军事科技潜力，但是经过几十年对其军工技术投入的封锁，德日两国的航空航天及核物理等前沿学科的优势已经被赶超且后继无人。所以德国和日本只可能在制造业列强的第二梯队。

2. 能带来大量外汇和税收收入的是现金流稳定的中低端产品

也就是说，制造企业一味地走高端路线未必就是正确的。中低端市场才是稳定的现金流源泉。对于中国制造业来说，稳扎稳打走中低端路线，稳步积累财富，稳步升级才是正道。尽管 QQ 和法拉利相比差距十万八千里。但是 QQ 的年产值远超法拉利。正是那些中低端产品的生产商创造了最大的社会价值。而行业巨头是可以利用资本优势将隐形冠军收入囊中的。就像十几年前大众汽车一口气收了法拉利、兰博基尼、布加迪威龙等好几个跑车品牌，走亲民路线的中国制造也完全可以大举并购高端市场的制造企业。

四、为什么德国和日本盛产隐形冠军

本文避免各类精神和文化传承，德国和日本这两个战败国产生大量隐形冠军企业是有历史必然性的。因为二者都不被允许把科技运用在军事和宇航产业，因此只能成为大国工业体系的附庸。例如，美国的高端制造业把主要精力放在军工、航空、航天等领域，它们从德国和日本的“隐形冠军”企业采购设备和高品质零部件，将其造成武器，再高价卖给北约、中东和亚洲盟国。这种军工产品创造的价值远高于隐形冠军提供的产品。再比如，欧盟的空客飞机绝对是超高附加值工业产品，但飞机部件的生产主要在西班牙，总装在法国，发动机在英国，德国只能喝汤；而战斗机和航空发动机的生产主要在意大利，法国和英国，德国仅承担了生产和装配相关的设备的活（当然，也有部分直升机和卫星的项目）。

可见，德国和日本的制造业相当程度上从属于西方制造业大国的工业体系。美国的臭鼬工厂完全用不着担心某一天德国或日本拒绝向其供应高精度加工中心；但中国的航发车间却随时对能否买到西方的设备提心吊胆，因此才会有“保军”的要求，才会急于在各个领域突破西方的技术封锁。也正因如此，才会羡慕日本和德国拥有数目众多的“隐形冠军”企业。

五、中国企业并购隐形冠军的可行性和策略

中国不易强求拥有隐形冠军企业，主要精力仍然应放在具有前瞻性的重大项目上。很多技术目前掌握在少数“隐形冠军”手中，那么就应该考虑并购这些企业。如果是事关军工航天等敏感项目而无法并购，那么就集中精力进行技术攻坚。

如果日本和德国失去隐形冠军优势，则必将沦为二流国家，公民生活质量将大幅下降。这种情况下，两国将考虑在产业格局上进行突破，或将其科技力量重新运用到军事领域。

所以不只是美国，全世界的主要制造强国都对“中国制造2025”心存忌惮。因为中国制造一旦彻底崛起势必全盘通吃。届时在中美制造争霸的大背景下，德国和日本这两个缺乏制造业大格局的经济体或将彻底沦为二流国家。所以中国至少应该团结欧洲制造的力量，保留其绝大多数隐形冠军的地位，绝不能以取而代之为终极目的。

应该说现在是中国投资者大举并购欧洲隐形冠军的绝佳时期：通常隐形冠军企业规模小，并购成本低，技术独特且领先。但是在第四次工业革命大背景下，隐形冠军也在寻求转型升级，而转型期间很多冠军企业的日子也并不好过，企业主面临经营压力。此外欧洲的高福利导致青年人排斥理工学科，很多制造业家族企业子女拒绝接班，因此家族管理者纷纷寻求股份制重组。再有，并购特定行业的隐形冠军不易引起注意，政府干预的可能性最低，成功几率也最大。

但中国很多相关产业缺失，特别是缺乏与II型工具类隐形冠军相关的成熟产业，因此也就缺乏相应的战略投资者。而资本又大都无法深刻理解技术的优势，缺乏技术整合能力和技术应用的想象力（或想象力过于丰富）。

中国企业或资本若收购隐形冠军企业，首先须将最终目标定为：将隐形冠军培育成行业巨头，高端产品继续在本土生产，中低端国产，稳定现金流，优化产品线结构。尽管隐形冠军企业通常很强，但是只有做到足够大，才能提高抗风险能力。其次，用老板的心态收购，而不是作为竞争对手收购，不以“偷师”的心态获取技术。好比高薪雇了个学霸给自己打工，作为老板并不是激发学霸的工作积极性，而是天天琢磨学霸的工作方法希望有一天自己可以取而代之，这不是很荒唐的事吗？更重要的是，当越来越多的被中国人收购的隐形冠军失去了原有的竞争力，那么势必给后续其他中方投资人的并购造成麻烦。大概在20年前，国家队机床集团大举收购欧洲机床公司，但最终的整合效果都很差，其根本原因在于被并购企业的技术团队拒绝分享技术经验，大量核心技术人员离职。例如当年中资收购Coburg机床时，大量优秀工程师跳槽到同城另一家机床企业Hamuel，以至于Hamuel在接下来的十几年里迅速崛起成为全球高精度航空发动机叶片加工设备的行业龙头。

并购隐形冠军并非为了“赶超”，也没必要赶超，而真正需要“赶超”的技术也绝对无法通过并购实现。所以说并购隐形冠军的终极目标应该是：利用其技术平台和技术资源最大限度地融入到全球高端制造的供应体系。

六、小结

日本在失去的20年里，尽管本土GDP没发生多大的增长，但通过海外投资在日本之外再造了2.5个日本。如今，中国企业当效仿之。MT

能源充裕时代下美国制造业加速振兴行动计划（上）

美国国家竞争力委员会

【编者按】本文为美国国家竞争力委员会2019年年初发布的报告，为美国政府提供决策支撑，以确保美国在全球竞争转型期继续保持其在全球经济中的领先竞争力。本刊全文翻译刊登，为国内相关从业者提供启示。

美国在21世纪面临着巨大挑战和更加有利的战略机遇，美国亟需建设一个由更安全、更可持续、更廉价的能源组合，和正在复兴的稳定且敏捷的先进制造业双重驱动的创新驱动型经济体。

而美国能否在全球竞争转型期继续保持其在全球经济中的领先竞争能力，取决于美国政府是否能够制定更加大胆、合作性的政策方案，来充分发挥美国全面创新生态系统的优势——由产业、学术、人才和国家实验室为主所构成的全面创新生态系统，正是美国国家生产力进步和繁荣富强的核心支撑。

前言

随着美国在能源和制造领域探索经济机遇的两大法案获得成功，美国竞争力委员会（Council on Competitiveness）的执行委员提议执行一项新计划，整合两大政策流，并确定一系列推荐措施，以确保美国在获取多样化能源组合和复兴先进制造业潜力两方面的领导力。支持这项工作的委员会成员中有非常多的领导者都愿意迎接挑战，其中联合主席有：威斯康星大学麦迪逊分校（University of Wisconsin, Madison）校长，丽贝卡·布兰克（Rebecca Blank）；美国爱克斯龙电力公司（Exelon Corporation）总裁兼首席执行官，克里斯多弗·克兰（Christopher Crane）；惠而浦集团（Whirlpool Corporation）董事长，杰夫·费蒂格（Jeff Fettig）；劳伦斯利佛摩国家实验室（Lawrence Livermore National Laboratory）主任，威廉·H·戈德斯坦恩（William H. Goldstein）博士；以及卡内基梅隆大学（Carnegie Mellon University）前任校长，苏布拉·苏雷什（Subra Suresh）。

美国竞争力委员会的所有成员和员工奉行委员会增强美国生产力、提高全美人民生活水平和扩张全球市场的使命，力求不断打破政策常规，寻找可能影响美国繁荣发展的新因素。本报告深挖能源和制造领域中的干扰因素，为决策者提供路线图，从而使美国能够保持领先地位，捕获新技术带来的价值，并促进人民长期繁荣。这项工作的政策基础，将成为今年年末启动创新与竞争力前沿国家委员会（National Commission on Innovation and Competitiveness Frontiers）的关键突破口。

非常感谢委员会的成员、员

工以及数百名专家在百忙之中抽出时间进行参与指导，确保本报告内容的真实性和影响力。

来自联合主席们的一封信

2004 年，委员会发起了一项“创新美国”的全国运动，助力通过《美国竞争法案》（America COMPETES Act），使美国重新致力于在新兴技术领域的创造力、企业家精神和全球领导力。五年后，我们宣称“能源就是一切”，采用更广泛的能源资源组合驱动美国创新。2012 年，委员会围绕复兴新兴先进制造业及其对全美经济活力的关键作用，发起了一项美国制造业运动。

如今，美国已经进入了一个全新领域，该领域的形成得益于国内充裕的廉价能源所带来的巨大机遇，颠覆性创新技术的广泛应用，以及超级计算机、3D 打印机和未来生物制造工艺等强大工具的使用。而委员会再一次起到了引领作用。

通过本报告，我们很高兴能够与大家分享能源与制造业竞争伙伴关系项目（EMCP）的重大发现和相关建议。在由来自产业、学术、人才和国家实验室的领导者所组成的最高管理层指导委员会的领导下，300 余位专家和从业者相聚 EMCP，评估能源和制造业带来的经济机遇，同时制定加速美国制造业复兴的国家政策议程。在指导委员会诸多成员的指导下，EMCP 并未将美国的多元化产业布局作为一个单一庞大的体系处理，而是将其作为一个由各个独特而又相互依赖的领域所组成的网络来处理，每个领域都面临着属于自己的机遇和挑战。

通过对生命科学、先进材料、水资源、农业、能源和航空航天六大不同领域的研究，EMCP 探索了跨领域因素是如何在各个领域中发挥作用的，确认了形成每个领域的独立因素，同时评估了贯穿整个经济体的共同主线。其中一条跨越各个领域的主线就是网络安全的前景和隐患。在指导委员会的指导下，采用相互关联却又各自独立的政策为网络安全制定国家议程，并提供相关报告。

重要的是，本报告提出了从研究投资到监管实验再到教育创新的具体行动路线图，号召经济体中所有利益相关者，参与并利用当前形势所创造的重大机遇，进一步促进国家生产力进步和繁荣富强。

展望未来，EMCP 的成果将为创新与竞争力前沿国家委员会的创立奠定重要基础。该委员会将于今年年末正式启动，继续竞争力委员会的思想领导地位，打破政策封套，从而捕获新兴技术的经济发展潜力和美国不断发展变化的创新生态系统。

感谢私营和公共部门领导者和专家的支持和贡献，期待我们携手共建更加繁荣、更加富强、更加安全的美国。

一、执行纲要

两个多世纪以来，美国工业利用国家充裕的自然资源、能源、人才和智慧，来推动世界上最具生产力的经济体的发展，释放该经济体的活力。

由全球化、经济衰退、监管和税收趋势、横跨欧亚的愈加先进的工业活动以及消费者需求的加速转变所带来的剧烈变化，冲击了美国的工业和制造业企业，威胁着美国全球超级大国的地位。然而今天，相继出现两次重大转型也为美国开拓了前景广阔的全新领域：

• 一代先进和高产的制造能力在美国重新崛起；

• 创新、可持续、经济型的国内能源愈加充裕。

为抓住两大转型相继出现这一重大机遇，美国竞争力委员会在 2015 年启动了能源与制造业竞争伙伴关系项目（EMCP），该项目充分利用了十余年来美国在能源和制造领域的领导地位：从 2003 年的国家创新启动计划（NII）开始，一直到最近的能源安全、创新和可持续性计划（ESIS，2007-2009）、美国制造业竞争力计划（USMCI，2010-2011）和美国能源与制造业竞争伙伴关系项目（2012-2016）。EMCP 作为由最高管理层指导的项目，聚焦于不断变化的全球能源

和制造业格局，以及能源转型和能源需求如何影响着对美国繁荣和安全来说十分关键的行业。

三年来，委员会执行的宏伟路线图，将全国的重点放在能源转型和制造业转型的交叉点上。面对制造业巨大的创新和不断变化的格局，从 3D 打印到传感器的广泛使用，以及先进建模和仿真工具的应用，EMCP 旨在将美国的多样化产业布局，作为一个由各个独特而又相互依赖的生产领域所组成的网络来处理，每个领域都面临着属于自己的机遇和挑战。通过指导委员会的成员在全国进行的一系列领域研究，EMCP 确定了经济体关键领域中能源制造业面对的突出问题和挑战。寻求私营部门、学术界、科研社区、非政府组织和政府六大领域领导者的投入，对每个领域的研究均探讨了决策者巩固竞争力相关的技术、人才、投资和基础设施等关键因素的方式。

从某个角度来说，这些领域研究描绘出美国经济体黯淡的前景。

• 美国深受过时监管基础设施和物理基础设施的困扰，该等基础设施从材料到航空航天，再到其他领域，已然跟不上创新的步伐。

• 没有明确、统一的研究议程来指导资金匮乏的研发工作，限制了生物科学等关键领域的进步潜力。

• 科学认知问题只能通过提高科学素养解决。

• 随着劳动力人口结构的转变，技术缺口不断扩大并将持续恶化。

• 并且，这些问题在美国国内出现的同时，随着世界上其他国家在投资强大创新生态系统上的优势显现，全球竞争愈加激烈。

但是，美国也并不是没有优势。美国的创新者——行业领军人物、杰出的科学家和工程师，以及日常生活中的天才——以突破性技术、产品和服务继承美国 150 年来重塑整个行业、市场和世界的传统。数百家知名研究机构和国家实验室，使美国保持处于知识创造领域的最前列和颠覆性技术的最尖端。美国风险投资激发的企业家精神、冒险和创新等文化在全球无与伦比。此外，美国从能源依赖到能源充裕的转变，也带来了前所未有的希望。

