

MT 机械工程导报

Mechanical Engineering Trends

<http://www.cmes.org>

2019年第4期 总第203期

面向新一代智能制造的人—信息—物理系统 (HCPS) p1

中美制造业创新中心运行机制的比较研究 p8

从“国家制造业创新网络”到“美国制造”——美国制造业战略的延续与变化 p13

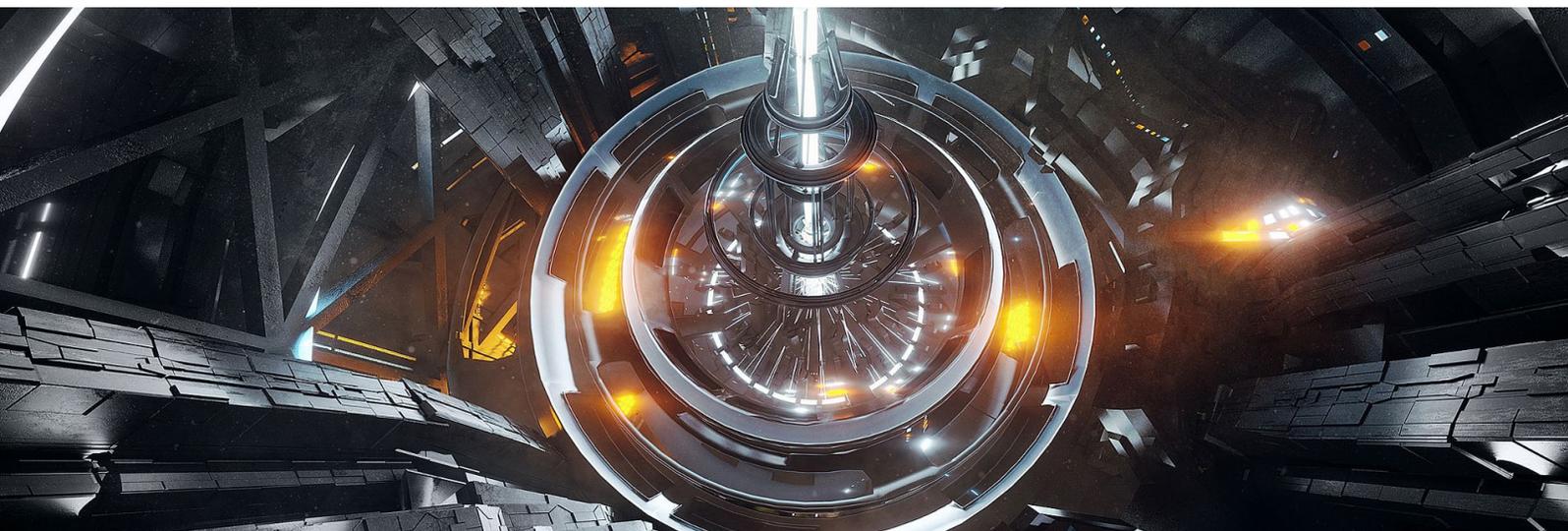
制造业数字化转型思考点滴 p18

机器人如何改变世界——自动化对工作和生产力真正意味着什么 p21



目录

CONTENTS



机械工程导报

MECHANICAL ENGINEERING TRENDS

1998 年创刊
2019 年第 4 期 (总第 203 期)
2019 年 8 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



院士专稿 FEATURE FROM ACADEMICIAN

面向新一代智能制造的人—信息—物理系统 (HCPS) 1



专家视点 EXPERT OPINION

中美制造业创新中心运行机制的比较研究 8

从“国家制造业创新网络”到“美国制造”
——美国制造业战略的延续与变化 13

制造业数字化转型思考点滴 18



热点关注 CURRENT POINT

机器人如何改变世界 21
——自动化对工作和生产力真正意味着什么



学会资讯 CMES INFORMATION

中国机械工程学会第十一届六次常务理事 (扩大) 会议
在辽宁沈阳召开 48

中国机械工程学会走进地方系列活动在沈阳举行 50

面向新一代智能制造的 人一信息一物理系统 (HCPS) *



中国工程院 周济

智能制造是一个大概念，其内涵伴随着信息技术与制造技术的发展与融合而不断前进。目前，随着互联网、大数据、人工智能等技术的迅猛发展，智能制造正在加速向新一代智能制造迈进。同时，尽管智能制造的内涵在不断演进，但其追求的根本目标是不变的，始终都是尽可能的优化提高质量、增加效率、降低成本、增强竞争力。而且，从系统构成的角度看，智能制造系统也始终都是由人一信息系统一物理系统协同集成的人一信息一物理系统 (HCPS)，或者说智能制造的实质就是设计、构建和应用各种不同用途、不同层面的 HCPS，当然 HCPS 的内涵和技术体系也是在不

断演进的。

一、面向智能制造的 HCPS 的进化过程

1. 制造系统发展的第一阶段： 基于人一物理系统 HPS 的传统制造

200 多万年前，人类就开始制造和使用工具，从石器时代到青铜器时代再到铁器时代，主要依靠人力和畜力为主要动力，并且使用简单工具的生产系统一直持续了百万多年。以蒸汽机的发明为标志的动力革命引发了第一次工业革命，以电机发明为标志的动力革命引发了第二次工业革

命。人类不断发明创造与改进各种动力机械，并且使用它们来制造各种工业品。由人和机器所组成的制造系统大量的替代了人的体力劳动，大大提高了制造的质量和效率，社会生产力得以极大地提高。

比如，传统手动机床。在传统手动机床上加工零件的时候需要由操纵者根据加工要求，根据手眼感知并且操作手柄，以控制刀具按照希望的轨迹运动来完成工件的加工任务，这些制造系统是由人和物理系统（如机器）两大部分所组成，因此可以称之为人一物理系统 (Human-Physical System, HPS)。物理系统 (P) 是主体，工作任务是通过物理系

* 本文为作者在第七届智能制造国际会议上所做的主旨报告

统来完成，而人（H）是主宰和主导，人是物理系统的创造者，同时又是物理系统的使用者。完成工作任务所需要的感知、学习认知、分析决策和控制操作都是由人完成的，见图1。

2. 制造系统发展的第二阶段：基于 HCPS 1.0 的数字化制造

20 世纪中叶以后，随着制造业对于技术进步的强烈需求，以及计算机通讯和数字控制等信息化技术的发明和广泛应用，制造业进入了数字化制造时代。以数字化为标志的信息革命引领和推动了第三次工业革命，第三次工业革命最典型的产品就是数控机床。与手动机床相比较，数控机床发生的变化是什么呢？就是在人和机床实体当中增加一个数控系统，操作者只需根据加工要求、将加工过程当中所需要的工具和工具的相对运动轨迹按照规定的格式编成加工程序。计算机数控系统就可根据这个程序控制机床，自动的完成加工任务。

与传统制造相比较，数字化制造最本质的变化是在人和物理系统之间增加了信息系统 C，从原来的人、物理二元系统变成了人、信息、物理三元系统，HPS 进化成为了 HCPS，见图 2。人的

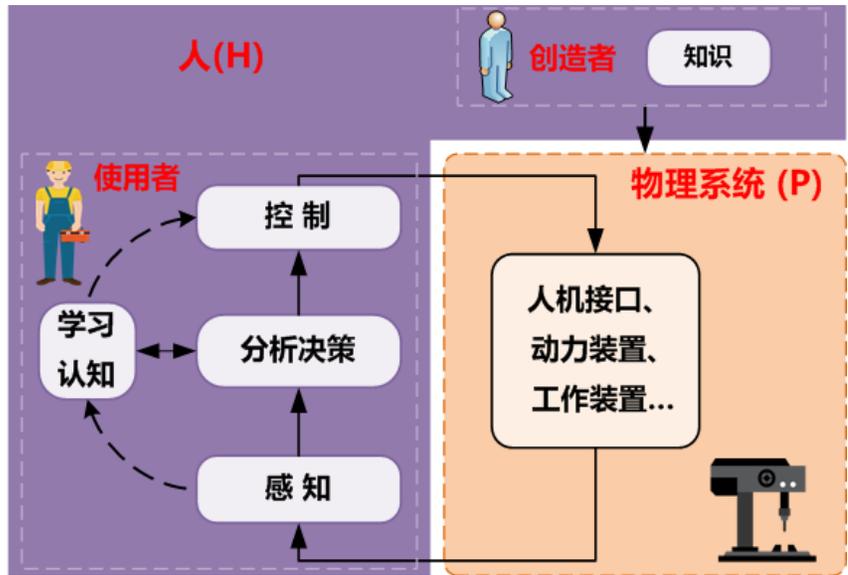


图 1 由人一物理系统（HPS）组成的传统制造系统示意图

相当部分的感知、分析、决策和控制功能迁移给了信息系统，信息系统可以代替人类完成部分的脑力劳动。信息系统一般就是软件，实际上信息系统是由软件和硬件所组成的，其主要作用就是对输入的信息进行各种计算分析，并且代替操作者去控制物理系统以完成工作任务。

数字化制造也可以定义为第一代智能制造，所以面向数字化制造的 HCPS 可以定义为 HCPS 1.0。与 HCPS 相比较 HCPS 1.0 通过集成人、信息系统和物理系统的各自优势，它的能力尤其是计算分析、精确控制以及感知能力都得到了极大地提高。不仅操作人员的体力劳动强度进一步降低，更重要的是人类的部分脑力劳动也可以由信息系统来完

成。从二元系统 HPS 到三元系统 HCPS，由于信息系统的引入使得制造系统同时增加了两个子系统，一个是人、信息系统（HCS），还有一个是信息物理系统（CPS）。CPS 是 HCPS 非常重要的组成部分，美国学术界在 21 世纪初提出了 CPS 的理论，而德国工业界把它作为工业 4.0 的核心技术。CPS 在制造当中的应用是实现信息系统和物理系统的完美映射和深度融合，“数字孪生”（digital twin）就是它最为基本而且关键的技术，由此制造系统的性能和效率可以大大提高。

3. 制造系统发展的第三阶段：基于 HCPS 1.5 的数字化、网络化制造

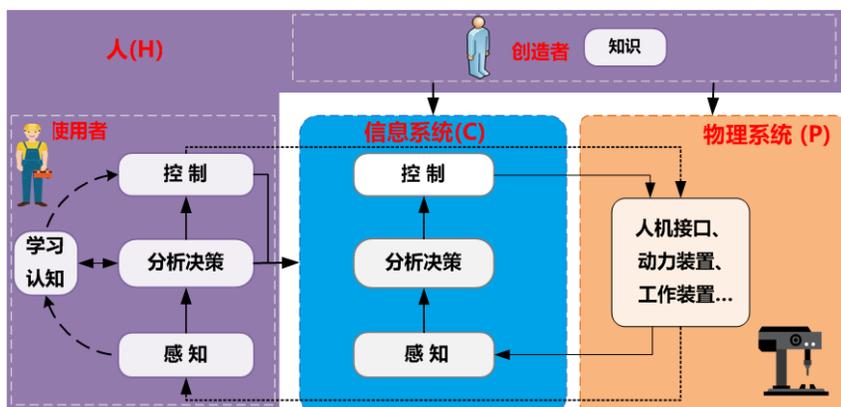


图 2 由人—信息—物理系统 (HCPS) 组成的数字化制造系统示意图

20 世纪末，互联网技术快速发展并得到了广泛普及和应用，推动制造业从数字化制造向数字化、网络化制造转变。数字化、网络化制造本质上是“互联网+数字化制造”，也可以定义为“互联网+制造”，亦可以定义为第二代智能制造。以机床为例，“互联网+数控机床”增加了传感器，更重要的是实现了设备的互联互通，实现了机床状态数据的采集和汇聚。数字化、网络化制造系统仍然是基于人、信息系统、物理系统三部分组成的 HCPS，但这三部分相对于面向数字化制造的 HCPS1.0 均发生了根本性的变化，故而面向数字化、网络化制造的 HCPS 可以定义为 HCPS 1.5。其最大的变化在于信息系统：互联网和云平台成为了信息系统的重要组成部分。既连接了信息系统各部分，又连接了物理系统各部分，还连接了人，是系统集成的

工具；信息互通和协同集成优化成了信息系统的重要内容。

可见数字化、网络化制造的实质是在数字化制造的基础上，通过网络把相关的人、流程、数据和事物等连接起来。它最大的特征还在于连接和数据，通过企业内、企业间的协同和各种资源的共享和集成优化，重塑了制造业的价值链。互联网的使用不仅极大地降低了协作的成本，同时制造过程当中的全流程管理和执行也使得组织要素的边际生产力得到了提升。

4. 制造系统发展的第四个阶段：基于 HCPS 2.0 的新一代智能制造

新世纪以来互联网、云计算、大数据等信息技术日新月异、飞速发展，并极其迅速的普及应用，形成了群体性的跨越。这些历史性的技术进步集中汇聚到了新一

代人工智能的战略性突破，新一代人工智能已经成为新一轮科技革命的核心技术。新一代人工智能呈现出了很多重要的特征。最大的特征是解决复杂问题的方法，从强调“因果关系”的传统模式向强调“关联关系”的创新模式转变，进而向“关联关系”和“因果关系”深度融合的先进模式发展，解决复杂问题即不确定性问题的能力突飞猛进，这是它最大的特色。

如果说数字化、网络化制造是第四次工业革命的开始，新一代智能制造的突破和广泛应用将推动形成第四次工业革命的高潮，重塑制造业的技术体系、生产模式、产业形态。以人工智能为标志的信息革命引领和推动着第四次工业革命，因此面向新一代智能制造的 HCPS 可以定义为 HCPS 2.0，最重要的变化发生在起主导作用的信息系统，这个信息系统和刚才的 HCPS 1.0 和 1.5 的信息系统，把部分认知和学习的大脑劳动转移给了信息系统。HCPS 2.0 当中的信息系统增加了一个重要部分，也是最关键的部分——基于人工智能技术的学习和认知的部分。因此不仅具有了感知决策和控制能力，更是具有了学习认知产生知识的能力，也就拥有了真正意义上的人工智能。

新一代智能制造的 HCPS 2.0 不仅可以极大地提高处理制造系统复杂性、不确定性问题的能力，而且可以使得制造知识的产生、利用、传承和积累效率发生革命性的变化。人和信息系统的关系发生了根本性的变化，用中国的一句成语来表达是非常精确的，就是从“授之以鱼”发展到了“授之以渔”，1.0 和 1.5 的时候其实是“授之以鱼”的概念，只有到了 2.0 的时候已经可以学习、可以认知、可以产生知识和运用知识，这时我们和机器的关系是“授之以渔”的关系。

新一代智能机床是在互联网、大数据、云计算的基础上，

应用新一代人工智能技术和先进的制造技术深度融合的机床。它能够实现自主感知、自主学习、自主优化决策、自主控制和执行，极大地提高机床加工的质量、使用效率和降低成本，可以完成质量提升、工艺优化、生产管理，如图 3。图中蓝色是属于自主感知的部分，粉红色是自主学习的部分，黄色是自主优化和决策的部分，浅蓝色是自主控制和执行的部分。

新一代智能制造进一步突出了人的中心地位，在 HCPS 2.0 当中人是主宰，一方面智能制造将更好的为人类服务，另一方面人作为制造系统创造者和操作者

的能力将极大地提高。人类智慧的潜能将得以极大地释放，社会生产力将得以极大地解放，知识性工作自动化或者知识工程，将使得人类从大量的体力和脑力劳动当中解放出来，人类可以从事更有价值的创造性工作。