在很多情况下，明智的政策和实践可以发挥美国的这些优势，推动制造业快速发展，将技术商业化提升至新高度，从而促进美国经济的增长，并创造更多的就业机会。开发新一代的物理和监管基础设施，支持国家先进的能源和制造业企业，为美国经济的繁荣和竞争能力打下基础。随着美国重申其在知识创造领域及其终端应用方面的领导力，无论是加速创新和生产经济的设想，还是具体实施，都将提高行业生产力。此外，在先进制造经济中，提升美国工人的能力和潜力，将在接下来的十年里使基于先进技术的经济为美国家庭提供更高报酬的工作。

委员会针对水资源和制造业、先进材料、生命科学、农业和消费用水、能源和航空航天各领域分别举办领域研究对话，其中所讨论的重要挑战、机遇和建议，以及委员会就美国网络安全的三个方面进行对话所得出的结论，是构成本报告的基础，也是委员会号召大家行动起来的基础。

本报告中的建议，以及其中包含的十多年来的工作成果，可以提高美国的制造能力，加强美国的竞争力，并为美国人民带来新一轮的生产力增长、经济繁荣和经济复苏。

行动号召

鉴于十余年来在能源和制造业政策领域的工作成果成为了美国生产力、经济繁荣和安全的关键动力，美国竞争力委员会于 2015 年启动了能源与制造业竞争伙伴关系项目（EMCP）。在由来自产业、学术、人才和国家实验室的领导者所组成的最高管理层的领导下，EMCP 并未将美国的多元化产业布局作为一个单一庞大的体系处理，而是将其作为一个由各个独特而又

相互依赖的领域所组成的网络来处理，每个领域都面临着属于自己的机遇和挑战。

通过对六大领域的研究，EMCP 探索了跨领域因素是如何在各个领域中发挥作用的，确认了形成每个领域的独立因素，同时评估了贯穿整个经济体的共同挑战和机遇，其中最显著的就是网络安全，已经在全国进行的三次区域性对话中进行了深入探讨。

基于委员会长达十年的领导力和 EMCP 的成果，行动号召包括一项国家政策议程，旨在增强美国未来能源和制造业竞争力。如果该议程得以实施，则会加速美国制造业的复兴，促进国家经济繁荣，并造福所有美国人民。

一、开发新一代的物理和监管基础设施，支持国家的先进能源和制造业企业

1. 创建现代使能监管基础设施，紧跟创新步伐，刺激经济增长。

1.1 鼓励国家和当地政府继续试行新的监管框架，对自动驾驶汽车、新一代核能等颠覆性技术进行测试和评估。

1.2 审查联邦法规，避免冗余，确保政府和其他实体能够灵活地创建和执行创新监管模式，并探索先进能源和制造业企业所需的新技术。

1.3 始终遵守第 13771 号行政命令，要求在新法规可以发布之前，经过严格的成本 / 收益分析，应删除两项法规。

2. 打破传统的基础设施增量更新，采用创新性和前瞻性的方法，刺激商品、服务和人员的流动。

2.1 大幅度增加联邦政府和州政府在美国基础设施方面的投资，对经济所依赖的道路、机场、铁路和水系进行修复和现代化建设。

2.2 将一定比例的联邦基础设施资金，用于那些利用新一代技术实现跨越式发展的示范项目，避免当前“有补丁才修复”的模式所造成的基础设施支出。

2.3 行业和当地政府建立合作关系，发展并提出创新型基础设施模式，以支持新一代的能源和运输计划。

3. 带领美国的能源市场基础设施和监管生态系统迈进 21 世纪。

3.1 通过建立良好的监管环境，确保为基础核研究提供足够的资金，以及加大对工程级核项目的支持，确保美国在核技术方面的领导力和投资。

3.2 通过对各州规范的改革，实现电网现代化，加速实现公共事业老旧设备的更新换代。

3.3 通过提高速率，使公用事业收回一定比例的研发投资，从而促进在公用事业领域的创新。

二、激发从创意到实施的创新与生产全过程驱动的经济活力

4. 重新确立美国在知识创造领域的领导力，更合理地调整科研力度，以应对国家和世界面临的巨大挑战。

4.1 以持续、可预估的比率加大联邦政府对各机构研发领域的投资，总体目标是占 GDP 的 1%。

4.2 在总统科学顾问的指导下，将国家研究议程和工业面临的巨大挑战保持一致，按照对经济和社会的影响力，确定颠覆性技术的优先顺序。

5. 通过支持和加速先进技术在美国的发展，捕获研究投资价值。

5.1 增加联邦政府和州政府对区域性技术测试平台的支持，例如各美国制造（Manufacturing USA）机构。

5.2 通过简化知识产权协议，将行业协作视为晋升和任期内决策的一部分，并明确产业与国家实验室的合作符合各自的使命，来刺激国家实验室、大学和企业之间的技术转让和合作关系。

5.3 关闭私营企业融资的死亡之谷，以促进创业公司的发展。

6. 利用物联网并确保物联网的安全，推动工业生产力。

6.1 针对能源和水的使用，通过税收抵免和其他机制，鼓励国家和当地的公私部门设施采用传感器和监控设备。

6.2 鼓励更多地吸纳和采用规范化标准，例如 UL 网络安全保障计划，以提高供应链的安全性。

6.3 电网应用的所有新技术都要满足公认的安全标准，建立网络弹性。

7. 从数据海啸中洞察趋势并挖掘价值。

创建针对众包数据的联邦验证系统，提升各领域知识数据库的有效性和有用性。

三、激活美国工人全面参与建设先进制造业经济的动力和潜力

8. 发展劳动力，使其能够在今后十年的超连接、跨学科、以先进技术为基础的经济中获得成功。

8.1 将工艺美术编程等技术培训融入到中小学教育中，为全美人民的技术理解力奠定更好的基础。

8.2 加强大学和毕业生之间的长期联系，提供终生学习机会。

8.3 举行多方利益相关者参与的公共意识活动，提高科学素养。

9. 促进行业与中高等教育机构间的大力合作、互动和交流，促成合作并突出就业机会。

9.1 减少州和教育机构的障碍，让更多的实践者走进教室，激励下一代的先进制造业工人。

9.2 鼓励行业与教育机构合作，让实践者能够与接受中小学以及高等教育的学生合作学习。

10. 实施美国竞争力委员会的国家网络议程

二、"舞台"准备

纵观历史，国家竞争力核心的生产力和繁荣的巨大飞跃都经历了新工艺、材料和技术的出现、适应和采用阶段。创新，发明与洞察力的交叉点，创建社会和经济价值，是全球经济发展的生命线，也是这些趋势的催化剂。创新深植美国的基因中。自美国诞生起，探索、机遇和发现，新的开始，向前沿进发——基本上就一直是美国的代名词。

早在 2007 年，当委员会通过其能源安全、创新和可持续性计划开始对能源和制造业的关系进行探索时，世界看上去就焕然一新了。由于世界人口的增长、快速发展的经济、不断改善的全球生活水平，以及对越来越依赖于能源的技术的急速使用，能源消耗呈指数式增长。为了满足能源需求，美国愈加依赖于进口，成为其贸易赤字的一个主要因素，占比超过 45%，每年购买外国石油的支出为 4390 亿美元。同时，对来自外国的天然气和石油的依赖，也给美国的国家和经济安全带来了极大的挑战，私营领域的领导者们开始认识到了可持续发展的必要性，并开始向低碳世界过渡。

今天，相继出现两次重大转型也为美国开拓了前景广阔的全新领域：

- 一代先进和高产的制造能力在美国重新崛起；
- 创新、可持续、经济型的国内能源愈加充裕。

当今和未来数十年，有能力利用这些重大变革对于美国的竞争力至关重要。

1. 制造业引擎

美国的制造业仍然是国家研发的主要动力，是国内科学和工程专业毕业生的最大雇主，也是整个经济体技术创新的核心催化剂。制造业对于美国经济繁荣和未来的全球竞争力来说仍是关键。这一领域约占美国 GDP 的 11.6%，除间接提供 540 多万个工作机会外，还直接雇佣了 1200 万人。如图 1 所示，且委员会的《制造》报告中明确指出，制造业提供的工作不再是脏兮兮、不体面、危险而又快要被淘汰的工作，而是美国制造业复兴前沿的高科技、高薪的抢手工作。该领域创造就业机会的成效，体现在美国近几年来逐渐下降的失业率。2010 年，失业率从 8.6% 降

到 5%，创造 2100 万个就业岗位才能达到如此成效。今天，美国的失业率维持在 4% 左右，这主要得益于美国制造业的发展。除了创造大量的就业机会以外，在制成品的最终销售中，制造业每销售一美元，就为其他领域增加了 1.34 美元的输出，这是每个领域最大的乘数。

2. 生产转型

今天，美国制造业正处于关键时期。自 2000 年起，影响深远的颠覆性转型席卷美国，2001 年至 2014 年间，6 万多家美国工厂和企业倒闭，多达 500 万个制造业工作岗位流失。

然而，尤其是在经济大衰退后，经济开始向美国方向回摆。国外的工资水平正在上涨，例如，中国的人工成本从 2004 到 2016 年间翻了四倍多。页岩油和天然气的繁荣为很多美国生产者带来了关键的成本优势。同时，根据与德勤共同研究的《全球制造业竞争力指数》来看，业界高管将美国的竞争力排在全球第二，仅次于中国，而且在过去的十年中呈上升趋势。

同时，美国制造业正处于不断发展的数字颠覆中。通过传感器、网络、增材制造和数据海啸，多个维度的真实和虚拟世界整合在一起。对自然、人造和社会环境的感知和计算，正在以空前的规模、复杂性和速度生成数据。

仅在生产中，企业就能够更加了解每台机器和设备的运行、每个刀片的切割、材料的每一次运送以及每分钟的能源消耗。采用先进计算技术通过建模和仿真进行虚拟设计，将加速创新和产品的开发，同时大大减少成本，并降低风险。

自主系统发展迅猛。工厂引进无人机、无人驾驶汽车等应用示例，可检测问题并采取应对措施，使机械装置和系统适应不断变化的条件。一场生产力革命正在酝酿。投资智能制造业可以节约成本，提高生产力，使全球 GDP 在接下来的 15 年增加 10-15 万亿美元，这几乎相当于整个美国经济体的水平。

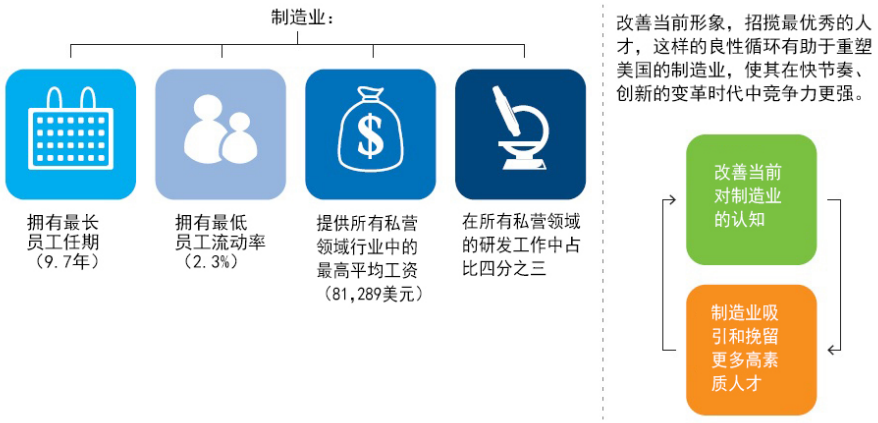


图 1：解决制造业技术缺口：分享好消息，吸引和挽留顶级人才
来源：德勤和美国制造业协会。《展望未来：现代制造商如何在美国公众面前创建积极的形象》

3. 能源与经济增长分道扬镳

有趣的是，美国经济增长速度加快，并没有导致能源消耗增加。自 2008 年以来，即使在 GDP 增长了 15.3% 的情况下，一次能源的使用还是减少了 1.7%（见图 2）。经济增长并未导致能源消耗相应增加，这种情况的出现顺应了过去 20 余年间美国将两者分离开来的长期趋势。从 1950 到 1990 年，电力需求的年平均增长率为 5.9%。但在 1990-2007 年间，电力需求出现了巨大转变，年增长率下降到 1.9%。而在 2007 年之后，美国的电力需求缩减，年平均增长率仅为 0.2%。2017 年，美国 GDP 增长了 15.3%，而能源使用减少了 1.7%。

经济增长与能源使用之所以分道扬镳，存在各种因素，例如：能源生产率的增长，即以少做多，使用更少的能源产生更多的经济价值，提高生活水平并改善生活质量。为了响应总统的行动号召，承认能源生产率对美国竞争力的重要性，委员会于 2014 年与美

国能源部及节能联盟合作，发起了一系列公众对话和高管圆桌会议，旨在于提高公众意识，激发公众支持，并为实现美国能源生产率到2030年翻一番制定策略。最终发布了《加速能源生产率2030：美国能源创新、经济增长和竞争力的战略路线图》，其中提出了实现能源生产率显著增长的规划，通过该项规划和相关的工作，现在已经在很大程度上实现了能源生产率的增长。

削弱经济增长和能源利用关联性的另一个因素是节能技术、工艺和实践的增加。这种转型很大程度上是由于低成本天然气的使用，在为最终应用提供能量方面，天然气的效率是电能的三倍，且其作为美国制造业使用的总能量的一部分，一直呈指数式增长。事实上，2015年，天然气在工业领域消耗的全部能量中占比近40%，比2006年提高了约10个百分点。

4. 不断变化的能源构成

在历史上，美国工业用电的价格一直是世界上最实惠的国家之一，在七国集团（G7）中仅次于加拿大，排名第二。虽然由于汇率的变化，在中国、日本和墨西哥使用能源的成本有所降低，但美国的用电价格几乎只有日本和德国的一半，所以能源成本仍具有竞争力。随着美国的能源构成继续转变，不再像之前那样依赖于化石燃料，企业、州政府以及联邦政府也越来越大力推动能源转型，要求使用清洁能源，并寻求通过提高能源效率来获取收益。

同时，由于能源种类越来越多，以及环境的不稳定性、极端的气候现象和挥发性，所以使用传统煤和天然气作为能源的电网面临巨大压力。美国先进制造业需要可靠、适应力强、多样且灵活的能源构成，以提高能源效率，把握对新技术的投资机遇，这些技术能够惠及美国人民、满足国家安全需求，并且使美国企业具备全球竞争优势。

5. 从缺乏到充裕

在能源使用与经济增长分道扬镳的同时，2017年，美国每个月的天然气出口量使其第一次成为了净出口国，而不是进口国（见图3），稳固了其作为全球液化天然气出口国的地位。这主要是因为用于燃气发电的天然气总量下降了7.2%，国内天然气需求同比下降2.8%。而且在能源效率提高的同时，国外对液化天然气的需求增多，所以最终使美国成为了天然气净出口国。现在，美国

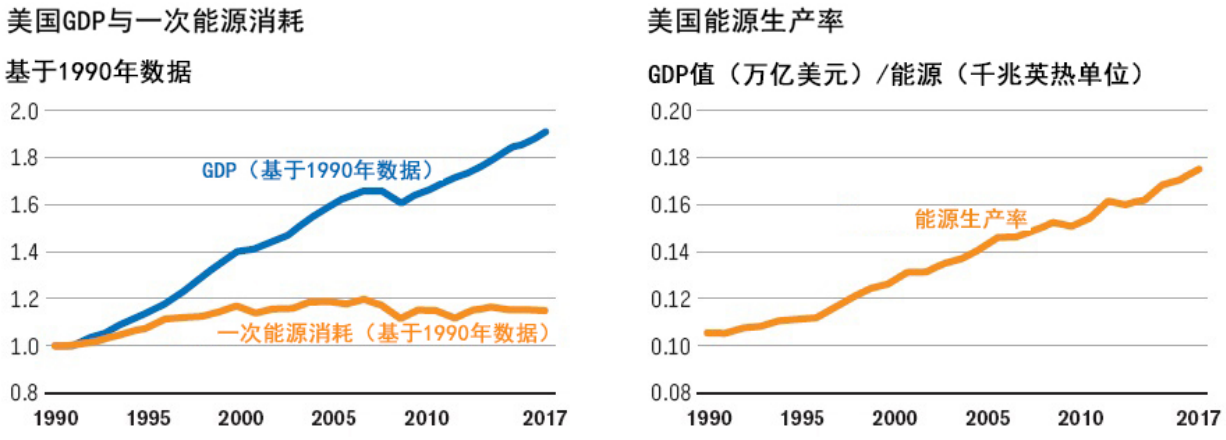


图2　2018年以来，美国一次能源消耗情况
来源：美国经济分析局、美国能源信息管理局（EIA）、劳伦斯伯克利国家实验室、彭博新能源财经（BNEF）。

向 25 个国家出口液化天然气，主要进口国是墨西哥、韩国、中国和日本。

但天然气只是美国能源问题的一个方面。例如，核能也是能源领域非常重要的一方面，它可以提供清洁、可用的能源替代品。在过去的三十年里，核电站的发电能力从 60% 增加到超过 90%。虽然增长幅度惊人，但是管控壁垒阻碍了核工业潜力的充分爆发。美国核能研究所（NEI）最近进行的一项研究发现，自 1950 年起，为能源行业实行的所有经济鼓励措施，包括税收政策、法规、研发、市场活动、政府服务和支出，其中超过 90% 用于石油、天然气、水能、太阳能、风能和生物能。在过去的 20 年里，政府通过研发项目支持核能的发展，而联邦政府在煤和可再生能源研发方面的支出远超过了为核工业提供的资金。仅仅在最近六年间（2011-2016），可再生能源在鼓励措施方面所获得的联邦援助就是核能的 27 倍。维持美国在核技术和创新领域的领导地位，对于提高美国在全球能源市场的经济竞争力必不可少。

美国将基于全国空前的竞争资产制定一项全面的公共和私营领域策略，以此充分利用在能源和制造业的转型，“舞台”已准备好。在 21 世纪构架下的美国拥有创业企业发展和扩大所需的高技能劳动力和可用资本，有可能成为新一波生产力和繁荣浪潮的催化剂，迎接低碳世界的到来。

三、十年领军能源和制造业

EMCP 项目的创建是基于并结合委员会十余年来在能源和制造业领域所做的努力，包括最近发布的能源安全、创新和可持续性计划（ESIS，2007-2009）、美国制造业竞争力计划（USMCI，2010-2011）和美国能源与制造业竞争伙伴关系项目（2012-2016）。

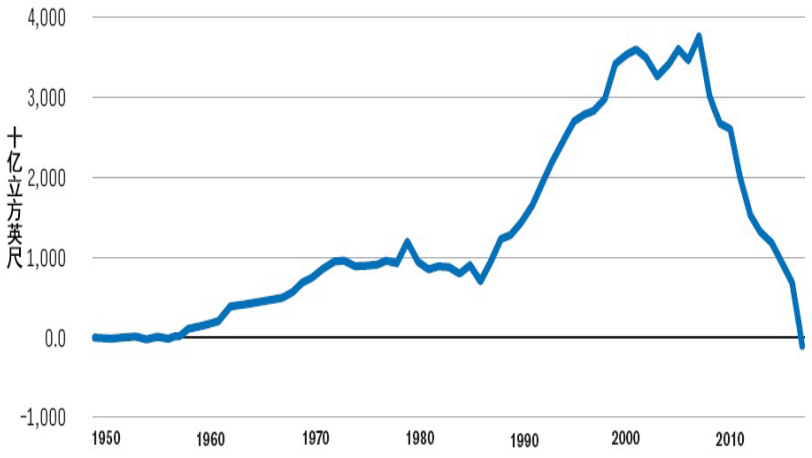


图 3：美国天然气进口量
来源：美国能源信息管理局

美国和全球经济受到技术、人口和金融等因素的冲击，以上每项计划都试图引领其不断发展的潮流。2008 年的目标是能源安全，而不是能源独立，利率接近于零，且人工智能等技术对经济的潜在影响力是理论上的，而非量化的。美国现在是能源出口国，面对充分就业和日益加剧的通货膨胀，联邦储备提高了利率，人工智能（AI）预计会成为一个价值万亿美元的产业。委员会的政策措施也相应进行了调整。

1. 能源安全、创新和可持续性计划（ESIS）

2007 年 7 月，委员会启动了 ESIS 计划，承认能源安全、创新和可持续性三个议题之间的关键联系及其对未来美国生产力、生活水平和全球市场准入的深远影响。该项计划源于委员会 2004 年国家创新启动计划（NII）中发布的一个具有开创性意义的报告——《创新美国》。NII 认为能源安全是将要面临的重大挑战，如果这个问题不解决，就会在未来的数年间逐渐削弱美国的竞争力。

经过一年多的调查和实时研究分析工作，期待 2008 年在

管理上有所改变，因此委员会于2008年9月发布了《重点发展：美国第44任总统的百日能源行动计划》（《重点发展》）。计划中明确了美国能源转型的六大“支柱”以及总统执政后要采取的首要行动：

• 设定能源效率的全球标准；

• 确保获取清洁且具有竞争力的能源；

• 快速启动对能源基础设施的投资；

• 鼓励技术突破和创业；

• 调动世界一流的能源劳动力资源；

• 清除全国传输的超级高速公路的障碍。

当时，委员会强调对于确保美国在推动其人才、产业和经济竞争力发展的同时，以可持续的方式实现能源安全的共同承诺，《重点发展》中建议的行动计划只是一个开始，并不是结束。

随后，委员会在华盛顿特区举办的2009国家能源峰会上发布了《驱动：实现安全、可持续和具有竞争力能源的全面路线图》（《驱动》）。基于《重点发展》中的能源行动计划，《驱动》为美国在低碳世界中的能源转型、可持续性和竞争力提出了接下来的一套综合建议模块（见表1）。《驱动》中的建议力图开创一个美国创新的新时代，创建新行业，复兴和重建全国各地的制造业就业机会，为这一代和下一代保留和增加高技能的工作岗位，并为所有美国人民加速经济繁荣。

《重点发展》和《驱动》中阐述了在世界范围内成功开发和部署大规模可持续能源解决方案所必须满足的先决条件。此外，《驱动》在基于六大支柱的全面路线图中，还提出了具体的建议，如果这些建议得以实施，将会一箭三雕，同时实现提升美国经济竞争力、增强国家安全和改善全球环境。

2. 美国制造业竞争力计划

基于国家创新启动计划（NII），委员会还确定，制造业对于保持和提升美国创新能力至关重要。2010年6月，委员会启动了美国制造业竞争力计划（USMCI），就确保美国制造业获得长期成功所必需的政策和实践，开始了新一轮的对话。两年多来，这项计划确定了关键研究、创新和政策趋势，该等趋势有助于振兴美国先进多产的国内高价值制造领域。

3. 国家创新启动计划

国家创新启动计划（NII）于2003年启动，是全国各行各业数百位领导者多年来致力于优化美国社会整体的努力成果，目的在于创造这样一个未来：创新是影响繁荣的最关键因素。

2004年，来自世界各地的500多位领导者出席了在华盛顿特区举办的全国创新峰会，委员会在会上发表了具有里程碑意义的报告：《创新美国：在充满挑战和变化的世界中实现繁荣》。

《创新美国》中将创新定义为发明和洞察力的交叉点，可以创造社会和经济价值，并呼吁美国“要么创新要么退位”。报告中提出的开创性议程包括60多项按人才、投资和基础设施三个创新平台分组的详细建议（表2）。

2007年8月，时任总统乔治·W·布什（George W. Bush）根据《创新美国》和委员会在NII中所做的工作签署了《美国竞争法案》。

表1.《重点发展》和《驱动》中的建议

《重点发展》支柱	《驱动》建议
1. 设定能源效率的全球标准	采取能源效率补助措施
2. 确保获取清洁且具有竞争力的能源	全面使用，价格合理
3. 快速启动对能源基础设施和制造业的投资	利用增长，实现投资
4. 全国传输的超级高速公路和智能电网	快速与智能建设
5. 鼓励技术突破和创业	发现未来，打破技术壁垒
6. 调动世界一流的能源劳动力资源	缩小技能差距，培养人才

NII将和《美国竞争法案》一起，在接下来的15年里巩固委员会政策的领导地位，形成本报告所依据的基础。

（1）能源安全、创新和可持续性计划。

由卡特彼勒公司（Caterpillar, Inc.）前董事长兼首席执行官詹姆斯·欧文斯（James Owens）、全美公用事业工会（Utility Workers Union of America）全国主席迈克尔·朗格弗德（D. Michael Langford）及伦斯勒理工学院（Rensselaer Polytechnic Institute）校长雪莉·安·杰克逊（Shirley Ann Jackson）主导的能源安全、创新和可持续性计划，与产业、学术和人才携手，向私营领域和2008大选中即将就任的总统呈现出一幅未来的美国能源发展蓝图。

（2）国家创新启动计划。

由IBM公司（IBM Corporation）董事长兼首席执行官萨缪尔·J·帕拉米萨诺（Samuel J. Palmisano）和佐治亚理工学院（Georgia Institute of Technology）校长杰拉尔德·韦恩·克拉夫（G. Wayne Clough）博士共同发起的国家创新启动计划，是一项已通过多种方式付诸实施的国家创新议程，并且为乔治·W·布什总统在2007年签署《美国竞争法案》提供了支持。

（3）美国制造业竞争力计划。

美国制造业竞争力计划作为美国制造业复兴运动的先锋，在麻省理工学院（MIT）前校长苏珊·霍克菲尔德（Susan Hockfield）博士、劳伦斯利佛摩国家实验室前主任乔治·米勒（George Miller）博士以及德勤会计师事务所（Deloitte LLP）前首席执行官杰姆斯·奎励杰（James Quigley）的引领下，制定了一项宏大议程以促进美国制造业的发展，并继续为制造业提供由白宫及其他机构制定的公共政策信息。

美国制造业竞争力计划（USMCI）在《制造：一场美国制造业运动》报告中达到了顶峰。该报告明确了关键趋势，提供了通过制造业加强美国竞争力、生活水平和国家安全的解决方案。报告中针对美国制造业面临的以下五项重要挑战提出了一项全面计划：