二、面向新一代智能制造 HCPS 2.0 的内涵

新一代智能制造既是一种新的制造系统，也是一种新的技术体系，是有效解决智能制造各种问题的新的普适性方案。它的内涵可以从系统、技术和愿景等多个视角进行描述。

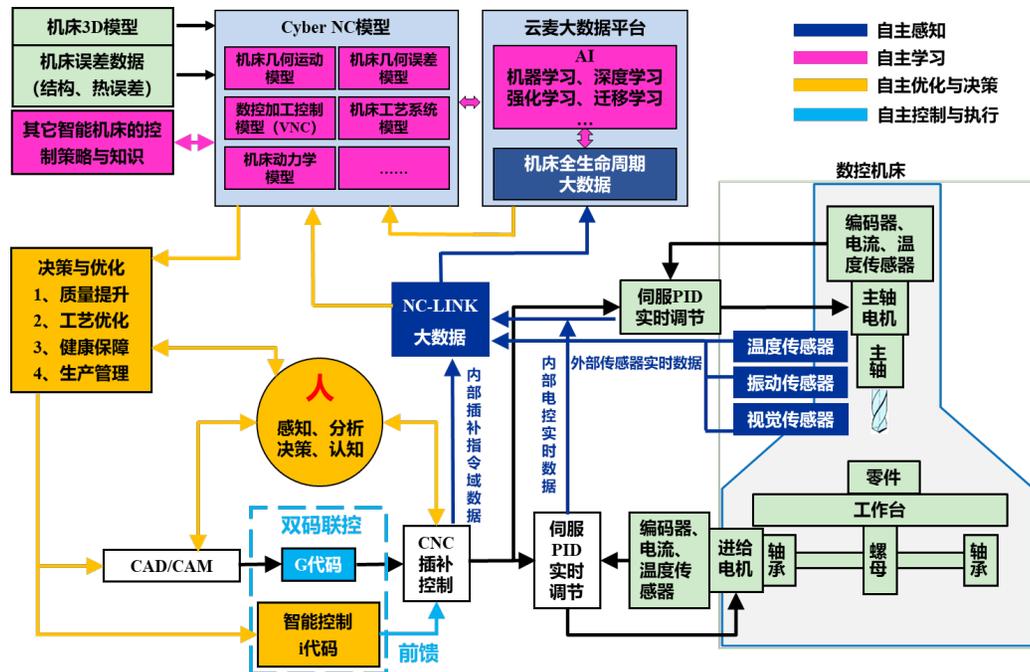


图 3 智能机床控制原理

从系统构成看,新一代智能制造是为了实现一个或多个制造价值创造目标,由相关的人、拥有“人工智能”的信息系统以及物理系统有机组成的综合智能系统。其中,物理系统是主体,是制造活动能量流与物质流的执行者,是制造活动的完成者;拥有人工智能的信息系统是主导,是制造活动信息流的核心,帮助人对物理系统进行必要的感知、认知、分析决策与控制,使物理系统以尽可能最优的方式运行;人是主宰,一方面,人是物理系统和信息系统的创造者,即使信息系统拥有强大的“智能”,这种“智能”也是人赋予的,所解决的问题、目标和方法等都是由人掌控的;另一方面,人是物理系统和信息系统的使用者和管理者,系统的最高决策和操控都必须由人牢牢把握。从根本上说,无论物理系统还是信息系统都是为人类服务的。简而言之,对于新一代智能制造,制造是主体,智能是主导,人是主宰。

从系统特征看,新一代智能制造整体上不仅呈现出强大的感知、认知、决策、控制以及执行能力,更是具有学习认知、产生知识和自我提升的能力,能不断学习与调整以使自身行为始终趋于最优。

从系统用途看,新一代智能

制造可用于解决产品全生命周期中的设计、生产、管理、使用、服务等所有环节及其系统集成的问题。

新一代智能制造是数字化网络化智能化技术与制造技术的深度融合,其核心是新一代人工智能技术与制造技术的深度融合。

从技术本质上来看,新一代智能制造主要是通过新一代人工智能技术赋予信息系统强大的“智能”,从而带来了重大的技术进步:

一是从根本上提高制造系统建模的能力,极大提高处理制造系统复杂性、不确定性问题的能力,有效实现制造系统的优化;二是使信息系统拥有了学习认知能力,使制造知识的产生、利用、传承和积累效率均发生革命性变化,显著提升知识作为核心要素的边际生产力;三是形成人机混合增强智能,使人的智慧与机器智能的各自优势得以充分发挥并相互启发地增长,极大释放人类智慧的创新潜能,极大提升制造业的创新能力。

总体而言,HCPS2.0目前还处于“弱”人工智能技术应用阶段,新一代人工智能还在急速发展的过程当中,将继续从“弱”人工智能迈向“强”人工智能,新一代智能制造技术也在急速发展的过程当中。

HCPS 2.0是实现新一代智能制造的共性使能技术,可以广泛适用于离散型制造和流程型制造的产品创新、生产创新、服务性创新等制造价值链的全过程创新,这种共性使能技术包含两个要点。

第一,应用新一代人工智能技术对制造系统“赋能”,制造工程创新有很多的途径,主要有两种方法,一种是制造系统的原始性创新,这种创新是根本性的,极为重要;二是“赋能”创新,即应用共性使能技术对制造技术“赋能”,大量的创新实际上是属于第二种创新,二者深度融合形成创新的制造技术。这种创新是具有普适性、通用性的创新,能应用于各行各业,使各行各业升级换代,是一种革命性的集成式的创新。前三次工业革命核心技术分别是蒸汽机技术、电机技术和数字化技术,第四次工业革命的共性使能技术是人工智能技术。人工智能技术和制造技术的深度融合形成HCPS 2.0的智能制造技术,成为第四次工业革命的核心驱动力。

第二,新一代人工智能技术需要和制造领域知识和技术进行深度融合,成为新一代智能制造技术。制造是主体,赋能技术或者叫共性使能技术是为制造升级服务的,只有与领域技术深度融

合才能真正的解决问题，才能真正发挥作用。因此制造技术是领域技术，为主体；智能技术是赋能技术，为主导；二者辩证统一、融合发展。因而，制造业的技术改造，智能升级工程对于智能技术而言是先进技术的推广应用工程，对于各行各业、各种各类制造系统而言是应用共性使能技术对制造系统进行革命性、集成式创新的工程。

三、面向新一代智能制造的 HCPS 2.0 的技术体系

智能制造总体架构可以从智能制造的价值维、技术维和组织

维三个维度进行描述，如图 4 所示。

1. 智能制造的价值维

从价值维来说，智能制造的根本目标是实现价值创造、价值优化。智能制造的价值实现主要体现在产品创新、生产智能化和服务智能化三个方面以及他们的系统集成。当然，还可以进一步细分。产品创新可根据需要进一步细分为产品设计、评估验证等环节及其集成。生产智能化一般可细分为工艺设计、工艺过程、质量控制、生产管理等环节及其集成。服务智能化包括以用户为

中心的产品全生命周期的各种服务，如定制服务、远程运维等，延伸发展服务型制造业和生产性服务业，深刻地改革制造业的生产模式和产业形态。

2. 智能制造的组织维

智能制造的组织维包括智能单元、智能系统和系统之系统三个层次，这三个层次也可以进一步细分。智能单元是实现智能制造功能的最小单元，可以是一个部件、产品或装备。智能系统通过工业网络集成多个智能单元，包括生产线、车间、企业等多种形式。系统之系统是多个智能系统的有机结合，实现跨系统、跨平台的横向、纵向和端到端集成。

新一代智能制造是一个大系统，主要由智能产品、智能生产和智能服务三大功能系统以及智能制造云和工业物联网两大支撑系统集成而成。其中，智能产品是主体，智能生产是主线，以智能服务为中心的产业模式变革为主题。智能制造云和工业物联网是支撑智能制造的基础。

系统集成把智能制造各个功能系统和支撑系统集成成为新一代智能制造系统，系统集成是新一代智能制造最基本的特征和优势。新一代智能制造内部和外部

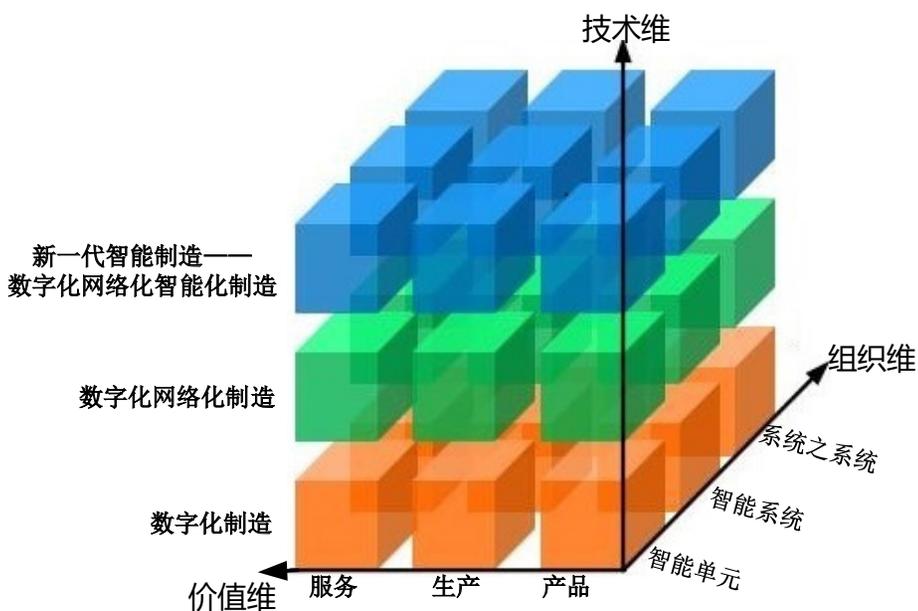


图 4 智能制造总体架构的三维描述

都呈现出前所未有的系统大集成特征，包括制造系统内部的大集成（企业内部设计、生产、销售、服务、管理过程等实现动态智能集成，即纵向集成；企业与企业之间基于工业物联网与智能云平台，实现集成、共享、协作和优化，即横向集成）和制造系统外部的大集成（制造业与金融业、上下游产业的深度融合形成服务型制造业和生产性服务业共同发展的新业态；智能制造与智能城市、智能农业、智能医疗等交融集成，共同形成智能生态大系统——智能社会）。

3. 智能制造的技术维

智能制造从技术演变的角度

体现为数字化制造、数字化网络化制造、新一代智能制造三个基本范式，如图 5 所示。基于 HCPS 的智能制造的三个基本范式体现了智能制造发展的内在规律：一方面三个基本范式是递次展开，各有自身阶段的特点和需要重点解决的问题，体现着先进信息技术与制造技术融合发展的阶段性特征；另一方面，三个基本范式在技术上并不是决然分离的，而是相互交织、迭代升级，体现着智能制造发展的融合性特征。

智能制造在西方发达国家是一个串联式的发展过程，数字化、网络化、智能化是顺序发展智能制造的三个阶段。中国不能走西方顺序发展的老路。我们起步晚、基础差，如果用几十年的时间充

分发展数字化制造之后再发展数字化网络化制造、进而发展新一代智能制造，这样我们将会再次落后，无法完成我国制造业转型升级的历史任务。所以，我们必须充分发挥后发优势，采取并联式的发展方式，数字化、网络化、智能化并行推进，融合发展。一方面，我们必须实事求是、因企制宜，推进企业的智能制造转型升级。我国的广大中小企业还远远没有实现数字化制造，必须扎扎实实地完成数字化的补课，打好数字化的基础。另一方面，我们又必须坚持创新引领，努力的直接利用互联网、大数据、人工智能等先进技术，以高打低，走出一条并行推进智能制造的新路子。企业是推进智能制造的主体，每个企业都要因企制宜，要根据自身实际总体规划、分步实施、重点突破、全面推进、产学研协调创新，实现企业的技术改造、智能升级。

如果说数字化网络化制造是新一轮工业革命的开始，那么新一代智能制造的突破和广泛应用将推动形成这次工业革命的高潮，重塑制造业的技术体系、生产模式、产业形态，并将引领真正意义上的工业 4.0，实现第四次工业革命。MT

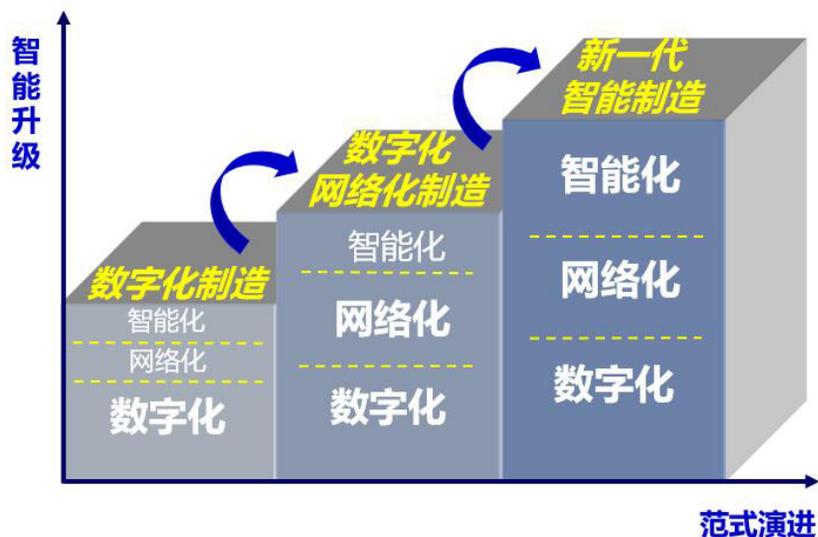


图 5 智能制造的三个基本范式

中美制造业创新中心运行机制的比较研究



机械科学研究总院装备制造业发展研究中心 袁志勇 吴进军

近年来,美国为重振制造业,加速推动国家制造创新战略计划的实施,重点围绕基础制造技术创新和科技成果转化等建设了14家“制造创新研究院”(以下统称创新中心),组成遍布全国的“国家制造创新网络”,涉及近2000家企业、院所、大学、咨询等机构。2017年5月,美国先进制造国家计划办公室发表了《从概念到实践:制造业——美国年度报告》,充分肯定了创新中心取得的成就。

与此同时,为落实制造强国战略,中国也正加快制造业创新中心的建设步伐,截至2019年第一季度,国家制造业创新中心已达10家。从运行机制来看,中国制造业创新中心建设主要采

取“公司+联盟”的方式,与美国的区别较大。本文主要通过比较中美制造业创新中心运行机制,希望对中国制造业创新中心建设有一定参考意义。

一、中美创新中心的定位差别

(一) 美国制造业创新中心建设背景及定位

奥巴马总统任期,依托于总统办公室的战略研究小组通过大量研究分析发现,美国仍是全球创新能力最强的国家,但存在“发明在美国,生产在他国”即“制造业空心化”问题,而“研发与产业存在鸿沟”、“熟练技师和

工程师缺乏”是造成这一问题的重要根源之一。由大学校长及工业界巨头组成的美国先进制造创新伙伴(AMP)顾问委员会,针对美国制造业上述问题,提出要建立制造创新网络,以解决基础研究与产业化之间的鸿沟。2013年1月,美国总统办公室、国家科学技术委员会和先进制造国家计划办公室联合发布《国家制造业创新网络:一个初步设计》,通过建立一批制造创新中心,构建国家制造创新网络,从体制机制上创造一种新的制造创新组织模式。这被认为是加速推进先进制造创新产业本土化发展,推动海外制造业回归美国的关键所在。

美国制造业创新中心扮演着

技术“孵化器”的角色，主要功能是加速先进制造技术的创新及成果转化和产业渗透，为美国制造企业提供经过验证的先进制造技术和应用示范，促进前沿创新技术向规模化、经济高效的美国制造能力转化。一是致力于先进制造技术的开发、转化与应用。对处于“竞争前”阶段的先进制造技术开展应用性研究、试验性开发、商品化试制，把实验室环境下的技术能力转化为产业环境下的生产能力；二是围绕特定先进制造技术构建创新生态系统。通过设置适用于各类机构的多层次会员制度，构建了一个以特定先进制造技术为基础、“产学研政”共同参与的创新生态系统；三是整合创新资源形成完整的技术创新链条。通过项目定制和招标，推动会员之间紧密联系、信息共享和合作研究，形成从基础研究到应用研究再到商品化和规模化生产的完整的技术创新链条；四是培养人才，教育大众。

总体看，美国制造业创新中心定位为共性技术联合攻关的组织者、技术“孵化器”的角色，发展目标不是把自身培育成市场及产业化的竞争主体，根本定位

是研发和服务。

（二）中国制造业创新中心建设背景及定位

中国制造业“大”而不“强”，表现为对外技术依存度高、关键核心技术受制于人、产业共性技术供给不足、创新成果产业化不畅等。造成这些问题的主要原因包括原有机工业完整的共性技术研究开发体系完全被放弃，当前产业共性技术供给体系缺失，仅存的一些还能够存活下来的改制院所为了生存，大都在消耗原有技术积累，创新能力和创新意愿大大减小，造成实验室技术向产品技术转移的创新平台和中试系统，以及产业发展的基础材料、基础工艺、技术基础较为薄弱等。为了推进制造强国建设，工信部、发改委、科技部以及财政部，积极借鉴发达国家的战略部署和成功经验，提出建设国家制造业创新中心。

国家制造业创新中心是国家级创新平台的一种形式，是由企业、科研院所、高校等各类创新主体自愿组合、自主结合，以企业为主体，以独立法人形式建

立的新型创新载体。一是在重点领域形成以创新中心为核心节点的创新生态网络，支撑国家制造业创新体系建设，为行业发展提供前沿和共性关键技术的研发扩散和首次商业化服务；二是集聚整合包括科研基础设施、科技工程数据、知识产权以及人才、标准、资本等在内的各类创新资源和要素，重点开展制造业前沿技术和共性关键技术研发，推动技术成果转移扩散和首次商业化，面向行业、企业提供公共技术服务；三是提供从技术委托研发、测试认证、标准制定、专利运用、成果评估、应用推广、企业孵化到信息服务、人才培养、项目融资等一系列公共服务；四是建立产学研用紧密结合的人才培养机制。