- 促进创新和生产经济从启动到规模化发展；
- 扩大美国出口，减少贸易逆差，增加市场准入，应对国外政府对本国生产者的保护措施；
- 利用美国人才的力量和潜力在未来的技能竞赛中获胜；
- 通过智能创新和制造业获取新一代的生产力；
- 凭借新一代的供应网络和先进的物流及基础设施创造竞争优势。

行动号召：五大挑战和解决方案制造一场美国制造业运动

1. **挑战：**促进创新和生产经济从启动到规模化发展。

解决方案：实施财政改革、税法变革、降低监管和其他结构成本，并创造就业机会。

2. **挑战：**扩大美国出口，减少贸易逆差，增加市场准入，应对国外政府对本国生产者的保护措施。

解决方案：利用多边论坛；达成新的协议；促进知识产权（IP）保护、标准和出口控制机制，增加高价值投资和出口。

3. **挑战：**利用美国人才的力量和潜力在未来的技能竞赛中获胜。

表2.《创新美国》中提出的三个创新平台的建议

人才	投资	基础设施
创建国家创新教育战略，培养多样化、创新且经过技术培训的人才	振兴前沿研究和多学科研究	就创新增长战略达成国家共识
激发新一代的美国创新者	振兴创业型经济	创建21世纪知识产权制度
使工人在全球经济中获得成功	鼓励冒险和长期投资	加强美国制造能力
		建造21世纪创新基础设施——医疗试验台

解决方案：培养新一代的创新者、研究者和技术工人。

4. 挑战：通过智能创新和制造业获取新一代的生产力。

解决方案：创建全国先进的制造业集群、网络和合作伙伴关系；优先考虑研发投资；部署新工具、新技术和新基础设施；加速新产品和服务的商业化。

5. 挑战：凭借新一代的供应网络和先进的物流及基础设施创造竞争优势。

解决方案：发展和部署智能、可持续且稳定的能源、运输、生产和网络基础设施。

作为USMCI措施的一部分，委员会与德勤共同创建了全球制造业竞争力指数（GMCI），它汇集了世界上400多位高级制造业管理者的见解。GMCI于2010年首次实施，在2013年和2016年再次实施，结果显示为了在快速发展的全球制造业格局中取得成功，企业需采用针对性的方法来获取制造业竞争力的某些关键元素，包括：保证人才是重中之重；采用先进技术获取竞争优势；利用生态系统合作的优势打破传统界限；在全球企业中制定一个平衡的方法；以及培养智能的公私战略合作伙伴关系。

2016年最引人注目的是，受访者第一次预测美国到2020年将在全球制造业竞争力指数（GMCI）中占据首位，而中国作为2010年、2013年和2016年的制造业竞争力排名第一的国家，由于向更高价值的制造业转变和针对日益增长的材料和劳动力成本的调整，竞争力降到了第二位。这对美国和世界的竞争力产生了重大影响。

《点燃1.0》到《点燃3.0》（Ignite 1.0-3.0）系列报告是委员会与德勤的另一项合作成果，它继承了最初的GMCI。这个多方访谈式的项目汇集了首席执行官、大学校长、国家实验室主任和人才领袖们对制造业竞争力的见解，并在一些领域中，将这些不同的观点转化为具体措施，以振兴美国制造业。该系列报告的一些关键发现，迄今为止还在为委员会的工作提供信息，包括：基础设施建设对于创造就业机会和竞争力的关键性；解决不确定性问题和鼓励商业发展对政府政策的需求性；制造业对于美国在全球市场中的竞争能力的重要性；以及优秀人才作为美国竞争力关键因素的作用。

4. 美国能源与制造业竞争伙伴关系项目

2009年以前，国家能源对话围绕着长期存在的能源安全挑战和短缺问题的解决方法进行，并以此为基调。到2013年，对话基调有所改变，围绕能源充裕和优势展开，开始强调紧紧抓住新兴能源的增长机会，转变美国工业基础和就业前景。

在这个背景下，委员会与美国能源部的能源效率和可再生能源办公室启动了美国能源与制造业竞争（AMEC）伙伴关系项目（图4），以通过一项多年计划实现两个主要目标。AMEC伙伴关系项目确定一些方法来实现以下目标：

- 通过对利用美国竞争优势并克服竞争劣势的技术进行战略投资，增强美国在生产清洁能源产品方面的竞争力；
- 美国制造商通过提高能源效率、采用热电联供和充分利用低成本国内能源提升其竞争力，对于能实现这些目标的技术和实践进行战略投资，可以提高能源生产率，从而全面增强美国制造业竞争力。

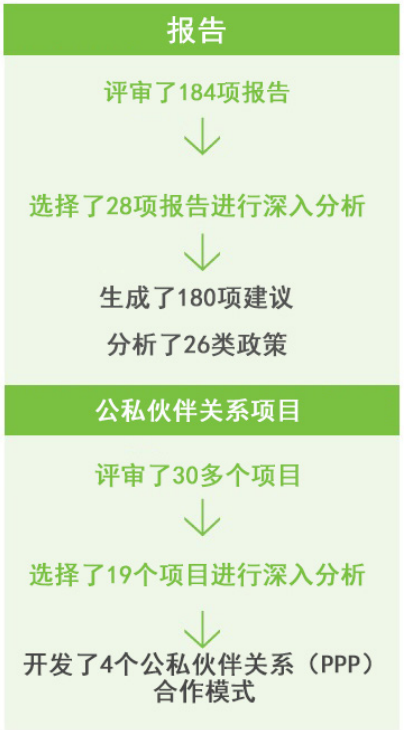


图4 AMEC伙伴关系项目基础

在3年的时间里，AMEC伙伴关系项目举办了9次区域对话和4次全国峰会，得到了来自于产业、学术界、国家实验室和政府对于提升美国在制造清洁能源产品、能源效率产品和先进制造业产品方面的竞争力的独到见解。AMEC伙伴关系项目的最显著成就包括：

• 创立制造业高性能计算项目，这是供国家实验室使用的一项价值高达300万美元的项目，可以将美国制造商与国家实验室的一流计算研发技术结合，解决美国制造业面临的重大挑战；

• 在国家可再生能源实验室创建清洁能源制造业分析中心；

• 发起全新的“驻地技术专家”项目，加强美国清洁能源制造业的竞争力，提升国家实验室的商业影响力。

委员会感到自豪的是，在制造业政策和创新方面取得的主要成就，是来源于委员会的思想领导地位和主张，包括《美国竞争法案》、《美国制造》（原《国家制造业创新网络》的卓越中心），以及国家数字工程与制造联盟（NDEMC），它强调的是先进计算对于区域的重要性。每项措施都汇聚了商界、政府和学术界的努力，激发美国几代制造业在创新能力、创造工作机会和促进繁荣方面的潜力，以此应对巨大的技术挑战。

四、能源与制造业竞争伙伴关系项目（EMCP）

2007年，能源安全、创新和可持续性计划（ESIS）启动会上，委员会公开表示：“能源成本明显影响着美国的竞争力。然而不仅如此。在国家竞争力的背景下，为维持美国的能源现状而造成的经济损失，以及结束这种现状所带来的潜在益处，没有得到充分体现或传达。”美国曾经梦想的能源实力和能源独立如今已在掌握之中，这对美国在全球范围内的政治、战略和经济领导地位有着巨大影响。

基于ESIS计划的承诺，委员会的美国制造业竞争力计划（USMCI）确定了关键研究、创新和政策趋势，该等趋势有助于振兴美国先进多产的国内高价值制造领域，制造业是能源技术研究和开发的关键驱动力和受益方。

美国能源与制造业竞争（AEMC）伙伴关系项目与USMCI利用对话、峰会和建立公私伙伴关系等方式来确认和提出建议，从而提高美国在制造业能源技术方面的竞争力，并通过增加能源生产率夯实其基础。

委员会及其成员通过ESIS计划、USCMI、AEMC伙伴关系项目和近30年来做出的许多其他努力，对美国能源消耗方式的结构性转变做出了巨大贡献，能源强度稳定不变甚至有所下降，而欧洲和亚洲竞争者的能源强度却在上升，同时，如果正确的政策落实到位，也对制造业如何利用能源充裕来创造竞争优势的结构性转变功不可没。

美国经济和社会结构的两大领域——制造业和能源——紧密关联。美国在全球经济中竞争、重组中产阶级以及管理自然资源和环境需求的能力，有赖于协调、深思熟虑的政策解决方案，这些方案根据美国的创新生态体系、劳动力、技术，以及商业和决策团体制定。

1.EMCP项目研究方法

2015年3月3日，在由得克萨斯大学奥斯汀分校(University of Texas at Austin) 前任校长威廉·鲍尔斯（William Powers）博士主持的会议上，委员会正式启动了能源与制造业竞争伙伴关系项目（EMCP）。来自产业、学术界、国家实验室和劳动部门的40位高管和专家进行的最高管理层对话，加速了私营部门所做的努力——深化理解能源和制造业两股力量的融合对美国长期生产力和繁荣必不可少。

EMCP旨在将美国的多样化产业布局，作为一个由各个独特而又相互依赖的生产领域所组成的网络来处理，每个领域都面临着属于自己的机遇和挑战。通过指

导委员会的成员在全国进行的一系列领域研究（图 5），EMCP 确定了经济体关键领域中能源制造业面对的突出问题和挑战。寻求私营部门、学术界、科研社区、非政府组织和政府六大领域领导者的投入，对每个领域的研究，均探讨了委员会的跨领域竞争力因素——技术、人才、投资和基础设施——所面临的挑战和机遇。

竞争力因素

技术

• 在提高美国制造业生产力和竞争力方面，能源充裕和创新发挥了什么样的作用？对于制造商来说，什么样的创新正在发生，

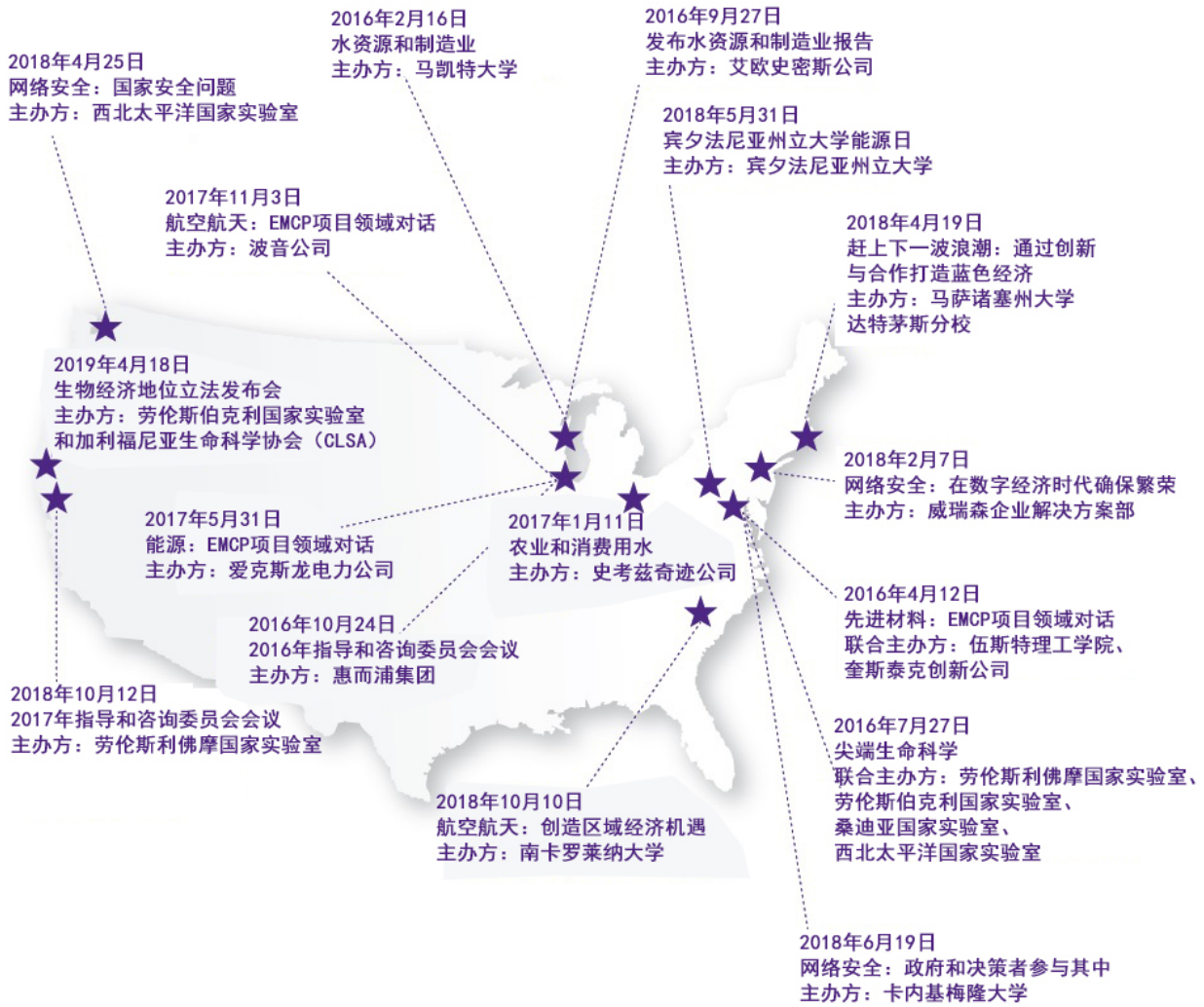


图 5：EMCP 项目对话和活动

或者说急需什么的创新以利用天然气、可再生能源和节能技术，从而提高其在全球市场的竞争力？

• 新能源技术需求是如何影响国内技术制造业的创新、工艺性和商业前景的？

• 能源和技术监管制度是如何影响美国制造业在这些领域的竞争力前景的？什么样的法规和政策干预可以提高创新力，加速能源技术的开发和部署并提高产业能源生产率？

人才

• 何种技术将定义 21 世纪能源和制造经济？私营领域如何与教育工作者和学生沟通需求？

• 国内何种技能短缺和人才缺口阻碍了美国充分发挥新能源经济潜力的能力？

• 为保证这些领域中稳健的人才渠道和国内劳动力，必须设立哪些正规、可选择和持续的教育平台？

投资

• 随着美国从“能源弱国”到“能源强国”的转变，如今能源格局中的结构性转变如何改变国内外制造商的决策过程和竞争力对策？为应对新能源技术、产品和服务不断增长的需求，美国制造商做出何种投资？

• 能源密集型的经济领域中处于竞争劣势的领域如何体现出美国能源充裕？

• 各个领域中的技术专家、企业家和厂商在商业化前景技术及其市场规模部署方面面临什么样的困难？投资群体必须建立什么样的体系、机制和知识转移系统来捕获美国技术创新并将其在国内普及开来？

基础设施

• 为充分利用美国不断增长的能源优势和创新生态系统，必须投资哪些基础设施（物理、教育、金融及其他方面）？

• 在努力激发国家所有能源潜力，及其后续竞争力的背景下，如何将决策者和国家商业、研究和劳动群体联合起来，以解决阻碍国家能源基础设施（包括管道、电网及新技术部署）扩建的冲突？

共同面临的挑战和机遇，揭示了针对各个领域的关键政策漏洞和建议，此外，还有以下这些同等重要的个别领域：

（1）水资源和制造业。

2016 年 2 月，委员会启动了区域领域研究的第一阶段，其对话主题聚焦水资源和制造业，大会由马凯特大学（Marquette University）校长迈克尔·洛弗尔（Michael Lovell）博士和艾欧史密斯公司（A. O. Smith Corporation）董事长兼首席执行官阿吉塔·拉金德拉（Ajita Rajendra）共同主持。第一次对话在密尔沃基市的马凯特大学举行，水资源和制造业内的 50 余名专家汇聚此次对话活动，确定了美国在水资源、能源和制造业面临的共同挑战和机遇。2016 年 9 月，在由威斯康星州密尔沃基市的艾欧史密斯公司举办的新闻发布会上，发布了《杠杆作用：水资源和制造业》报告。

（2）先进材料。

2016 年 4 月 12 日对话活动于华盛顿特区委员会办公室举办，由伍斯特理工学院（Worcester Polytechnic Institute）校长劳里·勒斯辛（Laurie Leshin）博士与奎斯泰克创新公司（QuesTek Innovations, LLC）董事长阿齐兹·阿斯法哈尼（Aziz Asphahani）博士共同主持，对话聚焦为加速由发现到制造的落实转变，先进材料在设计、生产和规模化方面所面临的挑战和机遇。2016 年 10 月，来自业内、学术界和国家实验室的重要决策者和代表出席了在美国国会山举办的发布会，会上发布了《杠杆作用：先进材料》报告。

（3）尖端生命科学。

2016 年 7 月，EMCP 项目成员齐聚一堂，就在可持续能源、化学工程、农业和食品生产方面驱动美国创新的生物科学的作用进行了对话。对话的第二天在美国国会山举办了发布会，会上来自西北太平洋国家实验室和劳伦斯伯克利国家实验室的代表与立法者就生物科学技术的应用进行了对话。

委员会坚持在此领域做出更多努力，于 2017 年 7 月国会山举办的一场众多人士参加的大会上，发布了 EMCP 项目的第四份报告——《杠杆作用：尖端生命科学》。发布会上发言人强调了美国在生物科学领域处于领导地位的重要性，众议院议员兰迪·赫尔特格伦（Randy Hultgren，伊利诺伊州第 14 选举区选出）呼吁在美国实行科学领导两党两院制。这些努力一直持续到 2018，委员会在州议会之前前往萨克拉门托市展示其重要发现。

（4）农业和消费用水。

2017 年 1 月，委员会启动了领域研究的第二阶段，并就农业和消费用水进行了对话。对话在俄亥俄州马里斯维尔市史考兹奇迹公司（Scotts Miracle-Gro Company）总部进行，由该公司董事长兼首席执行官吉姆·黑格多恩（JamesHagedorn）和孟山都公司（MonsantoCompany）董事长兼首席执行官休·格兰特（Hugh Grant）联合主持。《杠杆作用：农业和消费用水》报告，于世界水日当天在佛罗里达由史考兹奇迹公司主持的活动上发布，并在华盛顿特区国务院的美国水资源伙伴关系年度会议上进行了发布。

（5）能源。

2017 年 5 月，委员会在伊利诺伊州芝加哥市召集 30 余名专家探讨美国能源领域的竞争力问题，会议由 EMCP 行业联合主席、美国爱克斯龙电力公司董事长兼首席执行官克里斯多弗·克兰，携手阿贡国家实验室（Argonne National Laboratory）主任保罗·卡恩斯（Paul Kearns）博士及宾夕法尼亚州立大学（Penn State University）校长埃里克·巴隆（EricBarron）博士共同主持。《杠杆作用：能源》报告，于 2018 年 5 月 31 日在宾夕法尼亚州宾夕法尼亚州立大学举办的能源日大会上发表，将为委员会未来在能源和制造业及其他领域的工作提供信息。

（6）航空航天。

2017 年 11 月，EMCP 项目重返芝加哥市，就航空航天领域的竞争力进行了对话，大会由波音公司（Boeing）首席技术官兼工程、测试与技术高级副总裁格雷格·海斯洛普（Greg Hyslop）博士，联合南卡罗莱纳大学（Universityof South Carolina）校长哈里斯·帕斯蒂兹（Harris Pastides）博士一同主持。2018 年 10 月南卡罗莱纳航空航天大会与博览会上，最后一篇报告《杠杆作用：航空航天》发布。

（7）网络安全。

2018 年 2 月，委员会启动网络安全国家议程制定工作，由西北太平洋国家实验室主任史蒂文·阿什比（Steven Ashby）博士，威瑞森通信（Verizon Communications）旗下部门威瑞森企业解决方案（Verizon Enterprise Solutions）的高级副总裁兼集团总裁乔治·费舍尔（George Fischer）先生及卡内基梅隆大学（Carnegie Mellon University）校长法南姆·贾哈尼恩（Farnam Jahanian）博士联合主持。联合主席共同主持的三次对话均基于产业、学术界、政府和国家实验室的实践者和决策者的专业知识，为美国网络安全国家议程提供信息支持。MT

（未完待续）

2019 智能制造十大科技进展

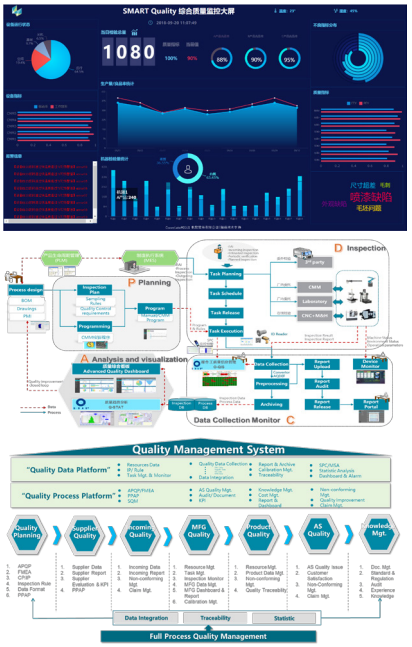
国际智能制造联盟（筹） 中国科协智能制造学会联合体

世界智能制造十大科技进展

（排名不分先后）

数据驱动的智慧质量信息化管理系统

Data Driven Smart Quality Information Management System



入选理由

海克斯康智慧质量管理系统贯穿产品设计、工艺、制造到检验，将“质量数据管理”与“质量过程管理”联动，实现质量数据价值的最大化。使用该系统，企业可实现：（1）质量 BOM（通过质量数据标准，建立产品全生命周期的电子质量档案）；（2）通过 MBD 集成技术实现与工艺设计与质量数据的打通，实现基于 CAD 图形的测量和质量分析；（3）使用质量大数据分析引擎；（4）建立质量知识库；（5）实现产品全生命周期质量追溯。

关键词

质量 BOM，质量数据，质量过程，产品全生命周期，MBD

智能制造 FA 解决方案包 iQ Monozukuri

Intelligent Manufacturing FA Solution Package–iQ Monozukuri

入选理由

三菱电机在融合了 e-F@ctory Alliance 合作伙伴成果的基础上，推出了三菱智能制造 FA 解决方案包 iQ Monozukuri。该方案包将日本精益生产与 FA 设备结合，将前人的丰富经验与自动化产品结合，帮助客户快速导入智能制造系统。通过可编程控制器与人机界面的组合，iQ Monozukuri 帮助不同规模的客户，使其人工单元生产线上的

工作人员能够使用正确的方法安装正确的零部件。随着该过程中安装程序标准化，企业得以大幅缩短新人培训工时和熟练时间，并实现人工组装工作零错误。

关键词

智能制造，精益生产，快速部署

流程行业集成价值链优化技术的统一运营中心

Unified Operations Center with Value-chain Optimization for Process Plants

入选理由

AVEVA 统一运营中心方案以 AVEVA System Platform 为基础，应用历经验证的模板和运营关键指标，全面整合来自生产、工艺、工程、维护和财务的数据。结合价值链评价分析和优化技术，支持企业构建从原材料评价、生产调度到分销网络的统一运营模型，帮助运营团队基于准确的实时信息做出优化决策。目前，已有客户集团企业基于本方案实现 16 家运营子公司业务的监控与互联，实现运营可视化与更快速的决策，并基于价值链优化在每个生产周期节约 8000 万美元的成本。

关键词

统一运营，价值链优化，流程工厂，运营可视化，决策支持

新一代人工智能技术引领下的云制造系统

Cloud Manufacturing System Driven by the New-Generation AI

入选理由

在航天科工集团旗下航天云网公司的带领下，科研人员提出新一代人工智能技术引领下的云制造系统，并成功研发系统“原型”。同时开发了新型智能制造云服务平台 INDICS+CMSS 及边缘计算机等产品集群，构建“国际云”、“公有云”、“专有云”，并成功应用在航空航天、通用设备制造等领域。

关键词

云制造，新一代人工智能，智能制造系统，制造资源 / 能力 / 产品云服务平台，工业 APP

“智能 +5G”大规模定制测试验证平台

Test and Verification Platform Based on "Intelligent+5G" for Mass Customization Production

入选理由

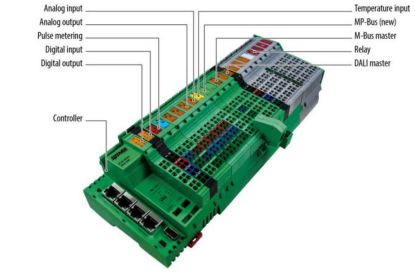
海尔工业智能研究院打造的“智能 +5G”大规模定制测试验证平台，以大规模定制模式为核心，承载全流程、全价值链和产品全生命周期的生产展示和技术验证功能。平台以 5G+MEC 边缘计算为网络基础，选取增强现实及机器视觉等 7 类场景为主要上层应用，形成端到端的 5G 智慧工厂整体解决方案。该平台为企业的新技术应用提供了先行先试的机会，大幅降低试错成本，缩短建厂周期，大幅提升企业在工业互联网领域的设备物联和平台 APP 的部署效率。目前已有 45 项经过测试的 5G 应用在工厂落地，并形成产品和解决方案在行业内快速复制和推广。

关键词

智能 +5G，大规模定制，智能制造，测试验证

基于物联网的 Emalytics 智能楼宇能效管理系统

IoT-based Emalytics Intelligent Building Energy Efficiency Management System



入选理由

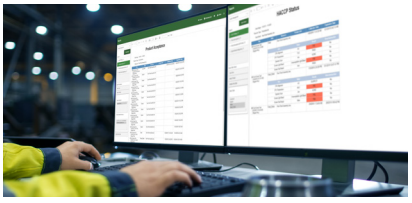
菲尼克斯电气的 Emalytics 智能楼宇能效管理系统及 ILC 2050 BI 智能楼宇控制器，是一套基于物联网技术的智能工厂楼宇系统能效管理解决方案，有效打通现代智能工厂能耗系统的各个环节，并基于物联网技术的最新技术为工厂运作带来更多管理手段的延伸。该系统关注为工厂提供舒适环境的公共设施系统，将这些系统与生产环节有效结合，优化能耗，以此提高整个智能工厂的可靠性和可用性，延长各个系统的生命使用周期，实现预防性维护并降低管控维护成本。

关键词

智能楼宇自动管理系统，能源管理及优化，节能工艺算法包，工业级工厂控制器，预防性维护

让信息触手可及的 Factory Talk Innovation Suite

Factory Talk Innovation Suite, Actionable Information at the Fingertips



入选理由

Rockwell（罗克韦尔）Factory Talk Innovation Suite 把物联网平台、机器学习和分析、MES 系统及增强现实场景化体验等整合到一个平台中，最大限度地契合制造业的应用需求，帮助企业消除在连接、数据分析和生产方面的痛点。该系统可帮助企业实现实时生产和性能监控、实施预测性和措施性维护、完成数字工作指令、集成设备 / 机器分析，从而让企业随时掌握工厂中发生的一切，在问题发生前预见问题、解决问题，精简集成整个企业的信息收集及分析流程。