总体来看，中美两国制造业创新中心产生的背景有所不同，美国主要是推动先进制造技术创新本土的产业化以及海外制造业回归，解决先进的基础研究与产业化之间的鸿沟。而中国制造业主要问题是“大”而不“强”，不仅要解决共性技术供给体系缺失、基础薄弱等问题，还要把自身“创新中心”培育成市场和产

业化的竞争者。这也导致了两国制造业创新中心定位重点有所区别。

二、中美创新中心建设机制与运行机制的区别

（一）建设机制

1. 牵头单位不同

根据设计，美国制造业创新中心牵头机构必须是非营利组织，总体来看，已成立的14家创新中心牵头机构分三种：一是学术界牵头，如独立的非营利研究院、国家实验室牵头组建数字化设计与制造创新研究院；二是服务机构，如牵头组建增材制造创新研究院的美国国防加工与制造中心，是服务于国防部的非政府组织；牵头组建轻量化材料创新研究院的美国爱迪生焊接研究所，这些机构一直就是通过收取会费为各界提供技术服务，解决技术难题；三是行业产业联盟，如柔性电子制造创新研究院，由柔性电子产业联盟牵头组建。

根据设计，中国制造业创新中心以企业为主体，依托已有产业技术联盟，或引导鼓励企业、

科研院所、高校，尤其是转制院所，自愿选择自主结合。从目前成立的中心来看，牵头机构主要为国有企业或大学，如全国第一家国家制造业创新中心——国家动力电池创新中心牵头机构给为国联汽车动力电池研究院有限责任公司，国家增材制造技术与装备创新中心牵头机构为西安交通大学。

总体看，由于美国共性技术研究单位的发展没有中断，重点方向均具有行业高度认可，具备牵头组织并作为重要研究参与力量的非营利性公共技术研究服务机构承担创新中心的牵头单位。我国由于部委撤并及院所转制，大多领域已经没有被行业完全信服的公共技术研究服务机构，具备牵头组织、自身具有领先研究能力的非营利性机构较少，因此看上去采用了“另建炉灶”的方式。

2. “股份制”的内涵不同

美国创新中心以PPP模式（Public-Private-Partnership）运作，政府、业界共同出资，采用“股份制”运行，但其股份制的实质是根据出资的比例，对制订技术战略、项目指南以及技术路线图，特别是资金研发方向等

确立的投票权，根据出资比例拥有不同的投票表决权，同时对研究成果分享的优先权等。在此机制下，大部分公共投入基础设施会部分留在牵头单位，部分根据研发课题具体牵头单位的不同，留在不同承担单位。同时，资金投入是通过反复的专家论证，从国家创新战略开始逐级推演，选出技术要突破的领域，具备更加明确的产业目标导向，即真正遴选出产业共性技术的难点和前沿。

中国创新中心同样采取政府、业界共同出资，但明确要求按照现代企业制度，注册成为“有限公司”。但从实际运营看，多数参与单位虽然也出了部分资金，但实际上都是“捧场者”，创新中心资金投入方向实质上依旧是牵头单位着眼于所挂靠主体自身利益开展投入，往往没有着眼于行业真正的难点、痛点及前沿；同时，科研项目基本上都是创新中心自己内部执行，参加单位的研究力量一般都没有真正参与其中。

总体看，美国创新中心的股份制实质体现在“资金研发方向的确立及成果分享”，而我国更

多体现在“公司制”表象。

（二）运行机制

1. 组织方式不同，会员制与股份制

美国制造业创新中心实行分级会员制，根据缴纳会费不同将会员分为若干等级，拥有不同权力、承担不同义务，会员等级越高，缴纳会费越多，需向研究院投入的项目资金也越多，相应研究院管理、项目策划、联合研究、知识产权、设施使用、人员培训等方面享受的权力也越多。同时，高级会员可加入管理委员会，从而参与制订技术战略、项目指南以及技术路线图等。

中国制造业创新中心建立政产学研相结合的机制体制，政府通过财政、政策支持并引导创新中心的建设和运行。创新中心的运行采用市场化和产学研用协同创新相结合的机制，由牵头机构联合各家股东成员（参与机构）共同出资成立独立公司，建立现代法人治理机构，按照市场化运行，经营自主决策，自负盈亏、自我发展。

2. 创新活动组织实施的不同

创新活动，包括技术产业化，是创新的核心内容。

美国制造业创新中心以项目为核心组织实施创新活动，项目支持起点是对领域内先进制造技术进行甄别，终点是将该技术转化为可规模化生产的产品。首先是技术甄别。定期举办由“产学研政”各方会员参与的线上线下研讨会，识别重大技术挑战领域 MTA (Mainthrust Area)，然后扩大对问题空间的探索，针对解决方案的识别、聚焦和加速形成，驱动旨在快速上市的研究工作。其次是筹集研发提案。项目确立后，中心向各会员机构征集研发提案，各机构可自由组队，向中心递交各自的研发提案。再次是招标遴选。中心通过招标，公平竞争选出最优方案，并给予相应资金资助。最后是技术开发和转化。所选定项目进入技术开发和转化阶段后，中心会组织更多会员资源，为其提供所需的智力、材料、设施、试验场地、生产车间等资源，降低技术转化成本。

中国制造业创新中心总体处于起步阶段，从有关单位的建设方案来看，创新中心将采取产学研协同机制开展技术规划论证、

技术研发、技术应用与商业化转移、行业服务等工作，从而形成具有生命力的创新链。中心和各机构开展创新活动的方式主要如下：一是中心与国家级创新机构通过战略合作协议、定向任务委托、联合开发等形式进行结合，以合同形式约定双方的收益与权责；二是中心依托已有的国家级标检认机构，作为创新中心标准制定、检测、认证的重要载体；三是创新中心与高校建立战略合作关系等方式共同承担科研任务。

总体来看，美国制造业创新中心是创新活动的组织者，创新活动的主体是各会员单位，创新中心为会员提供各种便利条件；中国制造业创新中心是创新活动的主体，因此需要有一定的场地、科研设施、研发人员等条件。

三、结论及相关建议

美国制造业创新网络已建立了 14 家创新中心，受到了美国两党广泛的支持。制造业创新中心建设也是特朗普政府在继承前人并持续推进的为数不多的政策之一。比较中美两国制造业创新中心运行机制，吸取美国制造业

创新网络发展经验，对中国制造业创新中心，提出几点建议。

1. 中心应体现国家意志

整体来看，美国制造业创新中心仍然是在政府领导及支持下的制造业创新中心，围绕美国“制造业回归”战略，坚持“美国优先”，开展创新活动，具体体现在：一方面，在创新中心创建初期5~7年内，美国联邦政府持续投入支持资金，助推创新中心快速发展。另一方面，以具有一定设备、人才等基础的非营利组织为牵头机构，科学的聚焦行业真正痛点、难点与前瞻技术研究与公共服务，客观公正地组织会员开展各种创新活动。

中国制造业创新中心也应体现国家意志，围绕制造强国战略目标，开展产学研用创新活动。一方面，政府应持续给予创新中心一定的政策或一定比例的资金支持，推动创新中心加快发展并尽快开展工作。另一方面，以具备一定关键共性技术研发基础的行业科研院所为主要牵头单位，围绕国家战略，以为全行业提供关键共性技术支撑及组织行业企业、高校产学研用协同攻关为主要目标，体现一定公益性。

2. 中心应成为行业共性技术研发和服务平台及创新活动的组织者

美国制造业创新中心坚持以会员制为核心的运行机制，组织会员产学研用成立创新联合体，因此，会员是创新活动的主体，会员以级别权重决定创新活动的方向；创新中心通过各种方式，如建立数据库等，留住会员并吸引新会员加入；从当前来看，有可能会员费将是创新中心的主要收入来源。

习近平总书记在党的十九大报告中明确指出，要深化科技体制改革，建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系。中国制造业创新中心的创新活动也应坚持以企业为主体，创新中心除开展关键共性技术攻关和提供标检认等公共服务、为创新活动提供支撑外，应重点以招标等形式组织参与单位开展协同创新，参与单位以在创新中心的股份权重投票决定创新活动的方向。总的来看，创新中心应成为行业的公共服务平台和创新活动的组织者，而不能局限于技术成果的内部转化，避免形成受益群体非常局限的局面。

3. 围绕科技重大专项实施，加快成立一批创新中心

自2009年以来，我国出台了一批科技重大专项，如“核高基（01专项）”、“高档数控机床与基础制造装备（04专项）”等，与此同时，面向2035年新一轮国家科技中长期规划正在加紧制定中，一批新的重大科技专项即将出台。在新的国际环境下，为更好的服务国家战略需求，加快突破短板及卡脖子并具体产业的原创新发展，应充分总结前期系列重大专项机制体制和不足的基础上，特别是针对像04专项等前期执行相对分散、没有形成技术牵总单位、缺失共性技术可持续供给机制的专项，以提升行业自身技术创新能力和产业竞争力为根本出发点，以国防军工等重点领域“卡脖子”、“短板”、“前瞻性”、“战略性”技术与装备重大需求为需求引领，紧扣技术产品发展体系，加快布局一批新的制造业创新中心，夯实专项技术牵总责任，打造共性技术可持续发展供给机制，为创新驱动发展战略、制造强国建设奠定坚实基础。■

从“国家制造业创新网络”到“美国制造”*

——美国制造业战略的延续与变化



中国科学技术发展战略研究院 朱焕焕 陈 志

摘要: 2018年9月,美国发布了最新“美国制造”年度报告,对美国制造业创新网络的建设情况进行了总结,并指出了下一步的发展路线。针对“美国制造”年度报告的重点,本文分析了美国制造业创新网络建设在计划宗旨、领域布局、技术路线制定和创新生态打造等方面呈现出的新变化和新特点,并结合美国的相关经验,对加强中国制造业创新中心建设提出了措施建议。

21世纪初,随着全球产业转移浪潮不断推进,美国本土制造业不断外流,“产业空心化”问题不断凸显,2010年中国制造业增加值超过美国,成为名副其实的“世界第一”“制造大国”……

美国制造业的全球领先地位受到威胁。为了重建制造业的全球领导力和竞争力,美国政府开始用“后工业化”的思维反思其制造业发展,相继颁布和实施了一系列产业复兴计划。如,2009年

12月颁布了《重振美国制造业框架》,通过财政支持、投资引导、税收减免等方式,支持制造业尤其是先进制造业发展,但收效甚微。美国总统科技顾问委员会(PCAST)发现,导致美国制造业竞争力下降的因素,并不在于高昂的劳动力价格——德国的工资比美国高30%~40%,但其制造业仍然一枝独秀——关键问题还是基础科研和商业化生产之间的空缺,即传统的“死亡之谷”。2011年总统科技顾问委员会向国会提交了《确保美国在先进制造业的领导地位》的报告,并最终推动国会通过了“先进制造业伙伴计划”和“振兴美国制造业



* 本文原载于《全球科技经济瞭望》2019年2月刊,本刊获得授权转载。

和创新法案”，在此基础上，国家制造业创新网络（NNMI，2016年9月更名为“美国制造”，Manufacturing USA）设想被提出并于2014年以法案形式确定下来。计划旨在通过建立关键领域的研究所来聚集工业界、学术界、国家实验室、联邦和地方政府等多个主体，建立和完善创新生态系统，并通过公私合作伙伴关系（PPP）促进非政府投入，加快美国先进制造能力发展，从而提高美国制造业的竞争力。

1. 金融危机以来美国制造业的战略变化与缓慢复苏

“去工业化”时代，美国产业加速向金融、房地产、服务业等虚拟经济领域转移并逐渐过度依赖，同时本土制造业不断向新兴发展中国家外流，“产业空心化”趋势加重。2008年全球金融危机后，美国开始反思虚拟经济过度发展带来的弊端，逐渐认识到振兴实体经济对优化国民经济结构和撑起国民经济脊梁的重要作用，并大力推行鼓励科学创新、出台量化宽松政策、培养大量人才、吸引高技能人才移民、推行新能源政策、促进出口等“制造业回流”战略，鼓励和引导部分海外制造业迁回本土发展，力图重建和强化其在制造业领域的竞争优势。纵观危机以来美国制造

业的战略与发展，大致经历了奥巴马政府从着力降低制造业成本到强调制造业技术创新的“国家制造业创新网络”建设，再到特朗普政府强调技术商业化能力的“美国制造”3个阶段。

在多种政策驱动和加持下，美国制造业开始缓慢复苏。从制造业规模来看，2009—2017年美国制造业增加值缓慢增长，2016年达到了1.91万亿美元，已基本与危机前最高水平持平（见图1）。从制造业比重情况来看，2008—2017年美国制造业增加值

比重一直保持在11.6%~12.3%之间（见图2），美国服务业的迅速发展使得制造业产值比重尚未达到危机前的水平，但一直是仅次于金融保险、专业性商业服务的第三大产业。从制造业成本来看，波士顿咨询于2015年发布的《全球制造业的经济大挪移》报告显示，美国制造成本正变得越来越低廉，商品平均成本只比中国高5%。从全球制造业产业链来看，美国依然是全球制造业强国，占据了大多数的产业链高端环节。如，以智能手机为例，市

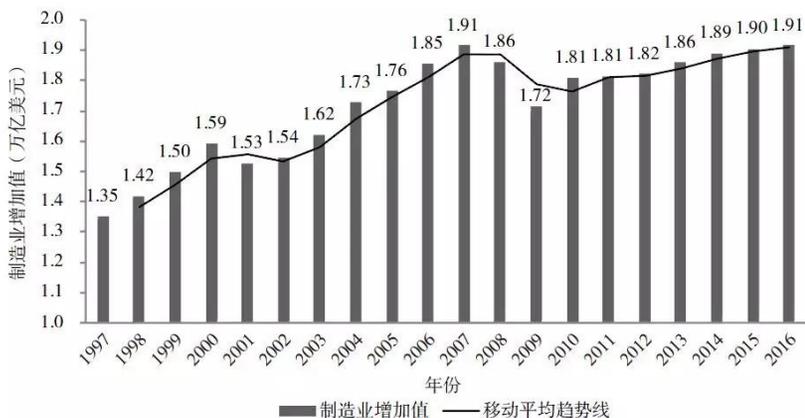


图1 历年美国制造业增加值变化情况

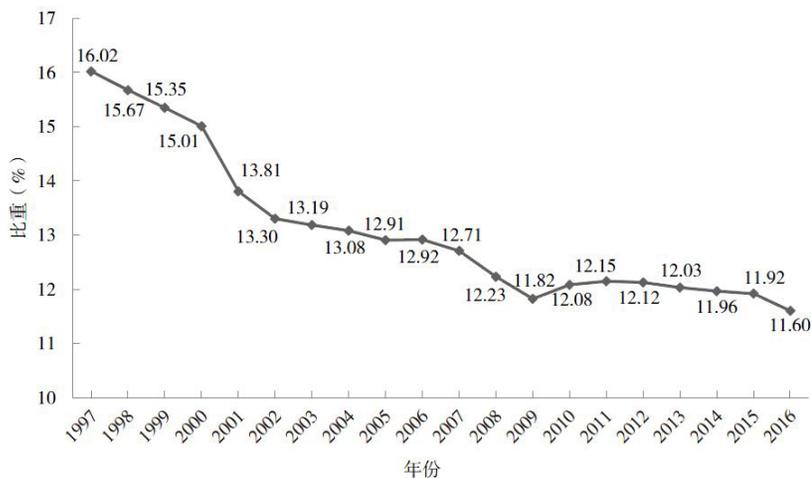


图2 历年美国制造业增加值占GDP的比重

场调研机构 Counterpoint 发布的 2018 年全球智能手机品牌的利润分布情况显示, 尽管 iPhone 销量增速出现停滞, 但其依然是全球最赚钱的智能手机, 2018 年第二季度占据了全球智能手机市场 62% 的利润, 而排名第二的三星只有 17%。

2. “美国制造”计划背后的四大战略调整

与原先“国家制造业创新网络”更加强调提升制造业创新能力不同, “美国制造”更强调技术创新的商业化。最新年度报告显示, 2017 财年(美国政府的财年为每年 10 月 1 日至次年 9 月 30 日), “美国制造”在创新网络构建、联邦资金撬动、研发项目规模、创新生态建设等方面取得了重要进展。

(1) 创新网络不断扩大。在能源部、国防部和商务部的资助下, 新增智能制造的清洁能源制造创新研究所(Clean Energy Smart Manufacturing Innovation, CESMII)、先进组织生物制造创新中心(Advanced Regenerative Manufacturing Institute, BioFabUSA)、先进机器人制造中心(Advanced Robotics for Manufacturing Institute, ARM)、国家生物制药创新中心(The National Institute for

Innovation in Manufacturing Biopharmaceuticals, NIIMBL)、过程强化部署快速推进中心(Rapid Advancement in Process Intensification Deployment Institute, RAPID)和节能减排创新中心(Reducing Embodied-Energy and Decreasing Emissions, REMADE) 6 家创新机构, 机构总数达到 14 家(见表 1)。