关键词

物联网，机器学习，数据分析

基于数字孪生的控制柜智能制造一体化平台

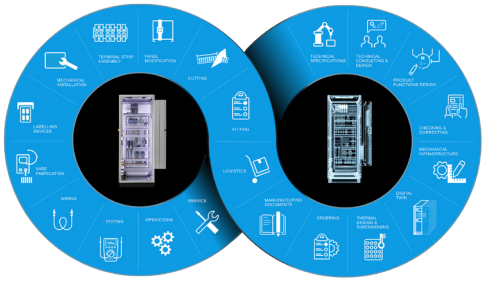
Control Cabinet Intelligent Manufacturing Integrated Platform Based on Digital Twins

入选理由

易盼软件与威图公司联手打造的、基于数字孪生的控制柜智能制造一体化平台，采用了“软件 + 硬件 + 服务”的价值链体系。该平台建立于易盼软件的数字化云平台之上，并通过数字孪生的设计方式，实现了控制柜产品在设计、采购、制造、运营到服务全生命周期的数字化、一致化和统一化。通过与威图公司自动化系统的无缝集成，该全流程一体化的数字设计和制造模式能够帮助控制柜制造企业建立设计和生产流程的协同制造体系，并最大程度地推动控制柜的自动化生产。

关键词

智能制造，云平台，数字孪生，数字化



中国智能制造十大科技进展

（排名不分先后）

水产集约化养殖精准测控关键技术与装备

Critical Technologies and Equipment for Accurate Measurement and Control of Intensive Aquaculture

入选理由

中国农业大学采用养殖水体溶解氧、叶绿素原位测量法，突破实时补偿校正与智能变送技术，创制 9 种水质在线测量传感器。在复杂场景下兼容 Zigbee、NB-IoT、2G/3G/4G 和北斗等协议跨网多设备动态适配技术，研制 7 种水产专用无线采集器、控制器。构建集传感器、采集器、控制器、养殖装备和云计算平台于一体池塘和陆基工厂养殖精准测控技术体系，实现复杂环境下水质实时调控、饵料智能投喂。

关键词

水产养殖，农业物联网，水质先进感知，智能处理模型，精准测控装备

中药全产业链智能制造解决方案

Intelligent Manufacturing of Traditional Chinese Medicine (TCM) Industry

入选理由

苏州泽达兴邦医药科技有限公司针对中药生产复杂生产系统，研发中药在线质量控制、智能炮制、大数据挖掘、生产制造执行系统、全过程质量追溯管理和过程知识系统（PKS）等系列关键技术群，建立中药全产业链智能化管控技术体系。方案目前已大规模应用于中药行业，推进中国中药智能化制造进程。

关键词

中药智能制造，过程知识系统（PKS），中药生产工艺，国际标准

智能工业起重机关键技术与系统集成

Key Technologies and System Integration of Intelligent Industrial Cranes

入选理由

南开大学研制智能工业起重机关键技术与系统集成，攻克智能

控制、传感配置、信息处理、算法集成、系统开发等技术壁垒，提出并集成轨迹规划与跟踪、防摆、防碰撞等智能算法，大幅提高工业起重机效率；开发基于智能感知的安全监测系统及报警、急停防摆等功能，研制手自动切换系统，全方位保障工业起重机安全性，降低事故率。该技术成功应用在本团队与天津起重设备有限公司联合研制的 32 吨级，跨度 31.5m 的桥式起重机的自动控制系统上。

关键词

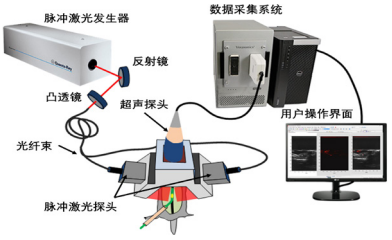
起重机，智能控制，智能监测，智能机器人技术

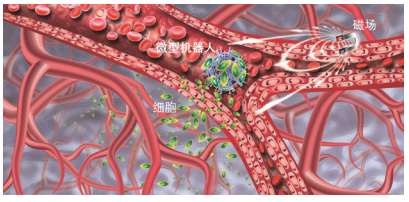
磁控微型机器人先进制造系统

Advanced Manufacturing of Magnetic Microrobotic System

入选理由

香港城市大学机器人与自动化研究中心研发面向精准医疗的磁控微型机器人先进制造系统，集微机器人技术与活体实时成像技术于一体，具有无创、精准、定量及可视化功能。在保证细胞附着、增殖和分化的前提下，通过磁场驱动将细胞运送到活生物体内的指定位置，解决了微型机器人体内同时控制与成像的问题。设计并实现此类可降解微型机器人的批量制造。





关键词

微型机器人，磁场控制，活体成像，精准医疗

乘用车智能驾驶平台

Intelligent Driving Platform for Passenger Vehicles

入选理由

吉利汽车研究院研发的乘用车智能驾驶平台，突破环境感知与建模、多工况行为决策、人性化控制以及跨能源动力平台管理与匹配标定等智能驾驶核心技术，形成智能驾驶系统跨动力总成、跨车型平台匹配标定，量产规模达到 54 万套。实现 6 个动力平台、55 款车型的大规模产业化应用。

关键词

交通安全，自动驾驶平台化，L2 级大规模产业化应用

新一代智能数控系统

A New Generation Intelligent CNC System

入选理由

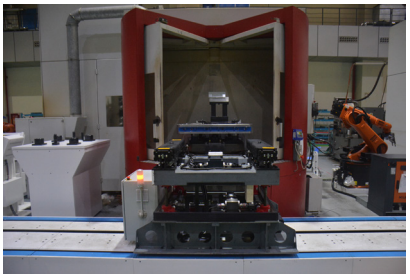
武汉华中数控新一代智能数控系统建立“两个平台”：“互联网 + 数控”平台通过 NC-Link 实现车间设备的互联通讯，构建云服务平台 iNC-Cloud；“智能 + 数控”平台嵌入 AI 芯片，提供从边缘端、雾端到云端的综合计算分析能力，形成了自主感知、自主学习、自主决策和自主执行的智能机制。系列化智能数控系统成套产品在制造业领域得到批量应用。

关键词

智能数控系统，互联网 +，智能 +，智能制造

飞机大型复杂结构件数字化车间

Digital Workshop for Large-scale Complex Aircraft Structural Parts



入选理由

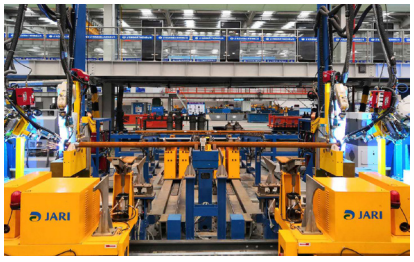
成都飞机工业（集团）有限责任公司依托数控车间基础条件，通过开展面向飞机结构件智能制造的工艺支撑技术、数控设备保障技术、制造过程智能管控技术等的研发和集成应用，构建数字化车间，显著提升产品质量、生产效率、能源利用率，降低车间运营成本，保障缩短新一代飞机研制周期。项目成果为航空制造业由数字化向智能化发展提供技术支撑。

关键词

数控加工，飞机大型复杂结构件，数字化车间，成套解决方案

船舶管件智能制造新模式

New Intelligent Manufacturing Model for Ship Pipe Fittings



入选理由

武昌船舶重工集团有限公司、江苏自动化研究所通过建设产品生命周期管理系统、智能产线管控系统、柔性管件生产线系统等 11 个子系统，实现从设计、工艺、制造及管理的全线信息化贯通。应用产线仿真方式进行车间布局及产能规划，形成全自动化柔性船舶管件生

产线，解决了单件小批量无人制造的非标识别、过程工艺再造、大挠度焊缝跟踪等行业难题。

关键词

无人生产，多机器人同步焊接，非标柔性装配，协同制造

基于物联网与能效管理的用户端电器设备数字化车间

Digital Workshop for Customer Premises Electrical Equipment Based on IoT and Energy Efficiency Management

入选理由

浙江正泰电器股份有限公司在全制程自动化线基础上，集成制造执行、自动物流、智能仓储、能效管理、产品全生命周期管理等系统；实现从设计到销售的数字化；实现自动上料、装配、检测、包装、配送等；实现从设备控制到生产运营的纵向集成及从客户需求到研发、生产、销售的价值链横向集成，实现全价值链数字化。

关键词

冲焊一体化，全制程自动化，系统集成，系统解决方案

流程工业智能工厂整体解决方案

Total Solution for Intelligent Plants in Process Industry

入选理由

浙江中控技术股份有限公司基于“自组织拓扑网络”及“自适应动态基准”技术构建了智能工厂指标体系，实现了基于工况匹配全操作寻优，将操作寻优周期从人工数天时间降到系统小时级，实现流程工业工艺操作知识的全生命周期自主积累与沉淀。项目应用于随装置同步建设的煤基烯烃智能工厂，一键升降负荷，无需人工干预，在报警率、操作频次、乙烯收率、能源综合利用率、工控信息安全防护能力等方面有显著效果。

关键词

流程工业智能工厂，工控系统信息安全，操作寻优技术

2019 智能制造十大科技进展在南京发布

2019 年 10 月 17 日上午，2019 世界智能制造大会“智领全球发布会” 在南京召开。国际智能制造联盟（筹）（ICIM）、中国科协智能制造学会联合体（IMAC）联合发布“2019 世界智能制造十大科技进展”、“2019 中国智能制造十大科技进展”（以下简称智能制造“双十”科技进展）。

国际智能制造联盟（筹）联合主席、中国科协智能制造学会联合体主席团主席、中国工程院院士周济，南京市政府副市长冉华，华中科技大学教授、加拿大工程院院士沈卫明，加拿大西安大略大学教授、加拿大工程院院士杨军，美国工程院院士、麦肯锡高级顾问陈向力，江苏产业技术研究院院长刘庆，中国科协智能制造学会联合体秘书长、中国机械工程学会常务副理事长张彦敏，还有来自入选智能制造“双十”科技进展的企业代表，来自国内外智能制造领域的专家学者近 200 人出席了此次发布会。

美国工程院院士、麦肯锡高级顾问陈向力先生代表国际智能制造联盟（筹）、中国科协智能

2019 智能制造“双十”科技进展发布会现场

周济院士出席“双十”科技进展发布会

陈向力院士宣读发布词

颁发“2019 世界智能制造十大科技进展”入选证书

颁发“2019 中国智能制造十大科技进展”入选证书

2019 世界智能制造十大科技进展（排名不分先后）

◆数据驱动的智慧质量信息化管理系统
◆智能制造 FA 解决方案包 iQ Monozukuri
◆流程行业集成价值链优化技术的统一运营中心
◆新一代人工智能技术引领下的云制造系统
◆“智能 +5G”大规模定制测试验证平台
◆基于物联网的 Emalytics 智能楼宇能效管理系统
◆让信息触手可及的 Factory Talk Innovation Suite
◆基于数字孪生的控制柜智能制造一体化平台

2019 中国智能制造十大科技进展（排名不分先后）

◆水产集约化养殖精准测控关键技术与装备
◆中药全产业链智能制造解决方案
◆智能工业起重机关键技术与系统集成
◆磁控微型机器人先进制造系统
◆乘用车智能驾驶平台
◆新一代智能数控系统
◆飞机大型复杂结构件数字化车间
◆船舶管件智能制造新模式
◆基于物联网与能效管理的用户端电器设备数字化车间
◆流程工业智能工厂整体解决方案

制造学会联合体宣读发布词。

发布会上，周济院士、冉华副市长共同为入选 2019 智能制造“双十”科技进展的企业代表颁发证书。

智能制造“双十”科技进展已经连续 3 年在世界智能制造大会上发布。

入选的“双十”科技进展在科技和应用意义上不一定是最先进、最前沿的，但主要反映了行业及专家关注的、能引领智能制造发展影响深刻的科技成果，旨在把握智能制造发展趋势，引导智能制造发展。智能制造科技进展的研究、遴选、发布也同时为搭建全球制造企业、智能制造解决方案供应商、高校和科研机构之间的交流合作起到积极的推动作用。MT

关注技术与进展 论道“智能”与“制造”

——2019 世界智能制造大会“智能制造前沿与科技进展暨中国工程科技发展战略江苏高峰论坛”召开

关注智能制造技术发展前沿和应用趋势，分享智能制造在世界制造业领域的典型应用，畅谈智能制造发展前景，共商智能制造在中国的实践、在江苏的实践。2019 年 10 月 17 日下午，国际智能制造联盟（筹）（ICIM）、中国工程科技发展战略江苏研究院、中国科协智能制造学会联合体（IMAC）和江苏省产业技术研究院共同组织并召开“智能制造前沿与科技进展暨中国工程科技发展战略江苏高峰论坛”，吸引来自中国、美国、德国、韩国等智能制造领域国内外专家、企业家、技术高管等 200 多人到会交流。