(2) 联邦资金的杠杆作用不断提升。2017 财年, 研发项目经费总额为 2.985 亿美元。其中, 联邦经费 1.207 亿美元, 非联邦匹配投资 1.778 亿美元, 匹配比例接近 1.5 : 1, 超过了计划预定的 1 : 1 的资金匹配目标。

(3) 研发项目不断增加。2017 财年, 正在进行的研究项目数量达到了 273 项, 与上财年相比增长了 42.5%。

(4) 创新生态系统不断完善。与上财年相比, 会员总数增长 50% 以上, 达到了 1291 个。协会成员继续保持多样性, 其中包括 844 所制造工厂、297 所教育机构(大学、社区学院和其他学术机构)以及 150 个其他实体(联邦、州和地方政府、联邦实验室及其他组织)。产业成员仍以中小型企业为主, 占总产业成员的比例达到了 65%。

与国家制造业创新网络相比, 不管是领域选择, 还是机构在创新链的布局, “美国制造”

均呈现出了一些新变化、新特点。

一是更加强调通过创新实现本土化制造。

与奥巴马政府通过国家制造业创新网络建设发展先进制造业和吸引高端制造业回流的策略不同, 特朗普政府更强调将技术创新转为规模化、符合成本收益高绩效的本土制造能力, 并希望制造业的振兴可以带动更多的就业。从其不惜反对全球化、终止北美自贸协定, 并多次威胁宣称退出世界贸易组织等行动中可见一斑。

二是研究院的设立与领域的布局更加强调满足军民融合等重大战略需求。

美国 86% 以上的医疗保健费用与慢性病有关, 每年因心脏、肾脏、肝脏或胰腺等器官衰竭而死亡的人数达到 75 万, 为此该计划专门新设立了美国先进再生制造创新中心, 其在研的下一代组织构建及相关制造技术希望在为负伤士兵制造新皮肤、血液制品和器官的同时, 为普通民众提供改善健康状况、降低成本的方法。美国先进功能织物研究所正在实施基于光的新一代通信系统, 不仅便于军事人员在秘密行动中更有效和安全地操作, 还可用于在全球定位系统(GPS)无法运作的建筑物中进行民用搜索和救援操作。

三是产业创新相关的重大战略与计划的技术路线更加强调

表 1 “美国制造” 14 家创新机构

技术	机构	主要筹资机构	总部	成立时间
增材制造	美国制造创新研究所 (AM)	美国国防部	俄亥俄州扬斯敦	2012 年 8 月
数字制造与设计	数字制造与设计技术创新研究所 (DMDII)	美国国防部	伊利诺伊州芝加哥	2014 年 2 月
轻量化金属制造	明日轻质创新研究所 (LIFT)	美国国防部	密歇根州底特律	2014 年 2 月
宽带隙半导体制造	电力美国创新研究所 (PowerAmerica)	美国能源部	北卡罗莱纳州罗利	2015 年 1 月
纤维增强聚合物复合材料	先进复合材料制造创新研究所 (IACMI)	美国能源部	田纳西州诺克斯维尔	2015 年 6 月
集成光子学制造	集成光子制造创新研究所 (AIM Photonics)	美国国防部	纽约州罗切斯特和奥尔巴尼	2015 年 7 月
柔性电子器件和传感器制造	柔性混合型电子制造创新研究所 (NextFlex)	美国国防部	加利福尼亚州圣何塞	2015 年 8 月
纤维材料与制造工艺	美国先进功能织物研究所 (AFFOA)	美国国防部	麻萨诸塞州剑桥	2016 年 4 月
智能制造	智能制造的清洁能源制造创新研究所 (CESMII)	美国能源部	加利福尼亚州洛杉矶	2016 年 12 月
生物加工与制造	先进组织生物制造创新中心 (BioFabUSA)	美国国防部	新罕布什尔州曼彻斯特	2016 年 12 月
机器人制造	先进机器人制造中心 (ARM)	美国国防部	宾夕法尼亚州匹茨堡	2017 年 1 月
生物医药制造	国家生物制药创新中心 (NIMBL)	美国商务部	特拉华州纽瓦克	2017 年 3 月
面向清洁生产的模块化分子化学流程能量集约化	过程强化部署快速推进中心 (RAPID)	美国能源部	纽约州纽约	2017 年 3 月
可持续减排碳排放与清洁能源制造	节能减排创新中心 (REMADE)	美国能源部	纽约州罗彻斯特	2017 年 5 月

资料来源：根据《美国制造 2017 年度报告》整理翻译

“自下而上”。

与国家制造业创新网络由联邦政府确定技术路线和项目“自上而下”的技术路线模式不同，“美国制造”计划更加强调充分发挥研究院在跨越“死亡之谷”、促进产学研一体化过程中所发挥的桥梁作用。具体来说，每一个制造创新方向都有一个研究院来针对这个焦点，集成产业界、学术界和政府合作伙伴，确定路线图，充分利用现有的资源加强协作和合作投资。这种“自下而上”的技术路线制定模式更加贴近企业和市场需求，能够极大地促进创新的商业化进程。

四是更加强调将科研机构作

为平台枢纽，打造产业创新生态。

“美国制造”计划强调通过设置适用于各类机构和组织的多层次会员制度，将政府、企业、行业联盟与协会、高等院校、社区学院、国家重点实验室以及非营利性组织等纳为会员，构建一个以特定先进制造技术为基础、“政产学研”共同参与的创新生态系统，使得创新技术甄别、技术路线选择等更贴近产业需求（见图 3）。同时，计划强调要加强研究机构与现有区域集群以及集群内部企业之间的联系，提高创新成果的“知识溢出”。此外，计划还强调要充分发挥平台在标准制定、母工厂建设等方面的作

用，以真正跨越“死亡之谷”。

如，当前增材制造研究院正联合美国国家标准协会 (ANSI) 和美国国家标准与技术研究院 (NIST) 等组织和成员，为加速增材制造规模化生产开发一套通用的增材制造标准体系。数字制造与设计研究院通过“未来工厂”建设，搭建了一座连接工业伙伴和技术提供者的桥梁。

3. “美国制造”计划对中国制造业创新中心建设的启示与建议

近年来，我国制造业持续快速发展，总体规模和综合实力

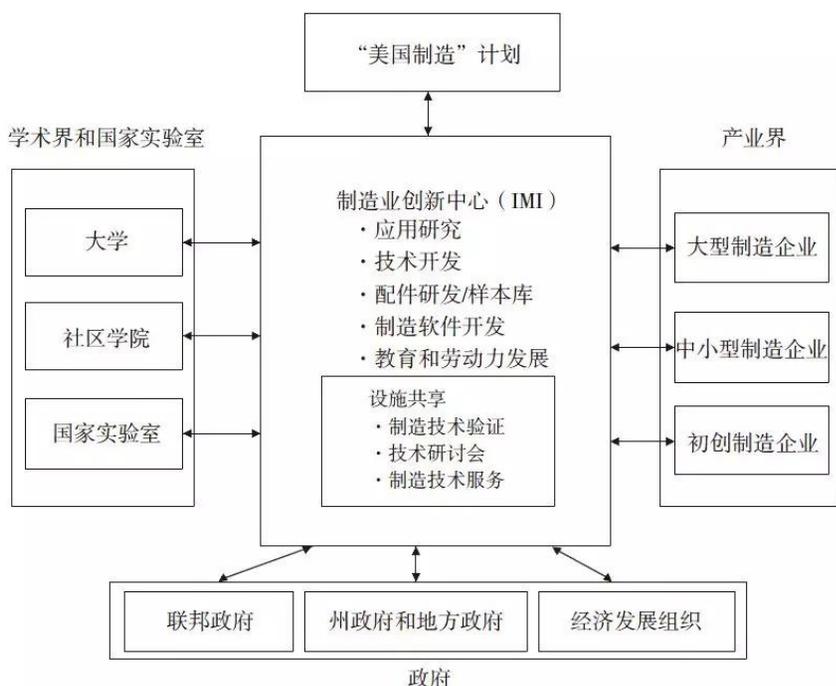


图3 “美国制造”创新生态系统

不断增强，在国际市场中的竞争力不断强化，但竞争优势领域大多集中在低技术产品领域，更多地表现为“挥汗如雨”类的竞争优势。党的十九大强调，要深化科技体制改革，建立以企业为主体、市场为导向、产学研深度融合的技术创新体系。制造业创新中心作为制造业创新体系的核心节点，是我国技术创新体系以及国家创新体系建设的重要组成部分。因此，“美国制造”在领域选择、创新链布局等方面呈现出的新特点，对我国制造业创新中心建设具有重要启示和借鉴意义。

一是国家重大科研项目设置及平台建设要进一步落实“三个面向”，强调需求导向和目标导

向。首先，面向世界科技前沿，领域及平台建设要注重夯实科技基础，不断增强自主判断科研方向、自主预测技术路线的能力，勇于提出新的科研方向，营造宽容失败、鼓励试错的创新氛围。其次，面向经济主战场，领域选择及平台建设必须要更好地服务产业转型升级和经济发展方式转变，遵循科技创新及市场经济发展规律，着力提升科技创新成果转移转化能力。最后，面向国家重大需求，领域选择及平台建设要聚焦国家战略问题，坚持有所为有所不为的基本原则，采取差异化策略和非对称路径，加强事关国计民生的重大科技攻关，着力突破“卡脖子”问题，促进创新成果更多地走进生产生活。

二是面向新一轮全球科技竞争，充分发挥国家科技创新基地与重大科研基础设施的平台和纽带作用。充分发挥企业国家重点实验室、国家工程研究中心、国家技术创新中心等技术创新与成果转化类国家科技创新基地在共性重大技术研究和产业化应用示范等方面的作用。着重发挥其在重大科研基础设施利用、科研试剂中试与工艺研发、技术标准等方面的作用，推进技术成果的转化与应用。

三是面向全球产业竞争的新趋势，国家重大科研机构与创新基地的建设要注重不断完善产业创新生态系统。国家重大科研机构与创新基地建设要注重产业链资源整合，通过建立新型创新联合体，将技术领域内的大中小企业、高校、科研机构串联起来，形成“政产学研”协同合作的创新生态系统，围绕创新技术转化和应用，加强领域内学术研讨、信息共享、设施开放、项目合作等。

四是在重大科研计划的组织实施中，赋予科研院所更多自主选择和调整技术路线的权力，特别是项目实施期间，科研院所可以在研究方向不变、不降低申报指标的前提下自主、灵活地调整研究方案和技术路线。科研院所可以根据项目需要，按规定自主组建科研团队，并结合项目实施进展情况进行相应调整。MT

制造业数字化转型思考点滴



罗克韦尔自动化（中国）有限公司 李仲杰

当前，全球制造业正在迎来新一轮的竞争和智能制造转型热潮。作为制造业企业来讲，如何实现智能转型？从哪里开始着手？需要解决哪些问题？您是否正被这些问题所困惑？根据埃森哲研究报告披露，当前 84% 的企业高管相信数字化及工业互联网技术可以为他们企业运营带来新的利润增长点，但是却只有 7% 的企业制定了实施策略，只因多数人不知道从何入手。

随着 IIoT 工业物联网相关

技术的发展演变，我们逐渐找到了转型的方向。与其空谈工业 4.0，不如静下心来进行数字化转型。要知道，无论采用何种方式实现智能制造，数字化转型都是必经之路。因为所有的智能化应用都是基于数据的利用、分析和挖掘来完成的。

一、如何进行数字化转型

也许您要问，工业 4.0 和数

字化有区别吗？总结来说，他们最大的区别在于：工业 4.0 中很多概念是抽象的，而且主要由 IT 技术驱动；而数字化转型则是内生性的，且主要由价值驱动。当前，数字化转型已经成为制造业下一阶段发展的主要方向和未来几年的重点话题。因此，如何进行数字化转型是值得进一步探讨和研究的。

对于制造业企业来讲，数字化转型涉及到企业的方方面面，不同行业、不同企业、处于不同发展阶段的企业所关心的数字化问题都有所不同。但我们还是可以通过梳理找出最重要的几个数字化转型历程，如果把这些历程与 IIoT 工业物联网或者工业互联网平台相结合，最终将构成一个可以实现智能制造的互联企业。

历程 1：工艺设备的数字化

生产设备是制造业的主要资产和投资。在理想状态下，企业的生产设备如果能实现 7×24h



连续运行就可以实现最大的投资回报率，任何停机都将为企业的投资带来损失。因此，生产设备的运行效率及健康状况是生产管理者必须时刻掌握的。

除了利用自动化技术实现设备初始设计的加工功能外，生产工艺设备的数字化还包括以下方面：

- 利用数字化技术来感知设备的各种状态；
- 利用设备数据进行生产统计；
- 利用设备数据生成设备OEE报表；
- 利用设备数据进行设备健康状态分析；
- 进行预测性维护；
- 利用数字化技术进行远程诊断和各种增值服务等。

完成工艺设备的数字化需要采用最新的数字化设备，小到传感器、仪表、开关、执行机构，大到变频器、各种控制器及PLC等等。但如果这些设备的数据并没有被企业加以利用，或者这些设备没有进行互联互通，那依然没有真正完成工艺设备的数字化。

这意味着，如果想最大化数字化进程的价值，工艺设备必须从单体设备的自我感知走向系统感知才行。由此也引出了工业物联网的大规模普及以及标准化应用的话题——EtherNet/IP是采用未经修改的标准以太网技术的



工业以太网，适合作为工业物联网的基础架构在车间全面部署，帮助企业实现IT/OT融合，促进工艺设备数字化进程。

历程 2：生产过程的数字化

工艺设备完成数字化后，企业可以利用这些数字化设备组织生产、创造价值了。此时，面临的下一个挑战是如何最大化工艺设备的效率，以及如何缩短产品的生产周期？

如果您是一位生产管理者，您的首要任务就是组织生产，包括把客户的订单在第一时间转化为工单、转化为生产线机器的运转指令、转化为物料的调度指令。如果您的企业部署了ERP系统，这就意味着将ERP系统承接的订单进行排产转化为车间生产计划，该任务在很多行业通常由MES系统的生产模块来完成。某些复杂的排产可能还需要由更专业的高级排产软件APS来进行模拟仿真运算后完成。这些系统都可以与数字化设备无缝对接，把计划落实为生产设备和人员的命令，并按照工艺要求进行生产。

生产活动开始后，下一步需要了解生产的进度如何、机器发

挥了多大的效率、工作人员工作的情况如何等等绩效指标，因此MES通常配备了绩效管理模块来提供机器和人员的综合利用率指标(OEE)，利用这些指标，可以随时了解生产情况并及时根据需要进行调整，解决存在的问题。

了解生产进度和生产指标后，往往还需要掌握生产的产品是否合格，把质量问题控制在最小化并及时解决质量隐患，这时MES的质量管理模块就派上了用场，生产过程中常见的质量问题，在这个模块里都可以被记录报告和分析，这样就保证了生产的有效性。

此时，生产活动还不能完全无忧地进行，因为生产中还有一个重要因素是物料，如果没有生产的原材料或者原材料无法在需要的时间送达需要的地方，势必导致等料误工或者物料堆积太多占用资金和空间，因此MES系统里通常也要有一个数字化的物料和仓储模块来完成这个任务。

总之，在生产过程的数字化进程中，完善的MES系统可以帮助您把人、机、料、法、环的编排组织都用数字化的形式来呈现和部署。罗克韦尔自动化的FTPC(FactoryTalk Production Center)就是一套优秀且得到广泛应用MES系统，包含了生产、绩效、质量和仓储模块及ERP的接口，并且针对汽车、制药及消费品三个主要的应用行业开发了



行业专用套件，方便快速实施。

历程 3：产品及产品管理的数字化

工艺设备和生产过程的数字化固然重要，但如果把这个过程向两端延伸，我们就会发现左边还有产品的设计验证阶段，右边有产品的使用和维护阶段。这就引出了产品全生命周期管理的概念。在这个生命周期里，谁能缩短产品从概念到设计、验证、生产、使用和服务的过程，谁就可以早于竞争对手将产品推向市场，占领先机。

这也是为什么我们需要重视产品和产品管理的数字化。利用产品的数字化模型，可以在进行产品设计的同时，进行产品的验证、生产仿真、使用测试及维护测试，从而大大加快产品的上市时间，提高客户体验和产品的竞争力。在投资入股 PTC 后，结合了 PTC 的 PLM 和数字化设计软件解决方案，罗克韦尔自动化可以帮助企业完成产品及产品管理的数字化。同时，在 Emulate 3D 加入罗克韦尔自动化大家庭后，生产验证仿真的能力也得到了极大的提高，可以在设计控制系统的同时，直接仿真生产过程，

缩短产品上市时间。

历程 4：数字化进程中不可或缺的“软装”部分

企业完成了以上的数字化进程就实现了数字化转型和智能制造了吗？也许还不是，需要做的还有很多。这有点像房屋装修，以上三个数字化历程完成了企业数字化转型的“硬装”部分，结束后还需要“软装”才能达到效果。

可以想象，数字化转型后，您的企业将拥有和积累大量的数据：实时数据在生产过程的自动化系统中应用；交易型数据在生产过程的信息化系统如 MES 中起作用；积累的历史数据则成为一个有待开发的金矿，通常可以为改进生产管理提供价值。

二、数据的实现价值——预测性维护

数据作为一种资产的独特之处是可以被无数次的利用，它的价值取决于如何挖掘以及用什么工具来挖掘。目前，历史数据这个金矿被挖掘出最多价值的领域是预测性维护，您的企业可能正在进行这项工作：将工艺设备数据的变化趋势加上算法，结合生产工艺进程，来预测设备可能发生故障的时间，从而提前采取措施避免非计划停机。

预测性维护相对而言是一个比较直观的数据应用场景，对工艺的优化则是回报更大难度也更

大的应用场景，需要由熟悉掌握生产工艺的人来完成。比如说轮胎行业的密炼机，这是一个重资产的领域，预测性维护很有价值，但是在做了预测性维护的同时，也可以对橡胶混炼过程的温度、时间、压力、门尼粘度以及能耗数据进行分析处理，优化混炼过程、提高生产效率和产品质量从而提高竞争力。

预测性维护和工艺优化的过程都涉及大量的数据运算，需要大数据及大数据分析平台。罗克韦尔自动化的 FactoryTalk InnovationSuites 就是这样的一个 IIOT 工业物联网平台，它集成了 FactoryTalk Analytics 和 PTC Thingworx 平台的优点，既有快速部署上手简单的优点，又有强大的机器学习和分析功能，可以为企业的数字化提供一个强有力的数据应用平台。

三、结束语

虽然我们将镜头聚焦于制造业，但其实各行业的数字化转型都在如火如荼地进行，因为在今天所有行业都离不开计算机及相关技术的应用，而数字化的呈现形式才更容易被计算机所利用和处理，由此也引出了数字化转型大潮并衍生迭代出一个又一个的创新和变革。与时俱进，拥抱这个变革，将更有可能率先把握竞争优势！**MT**

机器人如何改变世界

——自动化对工作和生产力真正意味着什么

编者按：本文为英国牛津经济研究院 (Oxford Economics) 发表的报告《机器人如何改变世界》(How robots change the world) 的中文版。报告基于该组织建立的研究模型，揭示了机器人对就业产生的影响。本刊全文刊登，为相关业内专家学者及政府管理人员提供参考。

前言

随着自动化、工程、储能、人工智能和机器学习等领域的快速技术进步，机器人革命正在加速推进。机器人的能力将因此转型，以往由人类完成的任务将由机器人来接管。

过去的二十年间，全球使用的机器人数量翻了三倍，达到 225 万台。趋势表明，未来 20 年间，全球机器人库存量将更快增长，至 2030 年将高达 2000 万台，仅中国就有 1400 万台。其影响是巨大的，政府和决策者都面临着新的挑战，其规模之大，同样令

人生畏。

机器人的兴起将提高生产效率，并促进经济增长。在“创造性破坏”的过程中，它也将为尚未出现的产业带来新的就业机会。但是，许多行业的现有商业模式将遭到严重破坏。随着机器人变得愈加复杂精密，人类员工被机器人取代的速度将不断加快，数千万现有的工作岗位将会消失。

对于个人和企业而言，这些失业造成的影响在不同国家和地区大不相同，低技能劳动者以及比较贫穷的地方经济会受到更大的冲击。在许多地方，这种影响将加剧失业和收入不平等带来的

社会和经济压力，而此时，日益加剧的政治两极分化早已成为令人担忧的一个趋势。

在英国牛津经济研究院，我们的使命是帮助我们的客户更好地了解日益复杂、瞬息万变的世界经济，涵盖其所有方面，以及如何在其中成功运作。客户希望我们向他们阐明影响经济环境的力量所在，帮助他们预测未来，未雨绸缪，以应对为未来的不确定性。

因此我们从 250 多名分析师组成的全球网络中，选取成立了一个由经济学家、计量经济学家、建模专家以及技术专家组成的团队，对机器人现象进行了广泛的

研究分析。这是世界经济将于本世纪经历的一项影响深远的重大转变。很高兴与我们的客户，以及所有希望了解其影响的人分享我们的研究成果。

一、执行摘要

过去十年间，一场机器人革命已经俘获了世界的想象力。随着机器人能力的提升，且日益智能化，各行各业购买安装机器人的速度不断加快。2010年以来，全球工业机器人库存增加了一倍以上——工程和机器学习的创新预示着，未来五年内，服务行业岗位将加速采用机器人。

本报告揭示了目前机器人对全球制造业就业的影响，以及机器人改造全球服务业（规模较大，但至今自动化程度较低）的潜力。为了评估这场正在进行时的机器人革命带来的影响，我们博采众长，汇集了英国牛津经济研究院的经济学家、计量经济学家、建模专家及行业专家。

机器人的崛起已对世界各地的产业就业产生了深远的影响：如今，每三个新的制造业机器人中就有一个安装于世界大型工厂——中国。我们通过计量经济学模型发现，每一个新的产业机器人平均可取代 1.6 个制造业工人。到 2030 年，我们估计全球将有多达 2000 万个制造业岗位因自动化而被取代。

1. 低收入地区风险较大

这种巨大的流失不会均匀地分布在全球各地或国家内部。我们的研究表明，自动化的负面影响在全球主要经济体的低收入地区尤为明显——平均而言，在同一国家的低收入地区，每多安装一台机器人，其失业人数几乎是同一国家高收入地区的两倍。全球都在关注着日益严重的经济不平等和政治两极分化，值此之际，这一发现具有重要的社会和政治意义。

鉴于风险造成的影响，决策者需建立早期预警系统，降低就业自动化风险。作为这项研究的一部分，我们开发了机器人脆弱性指数（Robot Vulnerability Index），根据工业机器人安装对劳动力的影响程度，对七个发达国家的所有地区进行了排名

（见第 30 页）。

机器人脆弱性指数多次突出，脆弱性最低的地区竟不在国家中较为富裕的地区之列，比如英国的坎布里亚郡、法国的弗朗什-孔泰大区，以及美国俄勒冈州东部的高沙漠地区。这些农村地区通常有着具有强大制造业传统的城镇或市区，这些城镇或市区在区域经济中发挥着惊人的重要作用。相比之下，如法国的图卢兹和格勒诺布尔，或德国的慕尼黑和斯图加特等知识密集城市周边的地区，对机器人崛起表现出的脆弱程度通常要低得多。伦敦、巴黎、首尔和东京等首都城市也是如此。

2. 价值 5 万亿美元机器人红利

虽然不同区域所受的影响各不相同，但若说机器人对全球就

每新增一台机器人导致的岗位数量变化

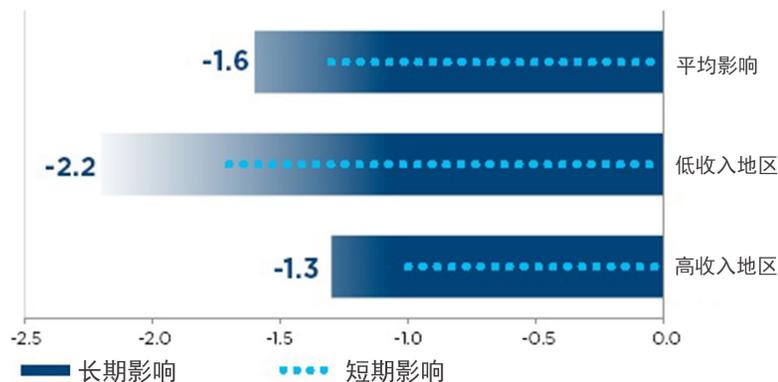


图 1 低收入地区就业受创更严重
来源：英国牛津经济研究院

业造成了永久性的破坏，这种担心似乎有些言过其实。我们的研究表明，当前的自动化浪潮有望提高生产效率并促进经济增长，以和旧岗位消失相当的速度创造新的就业机会。据估计，制造业每名员工对应的机器人数量每增加1%，就会为整个劳动力群体增加0.1%的人均产出。

这些增加足以驱动意义重大的经济增长。我们使用英国牛津经济研究院的全球经济模型（GEM），计算了工业机器人安装率变化对全球经济的影响。总的来说，我们发现加速采用机器人对短期和中期增长都有积极影响。例如，在2030年之前，将机器人安装量提高至比基线预测高出30%，预计2030年全球GDP增长5.3%。这意味着到2030年，全球经济将每年增加4.9万亿美元（按今天的价格计算）——水平相当于比德国预计规模还要大的经济体。

3. 服务型机器人的未来

在服务经济的一些特定领域，从机场的行李搬运到仓库的货物装载，机器人的应用不断得到推进。在本报告中，我们评估了服务型机器人在医疗保健、零售、酒店、交通、建筑和农业等五大关键领域可能造成的影响（及时间框架）。出于本研究的目的，我们仅将机器人视为物理机器，且不考虑已经流行的服务

行业软件，如拥有可以听说阅读、进行交易、自动化流程等功能的机器人流程自动化软件（RPA）。

要预测服务行业中机器人部署的速度，一个关键的考虑因素是运行这些机器人的环境——特别是其服务中重复性工作的程度。仓库工作这类岗位已经岌岌可危，但结构化较低的工作环境中的其他岗位，在未来几十年内可能仍会由人类执行。

对于需要具有同情心、创造力及社交智力的服务业岗位，机器难以取代人类。例如，虽然卡车司机和仓库工人的工作前景受到威胁，但物理治疗师、训狗师和社会工作者等工作岗位可能依然是安全的。

4. 政策影响

随着机器人采用速度加快，决策者将陷入两难境地：机器人虽能实现增长，却加剧了收入不平等。自动化将继续加速世界许多发达经济体的区域两极分化，总体上成本效益分配不均。自动化对就业的影响从制造业蔓延至服务业，这一趋势将随之加剧，解决失业工人的安置问题变得至关重要。

挑战将是艰巨的。我们对35,000余名美国人职业生涯中的工作变动进行分析，结果表明在过去二十年中，超过半数从生产岗位离职的工人都投身于以下三类职业：运输、建设与养护，以

及行政管理工作。不幸的是，我们的分析发现，在未来十年里，这三类职业都属于最易受到自动化影响的职业。然而，这些发现不应导致决策者及其他利益相关者试图阻碍机器人技术应用。相反，挑战在于帮助受到影响的工人做好准备、适应自动化带来的剧变，从而更均匀地分配机器人红利。决策者、商业领袖、技术公司、教育工作者和工人都可以发挥作用。我们在报告最后提出了一个行动框架，帮助这些群体应对自动化带来的挑战与机遇。

机器人正以前所未有的速度崛起。做好准备，应对自动化的社会影响将是未来十年的一项决定性挑战。

二、简介

在过去十年中，全球工业机器人库存大幅增加，预计未来10年，在中国创纪录的安装速度的带动下，全球工业机器人数量的增长速度将更快。机器人行业经历了突飞猛进的投资增长，一改其数十年逐步稳定扩张的趋势。数字技术创新（如人工智能及机器学习）与机器人工程及储能进步的融合，正在显著地改善机器人的能力。新型机器人“协作式机器人（cobot）”——体型小、机动性高、敏捷，方便与人类协同工作。这种机器人现正进军制造及物流领域，经过轻松的“训

练”，便可协助人类工作，优化生产效率。

自动化时代为企业提高生产效率带来了重大机遇。既然有了机遇，劳动力市场就会产生赢家和输家。全世界各行各业的数百万工人将会见证，许多他们曾用来赚钱的工作职能，将被新技术取代。更多的工人需要掌握与智能机器协作的新技能，他们的工作性质将发生显著的变化。2018年秋，英国央行首席经济学家安迪·霍尔丹（Andy Haldane）警告称，认知技能自动化造成的破坏可能会同英国工业革命一般，“对就业市场造成痛苦而漫长的影响”。他敦促决策者吸取“历史教训”，各国政府在创造福利国家的同时，应加紧培训工人，使其适应新的工作环境，从而缓解技术变革带来的冲击。

为了揭示自动化的未来影响，英国牛津经济研究院吸纳了其经济学家、计量经济学家、建模专家和世界各地其他行业专家的专业知识。我们为所有制造部门的工业机器人安装进行了最新最佳数据的建模，我们的分析便开始于此。得益于这些可靠的纵向数据集，关于机器人在不同国家及其高收入及低收入地区对就业和效率的影响，我们获得了全新见解。

在这些见解的基础上，我们评估了加强自动化对全球服务产

业的未来影响——迄今为止，服务业的机器人采用率远低于制造业，但在全球雇佣的劳动力占比却很高。发达经济体中，约四分之一的劳动者通过提供服务型劳动获得报酬。

这种多学科方法使我们能够为决策者构建一系列问题，即增强自动化和其他自动化过程对全球经济和社会造成的影响。必须深入了解这些问题，才能在未来我们充分利用机器人带来的收益的同时，支持保护那些在巨大技术变革中处于劣势的一方。

如何定义机器人？

本研究的定量建模方面主要集中在面向世界各地所有类型制造业使用的工业机器人。这些可自动控制、重复编程的机器通常用于生产中的一系列物理活动，如加工材料（激光切割、机械研磨）、装配和拆卸、精密焊接、涂装，以及进行各种测量、检查、包装、折弯和铸造等操作。这些机器人可固定，也可移动。越来越多新研发出的机器人由人工智能驱动，因此它们很“聪明”，对周围环境反应灵敏。

根据国际机器人联合会（International Federation of Robotics）数据显示，截至2016年底，制造业占全球工业机器人运营库存的86%以上。自动化一直以来都是制造业的关键组成部分，尤其是汽车行业，于2016年

就占据了全球制造业工业机器人总运营库存的43%以上。该行业处于机器人应用的前沿。

本报告中的定量分析主要针对有着丰富纵向数据的物理机器。我们的分析没有涵盖有时被称为机器人或虚拟机器人的无实体软件应用程序，包括呼叫中心和机器人流程自动化软件（BPA）中使用的程序，而其作用也在日益增长。

基于强大的数据，我们对制造业的分析提供了迄今为止观察机器人对就业及生产效率水平影响的最佳视角。但随着制造业本身经历着快速的技术变革，故事将继续展开。近年来，出现了基于人工智能和云计算的新型协作式机器人，可无缝弥合熟练手工组装与自动化生产间的差距。这些协作式机器人为自动化创造了新机会——即使是在短期的混合生产运行中，也需要高水平的精度（机器人擅长于此），同时需要复杂的视觉、处理和创造能力（人类劳动者继续带来巨大价值）。

三、机器人崛起的驱动力是什么？

自2010年，全球工业机器人库存增加了一倍以上：过去4年安装的机器人数量与此前8年持平。在此期间，全球机器人库存的重心已转向新的制造商，主

要在中国大陆、韩国和中国台湾地区，也包括印度、巴西和波兰。

目前，全球约每三台机器人中就有一个安装在中国，从2000年的0.1%开始增加，到现在约占全球机器人总库存的五分之一（见图2）。2017年，中国扩大了其作为全球最大工业机器人市场的领先地位，占全球销售额36%，高于2016年的30%。如果这一投资趋势持续，到2030年中国投入使用的工业机器人可能会多达1400万台，存量将超过世界其他地方，巩固了其作为全球主要制造业中心的地位。

相比之下，尽管自2000年以来美国与欧洲的机器人库存总量已增长约37万台，但其全球份额已从2009年接近50%的峰值降至40%以下。日本曾是全球自动化的领导者。自千禧年初，日本活跃的机器人库存量约减少了10万台，这与其经济从制造业转向其他行业实现再平衡以及许多生产设施向海外（尤其是向中国）转移的趋势相符。

汽车行业长期以来一直是机器人的主要用户：自动驾驶和电动汽车制造领域的创新，需要更加复杂的生产链，因此需要新型、更强大、更智能的机器人进行构建。然而，现在其他制造业在机器人使用方面扮演更为重要的角色。例如，2016年，新型机器人的安装量在高科技制造业中所占的份额从2000年的21%上升到