论坛由中国科协智能制造学会联合体秘书长、中国机械工程学会常务副理事长张彦敏主持。

国际智能制造联盟（筹）联合主席、中国科协智能制造学会联合体主席团主席、中国工程院院士周济到会并致辞。他表示近年来，新一代人工智能技术与先进制造技术深度融合，正在重塑设计、制造、服务等产品全生命周期的各环节及其集成，催生新技术、新产品、新业态、新模式，也正在引发制造业在发展理念、制造模式等方面重大而深刻的变革，终端智能化、连接泛在化、计算边缘化、网络扁平化以及服务平台化和安全提升化的趋势更加明显。新一代智能制造作为新

张彦敏常务副理长主持论坛

论坛现场

周济院士为论坛致辞

曹简教授做报告

乔蒂·马祖姆德教授做报告

一轮工业革命的核心技术，正在成为制造业未来发展的核心驱动力。

ICIM、IMAC 将共同围绕智能制造发展需求，以学术交流、合作研究和人才培养为主要任务，在智能制造前沿技术、基础关键技术、制造业领域的应用、解决方案等方面开展对话和交流，以期搭建国际交流合作平台，促进世界范围内制造企业、智能制造解决方案供应商、高校和科研机构之间关于智能制造及其人才培养的共同发展。

一、智能制造前沿技术与趋势

1. 制造从简单到复杂再回归简单的过程

美国西北大学科研协理副校长曹简分享题为“智能制造前沿技术与趋势”的报告，从制造本身谈起，制造业作为一个集成的、综合性平台，始终是从简单到复杂，再回归简单的过程。材料是制造业基础，其设计、应用、性能对制造业非常重要。其次是设计。设计可成为制造业整个流程和工艺过程的检验机制，也是产品质量的保证。从产品的结构、属性、性能，到产品的加工，都与设计相关，而设计产品的过程不一定都是自动化的流程。AI 在设计方面的应用，更多地体现在数据的收集、应用、建模。再者就是传感器在智能制造发展中的重要性，还有机器学习。未来人工智能的研究方向，将在数据处理、数据安全、算法、传播等方面。

2. 3D 金属激光打印技术与智能制造

美国工程院院士、密歇根大学教授乔蒂·马祖姆德（Jyoti Mazumder）分享了题为“3D 金属激光打印技术与智能制造”的报告。3D 金属激光打印是目前的热门话题，我们一直以来集中在做 3D 的形状，但是对质量考虑的相对较少，比如这项技术在飞机上就难以使用。要解决的质量问题，比如产品是否具备某些特定性能，需要实现原位诊断和缺陷检测，再比如智能光学检测系统等。

3. 5G 与智能制造

韩国科学技术研究院院士韩永男（Youngnam Han）分享了题为“5G 与智能制造”的报告。报告首先梳理了 5G 时代的需求和服务，并介绍了韩国开展 5G 研发应用和服务的举措，重点介绍了通过感知进行过程控制、远程控制制造、借助人工智能的认知和协作机器人实现自动化。

韩永男院士做报告

弗兰克·菲茨克教授做报告

陈吉红董事长做报告

彭芳瑜教授做报告

4. 智能制造领域的机器人革命

德国德累斯顿工业大学教授弗兰克·菲茨克（Dr.-Ing Frank H.P.Fitzek）做了题为“智能制造技术的国际实践”的报告。智能制造的未来将会面临一个问题，就是由谁为机器人进行编程。我们希望能有一种解决方案，把触觉网络应用到机器人的编程中，并解决规模化应用的问题。与此同时，我们还需要解决降低成本提高程序员编程效率的问题。人类希望应用的时候，得到视觉和音频的回馈。但是最难解决的问题是触觉延迟反馈。因此，需要建立一个通信系统，并能提供毫秒级的反应速度，甚至还有高速度的数据传输，海量传感器等等。所有这一切都意味着巨大的改变。

二、智能制造技术的中国实践

1. 新一代智能数控机床的发展

武汉华中数控股份有限公司董事长陈吉红做了题为“智能制造技术的中国实践——走向新一代智能数控机床”。陈吉红先生分享了传统机床在不断向智能机床演化的过程，智能机床的发展趋势包括：传感器技术在数控机床上应用不断增加，网络化技术与数控机床不断融合，智能化功能初步融合。高档数控机床的发展方向集中在高速、高精、多轴、复合等方向。

2. 聚焦江苏，献策江苏智能制造发展

华中科技大学教授彭芳瑜做了题为“江苏省智能制造发展战略研究”的主题报告。报告聚焦江苏制造业发展现状，认为江苏省目前大体处于 2.0 向 3.0 过渡阶段，制造业数字化、网络化、智能化总体水平不高，发展智能制造对江苏省意义重大。江苏省智能制造发展战略研究课题组为江苏省智能制造发展路径建言献策。以补数字化短板为核心，推动企业加快 ERP、MES、WMS 等基础信息系统建设，夯实企业数字化基础；以软硬件集成互通、数据共享为核心，加强企业工业互联网建设，构建工厂 HCPS 系统，实现设备与系统之间互联互通；以柔性制造能力建设为核心，强化装备的柔性化建设，提升产线快速切换、响应、执行等能力。

3. 传统企业转型升级的关键行动

中国生产力促进中心协会副秘书长王澜作了题为“数字化转

王澜秘书长做报告

主题交流

同济大学教授周平主持主题交流

型——传统企业转型升级的关键行动”的报告，提出互联网下半场的三个维度，包括从消费互联网到产业互联网，从创业公司到传统企业，从信息化到数字化。传统企业实现数字化转型需要实现三大突破，包括创业方法，商业模式，数字技术。数字化转型的根本目的在于提高效率，重获增长，再造价值。

论坛最后，同济大学教授周平邀请英国帝国理工大学教授 Cav.Sandro Macchietto，韩国科学技术研究院教授 Min Sangyoon，荷兰 SIOUX 公司 CEO Hans Duisters，加拿大西安大略大学教授杨军带来了一场生动的“智能制造技术实践的机遇与挑战”主题交流，专家们围绕智能制造的必要性、发展趋势展开交流，畅想智能制造发展的未来。论坛取得了圆满成功。MT

全球翘楚共议人才培养 擘画未来工程教育蓝图
——2019 国际机械工程教育大会在沪举行

全球科技创新空前活跃，迅速变化的世界为工程及工程教育的发展提供了难得的发展机遇，同时也提出了更大挑战。面向未来的卓越工程人才该如何培养，教育界、产业界、科技界关于机械工程教育的最新理念和变革举措是什么？

10 月 25-28 日，工程教育界的盛事——2019 国际机械工程教育大会在上海举行。来自中国、美国、俄罗斯、英国、法国、德国、日本等十余个国家和地区的 900 余名工程教育从业者、企业界人士和政府教育管理者齐聚上海，以“面向未来的卓越工程教育”为主题，通过一系列活动，汇聚当前全球机械工程教育领军人物智慧，把脉机械工程教育现状，共议机械工程教育人才培养，擘画未来工程教育蓝图。

会场盛况

本次会议在中国科学技术协会和中国工程院的指导下，由中国机械工程学会、美国机械工程师学会、英国机械工程师学会、中国机械行业卓越工程师教育联盟、教育部高等学校机械类专业教学指导委员会、联合国教科文组织国际工程教育中心联合主办，上海交通大学承办，并得到上海振华重工（集团）有限公司、中国银行上海市分行、上海电气自动化集团等 20 余家国内企业高校和来自法国、日本、马来西亚、韩国、新加坡、丹麦等国际相关组织的广泛支持和参与。

上海市副市长吴清致辞

中国工程院副院长钟志华院士致辞

中国科协培训和人才服务中心主任辛兵致辞

一、汇聚全球翘楚，成就世界机械工程教育的盛会

上海市人民政府副市长吴清、中国工程院副院长钟志华院士、中国科协培训和人才服务中心主任辛兵、中国机械工程学会理事长李培根院士、美国机械工程师学会秘书长 Thomas Costabile、上海交通大学校长林忠钦院士先后致辞，教育部高教司司长吴岩作大会特邀专题报告，林忠钦校长、莫斯科航空学院校长 Mikhail Pogosyan 院士等 13 位中外重量级学者和专家分别围绕论坛主题作主旨报告。中国机械工程学会监事长、中国机械行业卓越工程师教育联盟理事长宋天虎，中国机械工程学会副理事长陈钢、副理事长兼秘书长陆大明也出席了会议。

面向未来是本次会议的显著特点。中国机械工程学会理事长李培根院士认为，“面向未来是人类的一个基本特性，也是社会发展的需要。基于这一需要，人类要有目的地展望未来。而教育，才能让人类实现这种展望。”他指出，“随着世界多元化、经济全球化深入发展和文化多样化、社会信息化持续推进，国际社会日益成为你中有我、我中有你的‘命运共同体’，越来越复杂的现代工程经常需要跨学科、跨领域、跨文化的解决方案，迫切要求未来工程教育要超越‘工程’本身。我们要着力推动工程知识、工程技术、工程人才的交流，推动社会各界之间、不同地区之间的合作交流。”

吴岩司长以《勇立潮头，赋能未来——以新工科建设领跑高等教育变革》为题，从精准把握高等教育发展大势、全面推进“四新”建设、新工科引领高等教育变革三个方面进行了介绍和分享。吴岩指出，当前中国高等教育正处在变化中，新工科应当在整个高等教育的变革中起到引领

中国机械工程学会理事长李培根院士致辞

美国机械工程师学会秘书长 Thomas Costabile 致辞

上海交通大学校长林忠钦院士致辞并作主旨报告

教育部高教司司长吴岩作大会特邀专题报告

的作用，做到理论先锋、标准先锋、方法先锋和实践先锋。当前中国工程教育，包括机械工程教育在内的新工科建设已经踏上了新征程、不断进行新探索，未来一定能够为打造新时代高等教育质量“中国品牌”做出新的贡献。

27 日，教育部高等学校机械类专业教指委 2019 年专题会议、中国机械行业卓越工程师教育联盟 2019 年理事大会、ABET（美国工程与技术评审委员会）年度会议三场平行分会，以及“机械类工程教育专业认证”“国际合作办学”“智能制造卓越工程教育”“机械制造课程教学研讨会”“校企合作”“新工科和学科交叉教育”六个分会场举行。分会场分别由中国机械工程学会、大连理工大学、上海交通大学、天津大学、同济大学、西安交通大学、清华大学天津高端装备研究院洛阳先进制造产业研发基地和东北大学等单位承办。各分会场紧扣大会主题，近 50 位国内外的机械工程教育专家和行业、企业界人士围绕教学改革、国际联合办学、工程教育认证、产学研合作等内容作精彩报告，针对卓越工程教育新观点、新方向进行开放式交流。

此次机械工程教育大会以开放多元的姿态，为国内外教育界、产业界和科技界搭建沟通交流的平台，全球顶尖专家共聚一堂，分享世界机械工程教育的改革和发展成果，以全球化视角探讨新科技革命与产业变革对机械工程教育的影响，共同应对全球挑战，研讨工程教育新理念和新模式。正如中国工程院副院长钟志华院士指出的，“这不仅是中国机械工程教育界、也是世界机械工程教育界的一件大事，为国际机械工程教育的发展起到了良好的推动作用。”

二、融通中外智慧，探讨卓越工程人才培养

当今世界，大数据、物联网、人工智能、纳米技术、虚拟现实、生物科技、社交媒体、区块链、太空探索等一系列最有潜力的新技术组成的信息革命浪潮正扑面而来，如何培养面向未来的卓越工程人才，成为国际工程教育界思考的重要命题。2019 国际机械工程教育大会上，全球工程教育界和产业界的重量级代表深入交流，探讨新的工程教育理念，谋划工程教育的未来。

目前我国高等教育改革发展已经步入深水区，部分领域开始

俄罗斯莫斯科航空学院校长、俄罗斯科学院院士 Mikhail Pogosyan 作报告

英国皇家工程院院士、英国曼彻斯特大学工程学院教授李琳作报告

美国罗格斯大学的 Alberto Cuitino 教授作报告

德国卡尔斯鲁厄理工学院 Jivka Ovtcharova 院士作报告

天津大学顾佩华院士作报告

法国国立高等工程技术学院副校长 Ivan Iordanoff 教授作报告

英国哈德斯菲尔德大学 John Allport 教授作报告

进入“无人区”，没有现成经验可以模仿复制。上海交通大学校长、中国工程院院士林忠钦认为，“中国工程教育正面临一系列亟待突破与解决的瓶颈问题，这些问题有的是中国独有的，但更多的是全球工程教育面临的共性问题，如何使工程教育得到更好地发展，在未来为全人类做出更大的贡献，是全球工程教育的同仁们需要共同思考与奋斗的主题。”他以上海交通大学工程教育为例，作了“构建卓越工程教育体系的思考与实践”的报告，介绍了上海交大卓越工程工科培养的核心理念与关键举措，强调“卓越工程教育的目标在于为学生在工程领域积累十年后能开始不断做出卓著贡献打下坚实基础，关键在于培养影响终生的职业胜任力与行业使命感。”

俄罗斯莫斯科航空学院校长、俄罗斯科学院院士 Mikhail Pogosyan 对技术与产业变革需求下，国家与高校机械工程教育人才培养进行了思考，认为面对科技与产业的变革需求，工程教育应顺势而动，改革教育项目以适应产业的最新需求。英国皇家工程院院士、英国曼彻斯特大学工程学院教授李琳介绍了面对智能制造这一重大挑战，英国机械工程教育的现状及发展战略，指出英国大学重视学生实践能力和职业素养的培养，“理论－实践－理论”“三明治”教育模式的普遍应用是英国高等教育的突出特点。美国罗格斯大学的 Alberto Cuitino 教授以“为数字经济培养创客一代”为题，从人力、新项目／新课程与合适的基础设施角度，思考为培养创客一代而推进机械工程教育中遇到的关键挑战及积累的经验。