了31%，由此可见该行业的快速增长，以及机器人与生产领域的快速相融。机器人也愈来愈多地被应用于橡胶和塑料的生产中，并逐渐进入食品和饮料制造行业（见图3）。

四、机器人数量激增的三大原因

我们对整个制造业使用工业机器人进行了分析，确定了这一激增现象背后的三个主要驱动因

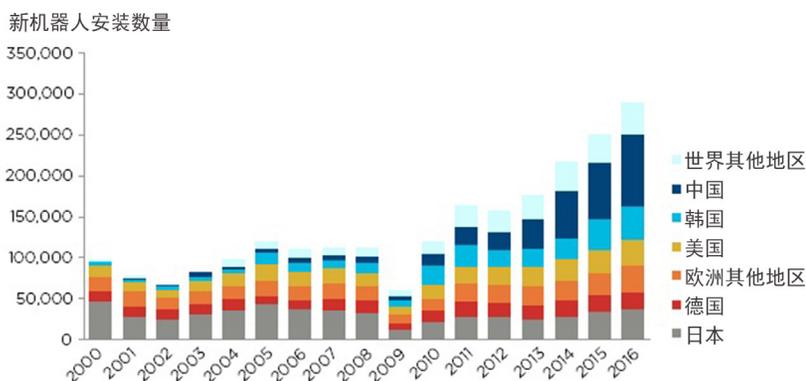
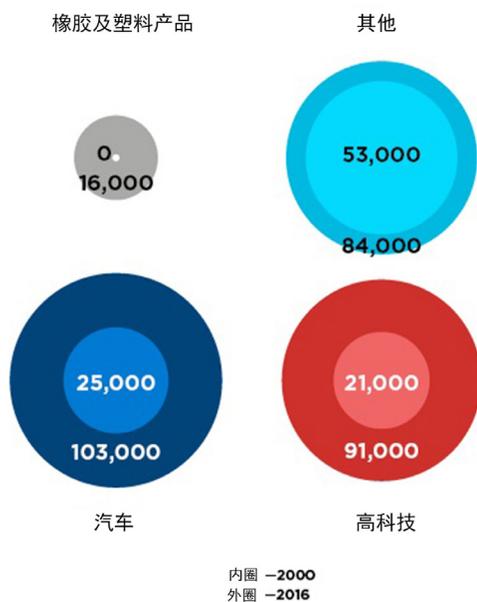


图2 2000年至2016年各国的机器人安装量
来源：国际机器人联合会（IFR）



以上数字指对应年份每个行业的全球机器人安装量。

图3 2000年与2016年，全球新工业机器人安装量根据用途进行对比
来源：英国牛津经济研究院

素：价格、创新应用和消费者需求。

趋势 1：机器人的使用成本低于人类劳动力

机器人的安装量激增，其部分原因是机器实际成本的暴跌。与其他先进技术一样，微芯片处理能力的指数增长、电池寿命的延长，以及覆盖面更广、更为智能的网络，都极大地提高了许多技术组件的单位价值，而机器人平均单位价格却在 2011 年至 2016 年间下降了 11%。

主要制造业经济体的劳动力成本上升，有助于形成越来越有吸引力的定价机理。例如，自 2008 年以来，中国制造业的单位劳动力成本增长了 65% 以上。韩国、日本、美国和德国的工资水平也在持续上升，部分原因在于这些国家的人口老龄化现象。

趋势 2：机器人的能力正在迅速提升

由于其技术的不断进步，机器人可被用于更复杂的过程和更多变的环境，安装速度也越来越快。通过创新，如今的机器人体型更小，对环境更敏感，协作能力更强。借助人工智能，机器人可以进行自主学习，并可根据其他机器人网络的数据进行决策。这些发展推动了机器人在汽车工业以外其他领域的应用（见图 4）。

趋势 3：对制成品的需求不断攀升，中国正投资于机器人，以将自己定位为全球制造业领导

者

过去十年机器人库存的增长，大部分可归因于对制成品需求的增长。中国正是这一变化的核心：中国现已成为全球最大的汽车制造基地，也是消费性电子设备、电池和半导体的主要生产商——这些都是高密度应用机器人的制造业。这一趋势将继续下

去，因为中国的自动化进程才刚刚起步。尽管中国的机器人库存量迅速增长，但在一般的制造业，中国平均每 1 万名工人仅使用 68 台机器人，而日本和韩国的对应数据分别为 303 台和 631 台。图 5 中的数据展示了库存和密度的不平衡。中国大部分劳动力仍在从事手工加工，这意味着对于中

2011年至2016年机器人密度增加百分比变化情况

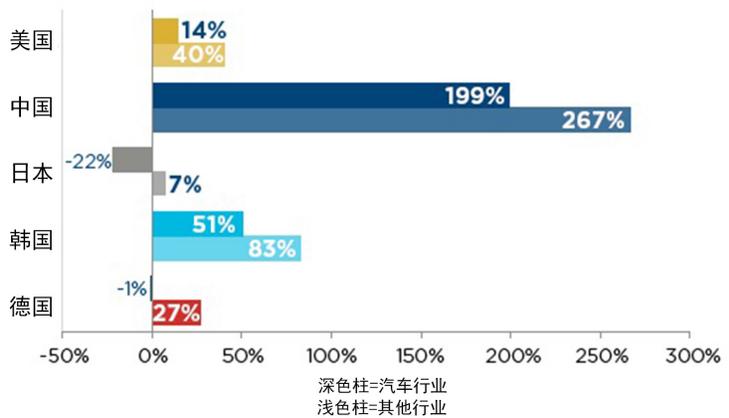


图 4 机器人在汽车行业之外其他领域的采用速度不断加快
来源：国际机器人联合会（IFR）、英国牛津经济研究院

柱形=每一万名工人对应的机器人数量（左侧数据）-制造业机器人库存量（右侧数据）

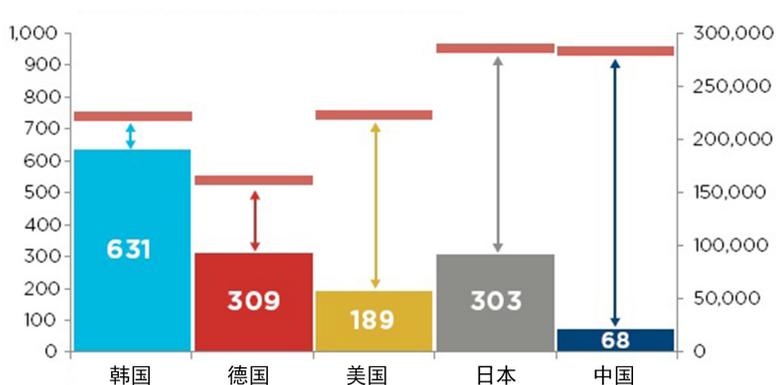


图 5：中国机器人密度的追赶空间（2016 年）
来源：国际机器人联合会，英国牛津经济研究院

国制造业来说，进一步实现自动化是很有可能的，其潜力之巨大超越其他任何国家。

政府的政策旨在扩大电动汽车的使用（需进行大规模电池生产）及高科技制造业的建设。我们预计，未来十年中国将很有可能继续加速其对机器人的投资。如果其对工业机器人的投资以目前速度持续增长，到2030年，中国将有近800万台工业机器人投入使用，其机器人密度接近欧盟平均水平。

五、机器人对制造业就业的影响

虽然中国在机器人投资方面处于领先地位，但近年来许多其他主要制造业经济体也迅速加强了其对工业机器人的使用。我们量化了自2000年以来全球工业机器人库存增加对制造业就业的影响。我们还预测了到2030年全球因自动化可能丧失的制造业工作岗位数量，以及各国高收入和低收入地区潜在变化的分布情况。

值得注意的是，尽管机器人投资和安装的步伐不断加快，但认为机器人会在全球范围内造成大量失业这种普遍存在的担心，在某种程度上是多余的。因为机器人为整个经济创造的价值，远远抵消了其对就业的破坏性影响。制造商可通过将生产过程自动化来提高生产效率。

这对制造业工作岗位产生了“替换效应”。在给定的质量标准下，由新技术代替人类完成工作更具成本效益。在竞争激烈的市场中，它还能降低单位生产成本，价格也随之降低，借此有效提高消费者的实际消费能力。因此，机器人在取代制造业岗位的同时，也为整个经济体创造了新的就业机会。我们将在第38页（七、机器人红利）详细探讨其对经济的积极影响。

但在区域或地方一级，机器人对就业的影响差异很大。由于大多数制成品具有高度的可交易性（因为它们运输成本低、保质期长），无数家庭受益于价格低廉的商品。相比之下，最依赖制造业工作岗位的社区通常更为集中，它们受到新技术引进的影响最大。纵观历史，自动化积极影响和消极影响的地域不平衡，对经济、社会和政治产生了重大影响。我们开发了一个计量经济学模型，以量化各国高收入和低收入地区对制造业就业的影响。

1. 全球影响

自2004年以来，制造业安装的每台新工业机器人平均使1.6名工人失业。然而，全面的影响需要时间来实现。在机器人安装的第一年，平均每台新工业机器人约使1.3名工人失业，在随后的几年增至1.6名。

这一发现与工业采用自动化

的其他现象相一致：工人需接受相应的培训，企业需了解重组生产流程和商业模式的最佳方式，从而大规模利用新技术的益处，生产效率的真正提高可能要耗时几年方能实现。

关于计量经济学模型的说明

我们的研究在国家和特定国家的区域这两个层面，对机器人安装量与制造业失业之间的联系进行了计量经济学分析，见图6。我们的模型侧重于29个制造业密集的国家，利用11年的数据，就自动化在过去和未来对全球制造业就业的影响，提供最为详尽的信息。

除提供纯粹的数字外，我们还计算了在所研究的国家中，每多安装一台机器人对制造业就业造成的边际影响。我们的模型针对同一国家内低收入与高收入地区（家庭平均收入水平低于或高于全国平均水平的地区）的不同影响，确定了比较方式。

根据行业贸易集团国际机器人联合会（IFR）的数据，我们调查了工业机器人安装的增加对日本、欧盟、美国、韩国和澳大利亚当地制造业就业的影响。在11年间，通过构建大型区域性机器人库存面板数据集和其他劳动力市场指标，我们能够将自动化对当地劳动力市场的影响同其他强烈影响分割开来，如实际工资的变化、全球贸易格局的变化，

以及其他难以察觉到的区域性和行业相关因素。

在考虑到如离岸外包和供应链全球化造成裁员等因素的前提下，我们计算了自进入 21 世纪以来全球制造业因自动化而流失的工作岗位总数。我们估计 2000 年以来，由于工业机器人的全球崛起，共计约有 170 万个制造业岗位已被淘汰。图 7 显示了各国受到的影响：根据估算，在美国，机器人夺去了 26 万余个工作岗位（约占其当前制造业劳动力的 2%）；在欧盟，机器人取代了其当前制造业 1.5% 的劳动力（约 40 万个工作岗位）。在中国，自 2000 年以来已有多达 55 万个制造业岗位被机器人取代，约占其当前制造业劳动力的 1%。

假设对机器人的投资以当前速度持续进行，到 2030 年，机器人可能将再取代掉数百万个制造业岗位。虽然新技术的采用率存在太多不确定因素，但自动化在未来几年带来的潜在影响是可预估的。

根据国际机器人联合会对新机器人安装量的三年增长预测结果，再结合部分机器人因年久损耗需要更换的情况，我们已预测出主要制造业经济体的活跃机器人截至 2030 年的库存增量。由此，我们预计全球将有近 2000 万个制造业岗位因机器人自动化而消失（见图 8）。换言之，若当前经济发展趋势持续下去，而且如

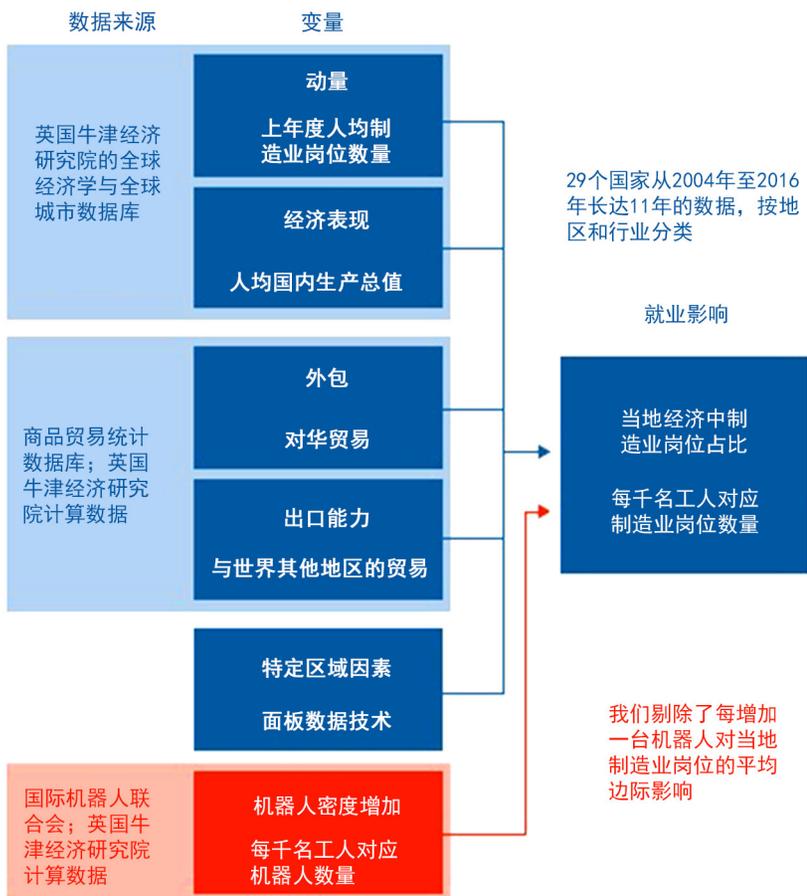


图 6 计量经济学模型框架

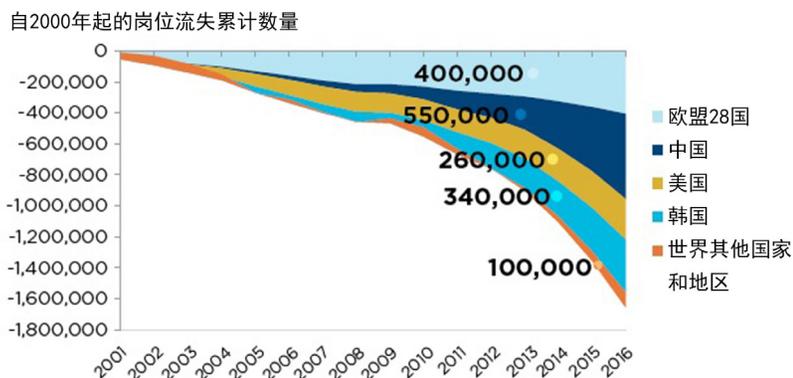


图 7 自 2000 年以来，自动化引发的岗位流失累计数量

果机器人未重塑市场，那么到2030年全球制造业劳动力将增加8.5%。

2. 低收入地区受到的区域影响较大

借助模型，我们得以了解自动化对每个国家不同地区的影响。这些区域差异对决策者来说，具有重要的社会和政治意义。

分析表明，在低收入地区，每新安装一台工业机器人，导致制造业失业人数几乎是高收入地区的两倍（见图9）。基于对29个样本国家的分析，这一发现区分了家庭平均收入水平高于和低于全国平均水平的地区。同时，模型排除了特定区域劳动力市场冲击以及潜在就业趋势的影响。

为什么会出现这些区域差异？它们不受制造业规模的相对大小驱动——在我们的样本中，制造业在低收入和高收入两种地区所占的经济活动与就业份额大致相同，而且我们的模型排除了行业规模的影响。但是，制造业的就业结构存在着结构性差异，左右了机器人带来的影响。

低收入地区的制造业工人技能水平普遍较低，更易受到自动化的影响。一般来说，在高收入地区和低收入地区，平均每个制造业工人对应的机器人数量是不同的，说明低收入地区的机器人平均生产率较低。例如，英国劳动力调查（Labour

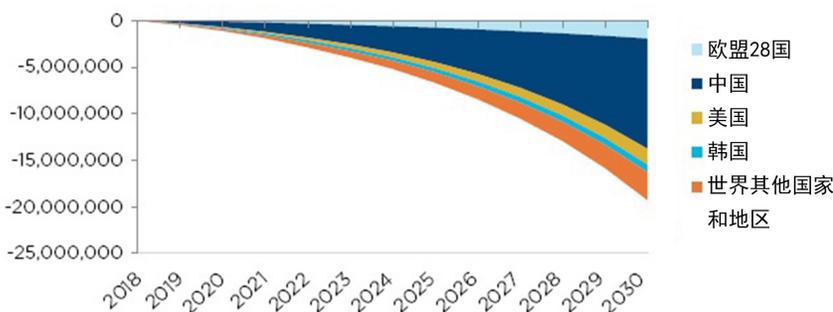


图8 至2030年，预计自动化造成的岗位流失累计数量

每新增一台机器人导致的岗位数量变化

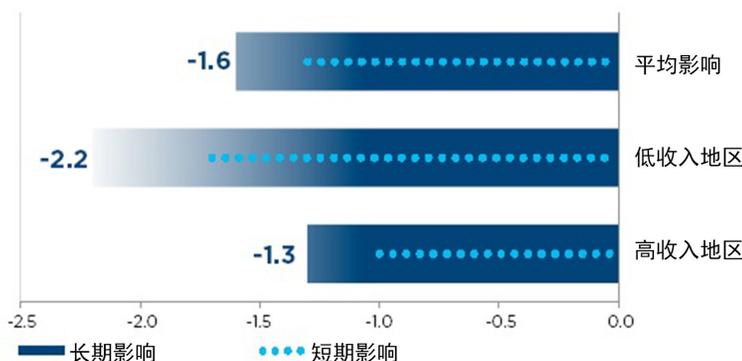


图9 制造业岗位流失在低收入地区较严重

ForceSurvey) 数据显示，英国低收入地区的制造业工人更愿意从事低技能职业——在低收入地区，初级工人和机器操作员约占劳动力的三分之一，然而在高收入地区的占比仅为22%。与之形成明显对比的是，在高收入地区，制造业管理人员及专业人员的比例要高得多。这种脆弱性随着时间的推移而逐渐成形。过去，凭借单位生产成本低这一优势，低收入地区能够就制造业投资与物价较高的城市和地区竞争。这一竞争优势却是低收入、低生产