此外，德国卡尔斯鲁厄理工学院 Jivka Ovtcharova 院士、天津大学顾佩华院士、法国国立高等工程技术学院副校长 Ivan Iordanoff 教授、英国哈德斯菲尔德大学 John Allport 教授等还就“人工智能”、“新工业革命与新工科教育”等议题作了主旨报告……专家学者高屋建瓴、视野开阔，聚焦工程教育领域热点和难点，研讨工程教育新理念和新模式，为面向未来的卓越工程教育改革提供了破解思路。

在一年一度的卓越工程师教育联盟理事大会上，中国机械工程学会监事长、联盟理事长宋天虎指出，“联盟将继续秉承面向工业界、面向世界、面向未来，致力于在最‘接近真实世界’的环境下培养卓越的工程人才的宗旨，以引领未来，拥有未来”。教育部机械类专业教学指导委员

中国机械工程学会监事长、联盟理事长宋天虎

中国机械工程学会工程教育认证委员会主任、大连理工大学李志义教授

教育部机械类专业教学指导委员会主任、东北大学校长赵继教授

会主任、东北大学校长赵继教授，大连理工大学机械工程学院院长王永青教授，华中科技大学机械科学与工程学院院长丁汉院士，中国机械工程学会工程教育认证委员会主任、大连理工大学李志义教授，华为 EBG 人才生态发展部卢鹏副部长，法雷奥集团首席技术官顾剑民等 6 位报告人分别从机械工程教育创新发展、中外联合培养一流精英人才的探索与实践、研究型大学机械专业拔尖创新教育体系构建、产学合作培养卓越工程人才、新工科建设的理念与举措等主题做了分享。

三、推动深层次合作，擘画工程教育未来蓝图

全球化背景下，以新技术、新业态、新产业为特点的新经济迫切需要培养具有跨界整合能力的新型创新人才。作为大会的主办方，中国机械工程学会近年来联合众多国际知名的工程组织成功举办多次机械工程教育国际会议，深化中外机械工程教育领域的交流合作，推动工程教育的改革、创新和发展。2016 年，中国成为《华盛顿协议》正式成员，标志着中国高等教育对外开放向前迈出了一大步，中国高等教育走上国际舞台。在此形势下，开展工程教育专业认证对创新工程人才培养具有重要意义。

在机械类工程教育专业认证

中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明

机械类工程教育专业认证对话现场

中国机械工程学会理事长李培根院士与马来西亚工程师学会理事长 Kong Phooi Lai 签署合作谅解备忘录

分会场上，中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明、大连理工大学教务处处长刘志军教授、天津大学胡绳荪教授、韩国弘益大学 Jung Soo Kim 教授、华中科技大学吴波教授、重庆科技学院机械学院副院长何高法教授、北京工业大学高国华教授、大连理工大学教务处副处长刘新教授等国内外认证专家分别就工程教育专业认证现状、工程教育专业认证中成果评价和创新方法、课程教学与质量评价、专业特色建设、核心课程体系构建、培养方案的修订等主题与参会代表分享了有关案例，并就目前存在的主要问题展开对话。

ABET 年度会议上，美国 ABET 国际参与和管理处主任 Danielalacona 介绍了 ABET 认证体系，指出 ABET 是国际公认的最具权威的认证体系，也是华盛顿协议 6 个发起工程组织之一，通过 ABET 认证，意味着一所大学可以培养具有国际竞争力的工程师。正如中国科学技术协会负责人指出的，“开展工程教育专业认证不仅是国际通行的工程教育质量保障性制度，也是工程教育国际互认和工程师资格国际互认的基础性机制。”作为科协系统的重要组成部分，中国机械工程学会将站在时代变革的前沿，继续在我国专业认证体系建设中发挥引领作用。

面向未来的卓越工程教育，需要探索学会、高校、企业联合培养卓越工程人才的有效机制和方式，“需要世界各国教育从业者、产业界人士以及政府教育管理者共同努力，充分发挥各国工程学会的积极作用，实现各国机

械工程教育多领域、深层次的交流合作。”上海交大校长林忠钦这样说到。在林忠钦院士、中国科协培训和人才服务中心辛兵主任、中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明和马来西亚工程师学会副理事长陈志辉见证下，中国机械工程学会理事长李培根院士与马来西亚工程师学会理事长 Kong Phooi Lai 签署合作谅解备忘录。上海交通大学在此方面也积极探索，通过从底层到高阶的创新改革工作，保证了坚实的跨学科理论知识、较强的全球胜任力、卓越的团队合作与组织能力以及对现代机械系统的深刻洞悉和把握，对面向未来的卓越人才的培养提供了借鉴经验。

中国机械工程学会理事长李培根院士表示，“通过大家的共同努力，工程教育发展的目标一定会变得更加清晰，我们致力于培养面向未来的卓越工程人才的步伐一定会变得更加协调一致，我们将以本次会议为契机，为面向未来的机械行业持续健康发展做出更大贡献。”

四、深化平台培养探索办学特区，上海交大持续创新工程人才培养模式

作为本次大会的承办方，上海交大在工程人才方面大力推进与通识教育相融合的宽口径专业教育，积极开展大类培养平台、致远荣誉计划、“以我为主”的国际化合作办学等探索，培养适应经济社会发展需要的复合型人才。

从 2014 年起，上海交大开始实施工科平台试点，推进宽口径大类招生培养工作，大平台培养模式意在进一步夯实学生的数理化与多学科基础，强化实验实践课程，注重各专业之间的交叉与融合。2018 年交大打通工科平台、工科专业、致远工科荣誉计划三类培养体系，将工科平台培养优势推广到相关院系所有工科专业中，形成“大工科”培养体系，持续扩大学生受益面。

在学生的创新实践上，上海交大以学生创新中心为载体和平台，以新技术为牵引，实现产教深度融合，引入学生创新实践能力培养新资源，并先后与华为、英特尔、IBM、微软、腾讯、霍尼韦尔等企业签署合作协议，聘任了 120 多名企业导师，为学生创新教育提供了强有力的师资支持。交大还针对当前科技界和工业界关注的方向设立 21 项校级竞赛，包括无人机、新能源汽车大数据、工业 4.0APP、智能出行等 20 多个方向。同时，学校围绕以上热门领域开设企业课程，与科创竞赛互为支撑，为学生团队协作、参加竞赛提供支持。

在不断深化大类平台培养的同时，交大还推进办学特区的建设，探索多种人才培养模式。拔尖人才培养特区致远学院形成的交大特色基础学科拔尖学生“致远培养模式”，获“Reimagine Education 2016”两项全球教育创新奖。机械与动力学科拔尖人才培养钱学森班旨在探索工程科学领域创新人才培养的新模式，为行业培养科学和工程素养兼备的全面型、创新型拔尖人才。2011 年上海交大机械与动力工程学院入选“国家教育体制改革试点学院”，今年入选教育部“三全育人”试点单位。国际化人才培养特区包括上海交大密西根学院与上海交大－巴黎高科卓越工程师学院。上海交大密西根学院 2014 年荣获“Andrew Heiskell 国际教育革新奖”。上海交大－巴黎高科卓越工程师学院 2016 年被中法两国政府评为“中法大学合作优秀项目”，2018 年荣获上海市教学成果奖一等奖。MT

全球专家论道物流，千人参与奉献智慧
——2019 智能物流发展论坛在上海召开

随着中国物流产业迅猛增长，中国已发展成为世界上最大的物流装备市场，为在全球范围内构建开放协同的创新业态，探索智能物流领域全球合作共赢的有效机制，中国机械工程学会及其物流工程分会，携手汉诺威米兰展览（上海）有限公司及中国工程科技知识中心制造业分中心，于 2019 年 10 月 23 日在上海新国际博览中心，举办了以“精准、高效、智慧”为主题的智能物流发展论坛，有 1100 多人参会，论坛旨在搭建科企跨界交流的平台，促进科技与产业的深度融合、协同发展。

此次论坛亮点纷呈，不但有欧美、日本等专业团体首次在中国参与物流论坛，更将业内先进的理念、技术及应用带到此次论坛，与大家分享。物流技术的进步是人类智慧的结晶，这次在上海 CeMAT ASIA 展会期间举办的论坛，在思想和智慧的碰撞下，达到了合作共赢的发展战略，打造成千人大会盛事。

工信部智能制造专家咨询委员会、美国机械工程师学会、德国西门子公司、美国欧特克公司、日本大福公司、德国 SEW 公司、德国胜斐迩集团、中国机械工程学会等高层领导作为论坛的特邀嘉宾出席此次会议，来自物流行业的各界专家、政府官员及企业领导共睹此次论坛盛况。中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明先生主持了此次论坛。

中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明致辞

会场

欧洲物料搬运联合会主席 Jos De Vuyst 致辞

日本物流系统机器协会秘书长種田一博致辞

德国汉诺威展览公司董事局主席 Dr. Jochen Koeckler 致辞

下午 1:30，论坛准时开幕。开场环节分别由中国机械工程学会副理事长兼秘书长陆大明、欧洲物料搬运联合会主席 Jos De Vuyst、日本物流系统机器协会秘书长種田一博及德国汉诺威展览公司董事局主席 Dr. Jochen Koeckler 发表致辞，对前来参加论坛的嘉宾和观众表示热烈欢迎和衷心感谢，并从各方的立场简要地阐述了各国物流的发展特点和当今国际物流的发展趋势。

致辞结束之后，论坛进入主题报告环节。由中国机械工业联合会专家委员会名誉主任、工信部智能制造专家咨询委员会主任朱森第率先发言，做了《有效推进智能制造中的物流装备》的主题报告，强调智能制造的产业升级，除了技术改造更离不开思想的转变，要把智能制造理念、技术与传统物流行业相结合。

美国机械工程师学会首席运营官 Jeffrey C.Patterson 在随后的题为《物流工程之全球展望》中阐述了不同国家物流工程的主要特点，并指出，物流工程的国际化标准的完善和实施，有助于使全球的物流行业发展趋势趋于统一，而智能制造和智慧物流将有助于加快全球化标准的步伐。

西门子公司全球物流行业总经理 Dr. Bollig Alexander 结合西门子企业自身的案例，提出了内部物流作业与数字化相结合的理念，使得大家对内部物流数字化产生了进一步思考。

美国欧特克公司商业战略与营销全球总监 Sean Manzanares 在演讲中从未来制造的角度分别进行深入剖析，阐述了智能设计与制造的深度融合所带来的效果，为企业转型升级提供了新的思考方向。

大福（中国）物流设备有限公司董事长小林和生与该公司营业本部华东营业部副部长程其中随后上台，阐述了自动化物流解决方案的不同类型和特色案例，对如何选择自动化物流解决方案进行了深入探讨。

赛威传动（中国）投资有限公司董事总经理张胜利结合企业自身案例，向参会嘉宾诠释了 SEW 智能物流解决方案 -Maxolution。

论坛的最后环节，由德国

中国机械工业联合会专家委员会名誉主任、工信部智能制造专家咨询委员会主任朱森第做报告

美国机械工程师学会首席运营官 Jeffrey C.Patterson 做报告

西门子公司全球物流行业总经理 Dr. Bollig Alexander 做报告

美国欧特克公司商业战略与营销全球总监 Sean Manzanares 做报告

大福（中国）物流设备有限公司董事长小林和生做报告

SEW 中国集团董事总经理张胜利做报告

德国胜斐迩集团全球副总裁 Ronald Brade 做报告

胜斐迩集团中国区董事总经理卡恩以及胜斐迩集团全球副总裁 Ronald Brade 上台，做了题为“高效智能的仓储物流解决方案”的主题演讲，结合企业自身案例，通过不同客户的仓储物流环境拟定了不同的解决方案，从实际应用的角度为参会嘉宾带来了深入的思考。

此次论坛在精彩的互动和热烈的氛围中落下帷幕，通过各国专家、学者及企业领导的深入交流，参会嘉宾对智能物流及其发展趋势有了宏观的认知，对智能物流在企业中的运用及对应的解决方案有了具体客观的思考和参考。伴随中国物流产业的迅猛增长，中国的物流装备成为了世界上最大的物流装备市场，这离不开国外先进理念的引导，技术的应用，体现了全球合作共赢的发展战略。

物流技术的进步是人类智慧的结晶，它是中国的也是世界的。此次论坛规模宏大，参会人数众多，是欧美日本等专业团体共同参与的首次物流国际会议，也成就了汉诺威物流展浓墨重彩的一笔。MT

BEW2020

2020 深圳再相聚

MEET AGAIN IN SHENZHEN 2020

第25届北京·埃森焊接与切割展览会

THE 25th BEIJING ESSEN WELDING & CUTTING FAIR

- 珠三角经济发展提速
  Accelerated Economic Development of Pearl River Delta
- 东南亚市场开拓活跃
  Active Market Exploration in Southeast Asia
- “一带一路”东风强劲
  Strong Wind of “Belt and Road”

关注我们的微信公众号，
可获取更多展会信息。

2020年6月2-5日
深圳国际会展中心
June 2-5, 2020
Shenzhen World
International Exhibition & Convention Centre

www.beijing-essen-welding.com

www.埃森焊接展.com