率的劳动力从事低技能工作的产物。在自动化的新时代，低收入地区的职业结构对其中的制造商来说，是提升生产效率的大好机会。总的来说，其员工执行的功能更易自动化。通过裁员，或将公司迁至高效率（或者说自动化程度更高）的新地址，就可以实现生产效率的提升。但无论采用哪种方式，低收入地区制造业工人的就业都会受到影响。

此外，一个国家中最可能裁掉制造业工人的地区将无法从“机器人红利”中平等受益。“机

机器人红利”是指生产率提高带来的新就业机会，并推动经济整体增长。然而，工业自动化程度的提升会使发达经济体内长期存在的区域不平等随之加剧。

六、机器人脆弱性指数

决策者必须了解机器人技术分布不均对其国家的不同地区有着怎样的影响。我们开发的机器人脆弱性指数能够帮助确定在研究院选的经济体（美国、德国、英国、法国、日本、韩国及澳大利亚）中的哪些地区将会因制造业持续自动化而遭到最严重的打击。

这一指数为每个地方性区域生成一个脆弱性评分，由三个等权重指标组成：

- 当地对制造业就业的依赖——体现为该地区制造业就业人数在总就业人数中所占比重。

- 当地工业对未来的准备度——体现为该地区制造业当前的机器人使用强度，排除所从事的制造活动类型的影响，相对于国际竞争对手进行衡量。

- 当地制造业劳动力生产效率——相对于全国平均水平进行衡量。

由此，该指数重点突出了那些经济上依赖于低生产效率（或低技能）制造业，且目前机器人使用率低的地区，毕竟在未来几

年的经济动荡中，这类地区要面临的风险最大。

针对五个发达经济体内所有地区的机器人采用情况，我们绘制出了脆弱性分布图，揭示了他们共有的一些模式，可概括为三个关键趋势。

趋势 1：现存的区域不平衡将会加剧

发达经济体在区域层面的经济表现越成功，其机器人脆弱性往往越低。在英国、法国和德国，近年来表现最好（就整体国内生产总值增长而言）的地区却是未来机器人自动化程度最低的，反之亦然。

这意味着，机器人的崛起可能加剧一些国家内部存在的区域不平衡，比如英国的南北分裂。发达经济体若要通过自动化提升国际竞争力，这一趋势对其国家的政策设计来说具有重要意义。

趋势 2：多数大城市是安全的（暂时）

我们的分析表明，面对机器人造成的岗位流失，大城市往往是工人的安全避风港。大城市多元化的经济结构并不十分依赖制造业就业，劳动力成本上升意味着该地区的制造商早已做到了高生产效率，且倾向于雇佣更多高技能的工人。伦敦、巴黎、首尔、悉尼和东京都是实例。

制造业密集型城市（包括韩国的许多城市）的未来则面临更多不确定性。城市如果人口众多、

就业依赖于制造业，且机器人密度和劳动力生产效率都落后于同行业的竞争者，就很容易受到干扰。激烈竞争的最终结果就是，这些以城市为基础的行业必须追求进一步的自动化，否则就可能输给其他地方生产效率更高的竞争者。但无论是哪种结果，当前制造业的工人都有可能面临失业危机。

趋势 3：农村地区隐藏着脆弱性

在农村地区，总能找到最易受到自动化影响的工人。这些地区人口相对稀少，但其经济往往扎根于偏远的城镇，其整个地区都依赖于制造业密集型的工业结构。更严重的问题是，这些城镇的制造业特点恰恰就是传统的劳动密集型技术、低生产效率和过时的制造工艺。

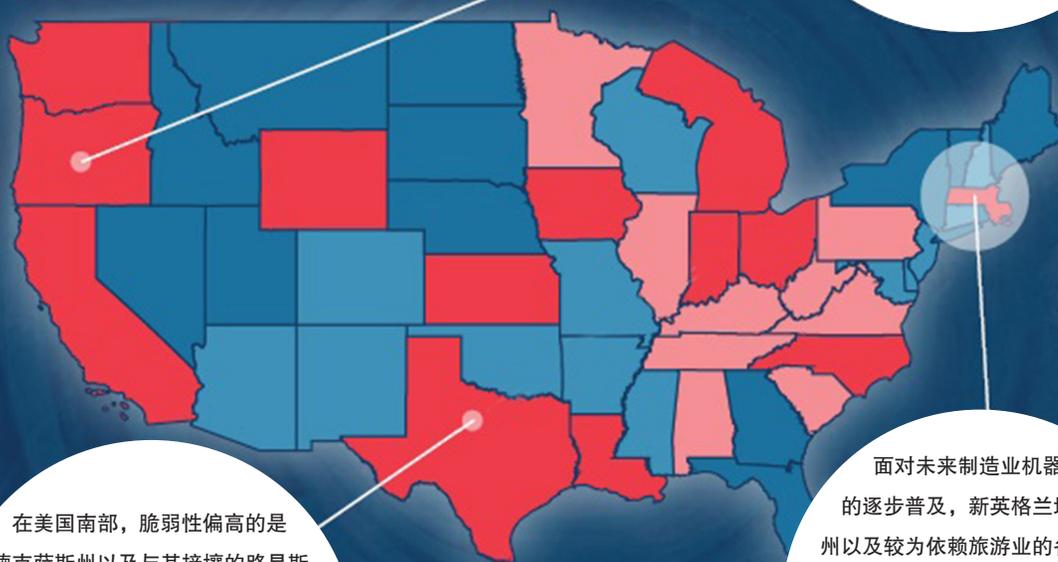
在许多国家，大都市中心不断繁荣发展，而这些地区却往往被抛在后面，这种发展模式造成了政治两极分化。由此可见，为减缓自动化对这些脆弱地区的冲击，采取政策行动至关重要。

1. 各国逐一分析

根据我们的机器人脆弱性指数，在接下来的七页中，我们将说明各地方区域在未来制造业自动化方面的相对脆弱性。每张图中，都以不同颜色标记了从“高脆弱性”至“低脆弱性”（相对于该国家内其他地区）的不同区

美国

- 低脆弱性
- 中低脆弱性
- 中高脆弱性
- 高脆弱性



在美国各州之中，俄勒冈州对未来机器人安装增速表现出了最高的脆弱性。俄勒冈州成功地实现了从传统行业到高科技零部件生产行业的转型。但是，该州高度依赖于制造业，尤其是波特兰市及周边地区，且受到颇具全球竞争力的行业的影响，因此，技术的快速进步威胁到工人的就业。

在美国南部，脆弱性偏高的是德克萨斯州以及与其接壤的路易斯安那州，中西部的印第安纳州也同样具有较高的脆弱性。虽然这几个州愈加注重高价值、知识型行业的发展，但其脆弱性偏高是炼钢行业（广泛地说是重工业）造成的。

面对未来制造业机器人的逐步普及，新英格兰地区各州以及较为依赖旅游业的各州（如佛罗里达州、内华达州、夏威夷州）都表现出偏低的脆弱性。纽约州的脆弱性也不高，是因为它不仅是重要的制造业基地，还拥有着高度集中的金融及商业服务。

- 阿拉斯加州
- 夏威夷州

脆弱性最高的州

州:	脆弱性指数:
俄勒冈	0.58
路易斯安那	0.58
德克萨斯	0.50
印地安纳	0.46
北卡罗来纳	0.46

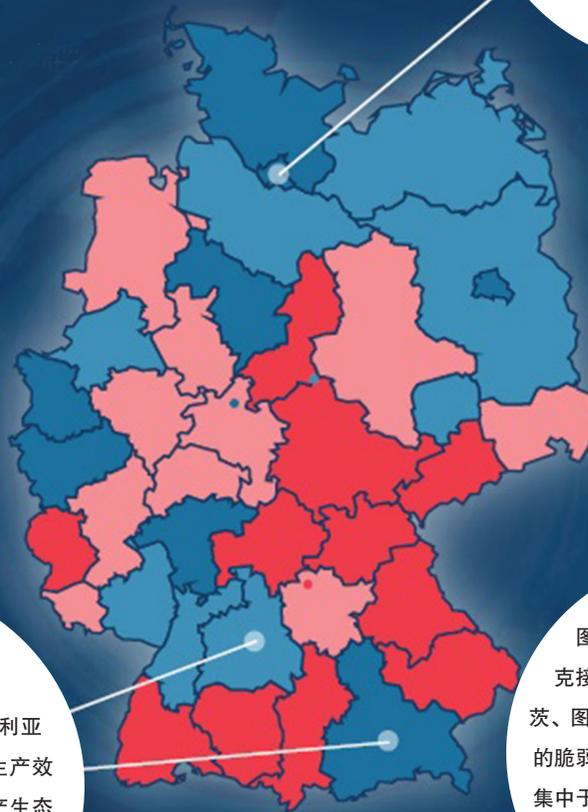
脆弱性最低的州

州:	脆弱性指数:
夏威夷	0.17
哥伦比亚特区 (DC)	0.18
内华达	0.25
佛罗里达	0.25
佛蒙特	0.26

图 10 美国未来制造业自动化方面的相对脆弱性

德国

- 低脆弱性
- 中低脆弱性
- 中高脆弱性
- 高脆弱性



德国脆弱性最低的地区是汉堡。汉堡的制造业相当先进、生产效率高，自动化水平领先行业，所以工人就业对制造业的依赖程度很低。

宝马和奔驰各自的发源地巴伐利亚和斯图加特，拥有高技能、高生产效率的劳动力，是未来就绪的生产生态体系的例证。

图中可见，在德国东部与捷克接壤的四个相连地区（开姆尼茨、图林根、上弗兰肯和上普法尔茨）的脆弱性最高。这些地区的就业高度集中于制造业，生产效率（普遍）较低——尤其是开姆尼茨和图林根。

脆弱性最高的地区

地区：	脆弱性指数：
开姆尼茨	0.56
图林根	0.49
上弗兰肯	0.49
上普法尔茨	0.47
弗莱堡	0.46

脆弱性最低的地区

地区：	脆弱性指数：
汉堡	0.06
达姆施塔特	0.13
上巴伐利亚	0.17
科隆	0.19
柏林	0.20

图 11 德国未来制造业自动化方面的相对脆弱性

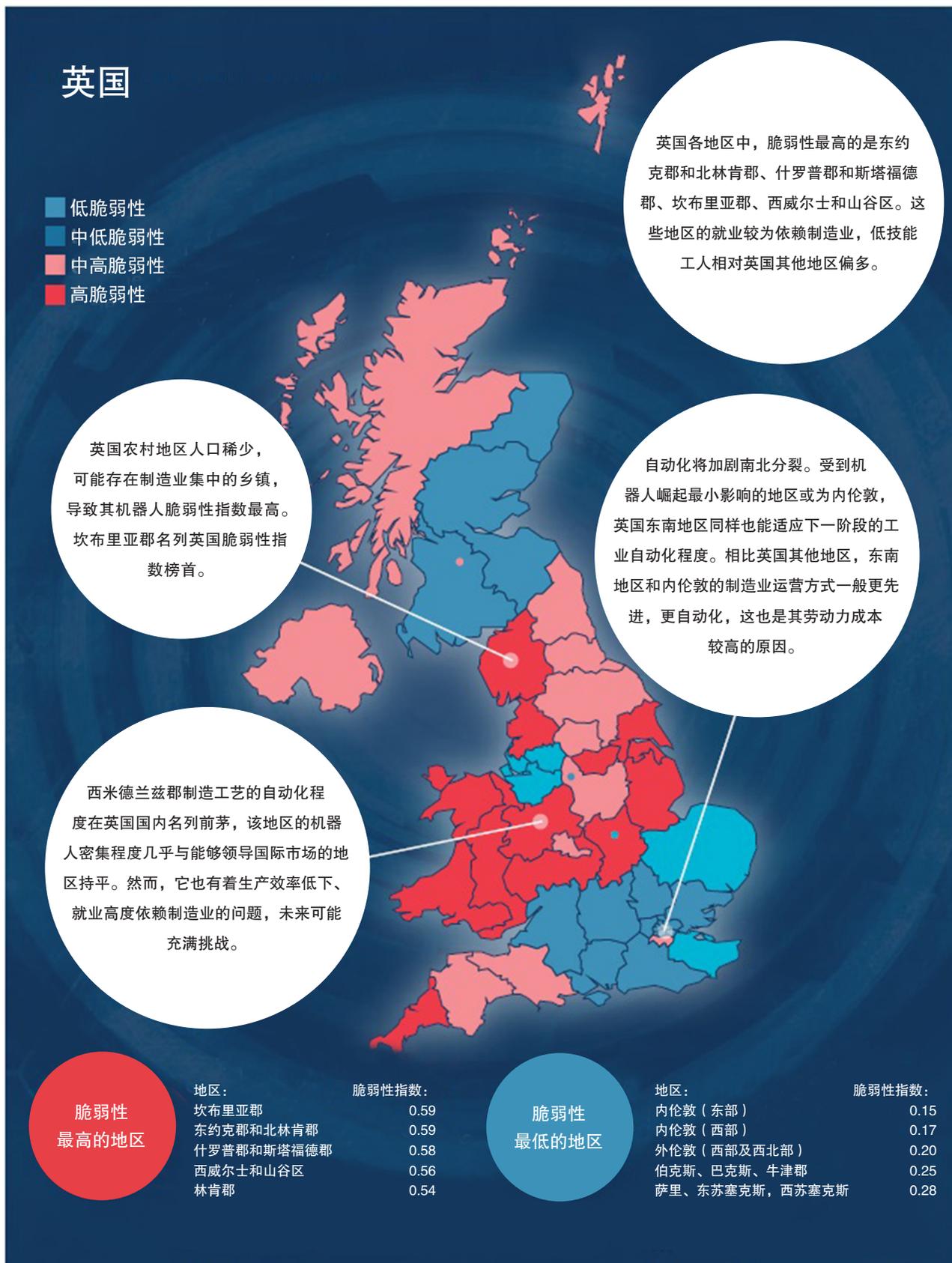
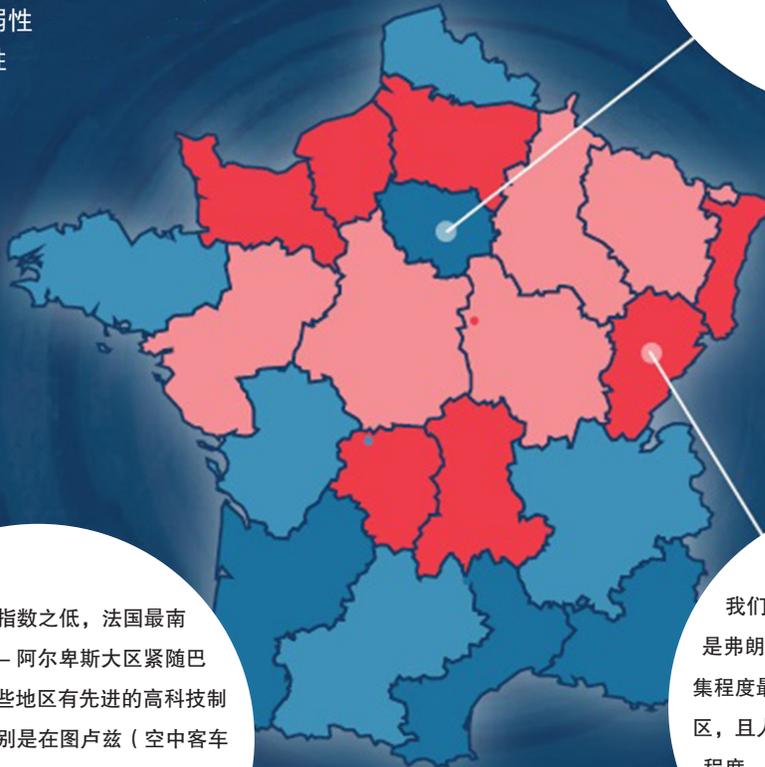


图 12 英国未来制造业自动化方面的相对脆弱性

法国

- 低脆弱性
- 中低脆弱性
- 中高脆弱性
- 高脆弱性



巴黎大区以巴黎为中心，是法国机器人脆弱性最低的地区。该地区的就业对制造业依赖程度最低，和南部-比利牛斯大区一样，巴黎大区的制造业生产效率高、机器人的分布最密集，已经实现了一定水平的自动化。

比起脆弱性指数之低，法国最南端地区和罗讷-阿尔卑斯大区紧随巴黎大区之后。这些地区有先进的高科技制造企业入驻，特别是在图卢兹（空中客车公司所在地）和格勒诺布尔等主要城市，从而可受益于为未来准备就绪的高技能劳动力。

我们发现脆弱性指数最高的地区是弗朗什-孔泰大区。法国制造业密集程度最高的地区相当程度上为农村地区，且人口稀少。其相对较低的自动化程度，意味着未来有可能实现高水平的自动化。

脆弱性最高的地区

地区:	脆弱性指数:
弗朗什-孔泰大区	0.61
下诺曼底大区	0.51
皮卡第大区	0.51
利穆赞大区	0.51
奥弗涅大区	0.49

脆弱性最低的地区

地区:	脆弱性指数:
巴黎大区	0.03
普罗旺斯-阿尔卑斯-蓝色海岸大区	0.26
朗格多克-鲁西雍产区	0.30
阿基坦大区	0.35
南部-比利牛斯大区	0.36

图 13 法国未来制造业自动化方面的相对脆弱性

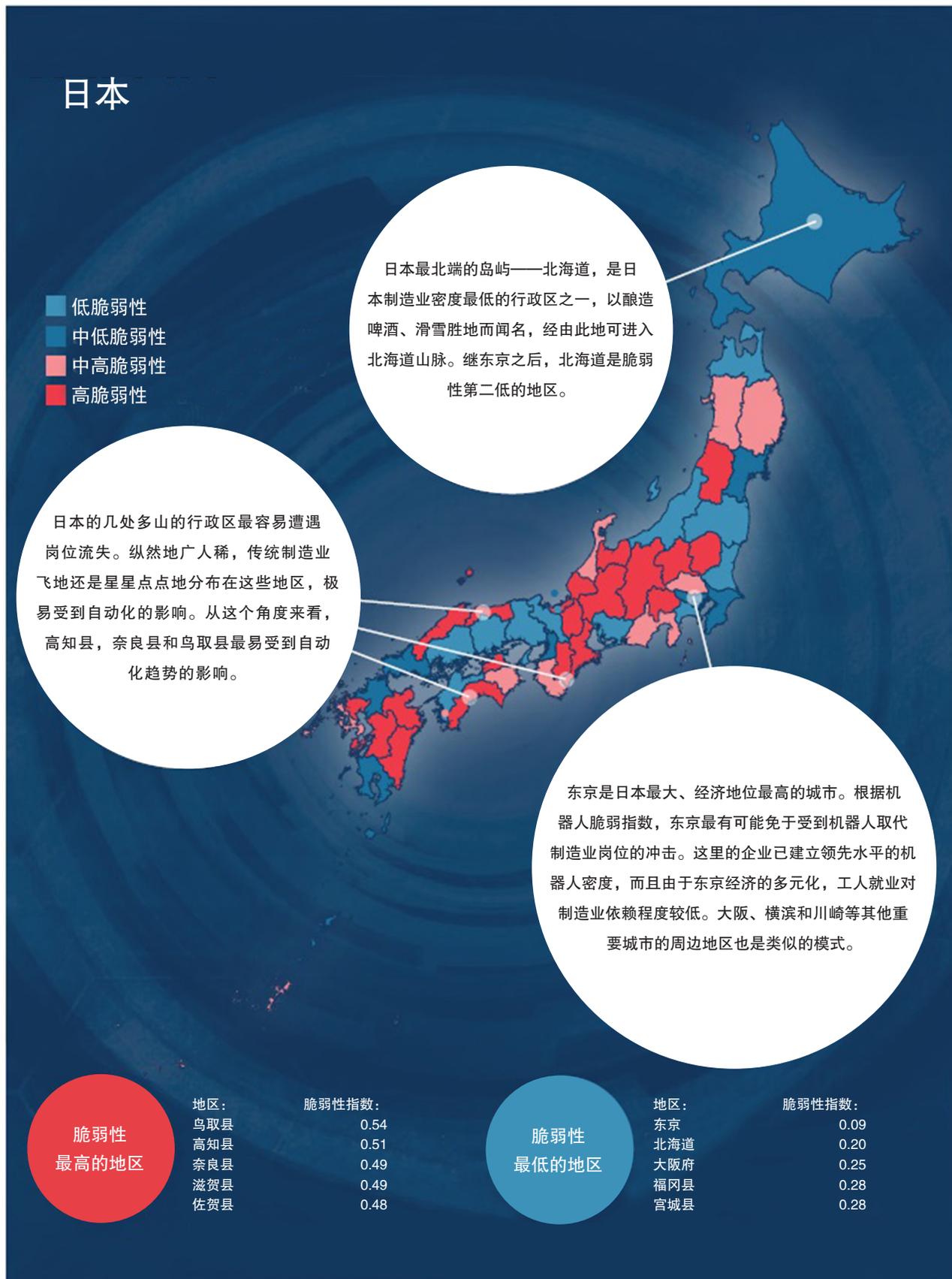


图 14 日本未来制造业自动化方面的相对脆弱性

韩国

- 低脆弱性
- 中低脆弱性
- 中高脆弱性
- 高脆弱性

仁川和大邱是最为脆弱的地区。作为重点制造业中心，它们的制造业生产效率水平相对较低，因此变革的时机已经成熟。

身处韩国最大城市——首尔——的工人最不易受到制造业机器人增长的影响。首尔的区域经济多元化使其对制造业岗位依赖程度低，而且劳动力生产效率较高。

指数显示，韩国第二大城市釜山及其附近城市蔚山的机器人脆弱性指数很高。蔚山是重要汽车制造厂、重要造船企业和大型炼油厂的基地，制造业生产效率水平较高，但其相对较高的机器人脆弱性指数是对制造业就业的显著依赖造成的。

脆弱性最高的地区

地区:	脆弱性指数:
大邱	0.38
仁川	0.35
蔚山	0.33
庆尚南道	0.32
釜山	0.29

脆弱性最低的地区

地区:	脆弱性指数:
首尔	0.11
全罗南道	0.13
江原道	0.19
忠清南道	0.21
庆尚北道	0.23

图 15 韩国未来制造业自动化方面的相对脆弱性

澳大利亚

- 低脆弱性
- 中低脆弱性
- 中高脆弱性
- 高脆弱性

澳大利亚人口最多的新南威尔士州，其脆弱性看起来要远低于维多利亚州或南澳大利亚州。新南威尔士州的劳动力市场近年来对制造业就业的依赖程度有所降低，而制造业生产效率有所提高，因而可能抵消了由机器人进一步普及带来的影响。

指数显示，面对未来机器人崛起，南澳大利亚是澳大利亚国内脆弱性最高的地区。澳大利亚各州中，该州的制造业最为密集，经济增长最慢，制造业生产效率也较低。

比起南澳大利亚，维多利亚州的脆弱性则稍低一些，经济增长速度也更快。墨尔本及其周边地区拥有多元化的制造业基地，但是随着墨尔本服务经济逐渐增长，这一基地的相对重要性正在下降。维多利亚州的制造业生产效率也高于南澳大利亚。

各地区及领地 脆弱性由高到低排列

地区：	脆弱性指数：
南澳大利亚州	0.42
维多利亚州	0.39
塔斯马尼亚州	0.37
昆士兰州	0.32
新南威尔士州	0.28
西澳大利亚州	0.14
北领地	0.06
澳大利亚首都领地	0.06

图 16 澳大利亚未来制造业自动化方面的相对脆弱性

域，并包括对一些最出人意料的结果的评论。

七、机器人红利

尽管在过去的十年间，制造业的就业岗位有所减少，但不能简单地认为机器人仅仅起到了破坏的作用。在机器人导致诸多工人失业的同时，整体人口中也有许多人受惠于“机器人红利”，比如制成品价格变低，实际收入增加，税收收入上涨。这对那些最易受到机器人革命影响的低收入地区尤为重要。

我们的模型显示，近年来机器人已经带来了相当大的生产效率的增长。在排除技能水平和其他资本投资等因素的影响下，根据不同国家 11 年多的数据，我们分析了机器人密度增加对生产效率提升的影响。我们发现制造业每名员工对应的机器人数量每增加 1%，就会为整个劳动力群体增加 0.1% 的人均产出。这证实了我们的假设：机器人取代制造业中可自动化的工作，使许多工人得以腾出手来，到其他领域做出贡献，为经济体带来丰厚的收益，满足由制成品降价产生的新需求。

为了捕捉机器人新时代对全球经济的潜在影响，我们使用了

英国牛津经济研究院的全球经济模型（GEM）。全球经济模型涵盖 80 个国家，是英国牛津经济研究院对所有国家、行业和城市进行预测的基础。利用全球经济模型，我们能够测试出全球许多发达经济体的宏观经济结果对不同投资率的敏感性。该模型表明，未来几年工业机器人的采用率将对全球 GDP 增长产生显著影响。

全球经济模型分析的第一步，是在与国际机器人联合会贸易团体预测的短期机器人投资轨迹相一致的前提下，建立 GDP 增长基线预测。对于美国、欧洲以及几个位于亚洲的大型经济体，它们的短期机器人投资轨迹都是根据机器人存量和密度的历史增长水平进行校准的。我们对机器人库存年增长率的基线预测是：中国约为 5%，美国约为 3%，韩国和欧元区约为 2%，日本约为 0.7%。

接下来，相对于国际机器人联合会的短期基准，我们研究了自动化的“高水平”和“低水平”两种情况。高水平情况下，全球工业机器人库存量加速提升，预计到 2030 年将会超出基线预测 30%。中国制造业机器人密度将因此与日本和德国目前的机器人密度持平。

相比之下，低水平情况下

的机器人采用速度减缓，预计到 2030 年工业机器人存量将低于基线预测约 30%。中国制造业机器人密度将因此与美国制造业目前的机器人密度持平，远远低于日本和德国。（参见下页“自动化经济影响建模”，了解我们如何采用全球经济模型来模拟机器人不同采用率对全球主要经济体年度 GDP 表现的影响）。

1. 高水平自动化的结果与低水平自动化的结果

总的来说，我们发现更快采用机器人对短期及中期的经济增长都有着积极的影响。

具体而言，全球经济模型表明，高的机器人采用率将推动全球 GDP 增长，到 2030 年将比基线 GDP 增长预测高出 5.3%，为 2030 年的全球经济增加 4.9 万亿美元，水平相当于比德国预计规模还要大的经济体。在低水平情况下，全球经济增长轨迹预计也将受到类似规模的负面影响。

高采用率激发了经济生产效率的潜力。我们使用全球经济模型来模拟制造业和整体经济中商业投资水平的相应提高和生产率的提升。如图 17 所示，机器人投资的加速为全球最大经济体带来了显著的 GDP 增长。到 2030 年，美国 GDP 将较基线预测增长

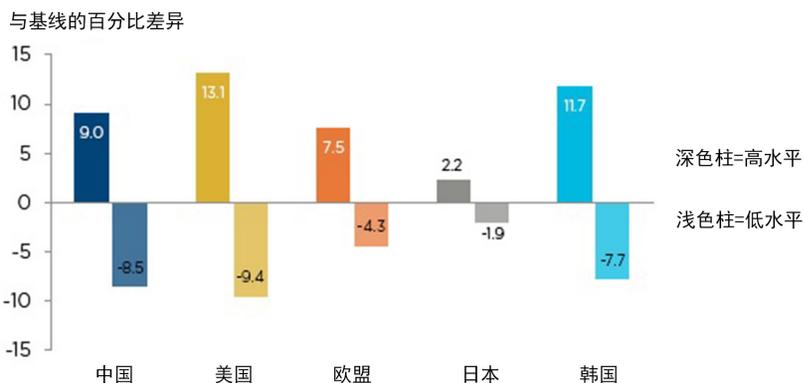


图 17 2030 年高低两种水平对年度 GDP 的影响预测

13.1%，韩国增长 11.7%，中国增长 9%。在这两种情况下，日本的相对收益和损失都明显低于所有其他主要经济体，部分原因在于日本制造业的自动化程度已经很高了，其基线预测中的机器人投资率较低。

自动化经济影响建模

为研究工业机器人投资率和使用率不同时带来的影响情况，我们使用英国牛津经济研究院全球经济模型（GEM）进行了一些美国、欧洲和亚洲几个大型经济体的程式化场景模拟。

在与国际机器人联合会（IFR）目前确定的“基准”机器人投资轨迹相一致的前提下，我们使用全球经济模型建立全球增长的基线预测，再利用全球经济模型的建模功能探索高低两种情况。我们将这些“高”和“低”的自动化水平设置为高于或低于

国际机器人联合会目前的基准机器人采用率的 30%。在实践中，使用全球经济模型将三个与机器人相关的关键经济“冲击”应用于基线模型中：

- 将更多 / 更少的机器人应用于工业实践中，导致“全要素生产率”（由一定数量的资本和劳动力投入实现的产出）的增加 / 减少；

- 商业投资的增加 / 减少，捕捉不同的工业机器人支出水平；

- 对就业的冲击说明在高水平 / 低水平的情况下，要产生一定水平的产出，可能需要更少 / 更多的工人。这一调整是根据计量经济学结果（详细介绍见第 27 页“计量经济学模型”）进行校准的。该结果发现，在我们用于建模的经济体中，每增加一台工业机器人，最终将平均取代 1.6 名制造业工人。

一旦实施了这些初步的经济

冲击，全球经济模型就可利用其在商业、家庭、政府和国际部门之间建立的模拟联系，得出对不同经济体的总体影响。

2. 重塑劳动力市场

我们的全球经济模型分析结果表明，通过增加自动化和工业机器人的使用，工作岗位既被创造，也被破坏。具体而言，机器人采用率的提高将显著影响企业的生产力水平，进而影响经济规模。因此，财富的增加很可能会创造就业机会，抵消本地制造业就业岗位必然的流失。

然而，尽管“机器人红利”能够促进全球经济中诸多领域的就业，但被工业机器人取代的就业岗位将集中在制造业，毕竟工业机器人在制造业的应用最为成熟。到 2030 年，全球将有近 2000 万个岗位因自动化流失，机器人红利虽创造了一些新的制造业就业岗位，但不能抵消被自动化取代的制造业就业岗位数量。

从历史上看，中低技能工人离开生产效率攀升的制造业后，在服务业找到了机会。但随着机器人技术与快速数字创新的融合，如果机器人也能从事服务业的工作，失业的工人还能做什么呢？接下来，我们将探索服务型

机器人这一新领域，并探讨服务型机器人如何在世界各大经济体的服务业中体现自身价值。

八、机器人正在进军服务业

尽管工业机器人的崛起已经大大减少了全球发达经济体的制造业就业岗位，但在这些国家的总体就业中，制造业只占很小的份额。相反，根据英国牛津经济研究院最新估算数据，高达约四分之三的劳动力都就职于规模庞大的服务业。

到目前为止，由于一些重要的原因，服务行业中物理机器人（相对在推动机器人流程自动化方面获得了广泛认可的纯软件机器人和应用程序而言）的采用率一直很低。若无较大的规模，大型资本投资的潜在回报可能很难实现。服务工作的许多方面都难

以实现自动化。

然而，人工智能、机器学习和计算能力方面的创新表明，服务业采用机器人的速度显著加快。在一定程度上，由于亚马逊和其他跨国电子商务公司的全球扩张，物流系统领域的加速尤为明显（见图 18）。

在服务行业，自动化发展最快将会是哪些领域？哪些工作不会受到机器人崛起的影响？由于自动化而失业的工人来到服务业寻找就业机会，比如出租车司机、售货员或者酒店搬运工，机器人和人工智能是否也会开始波及这类工作岗位？

在服务经济的特定领域，机器人正逐渐扎稳脚跟，如机场行李搬运、仓库库存维护以及建筑工地上的砌砖工作。借助成本愈加低廉、功能愈加强大的传感器、摄像头和机器智能，机器人开始在医院病房、零售销售区、酒店

和餐厅等场所崭露头角。

但服务型机器人普及的速度取决于多方因素。部分服务性岗位偏标准化，相对容易自动化，但另一些工作岗位则需要独特的人类素质，比如社交智能、想象力、同理心，以及其他不易转化为算法的认知技能。

人工智能专家、创新工场（Sinovation Ventures）创始人、谷歌和微软前高管李开复博士表示：“是的，亚马逊的仓库工人很可能在未来的两三年内被机器人取代。但对于在非结构化环境中进行的工作，我认为机器人无法完全取代人类，还需要更多的突破。”

作为风险投资家和作家，李博士对推广人工智能颇感兴趣，这使得他对这一主题的审慎看法更具说服力。他指出，存货仓库就像高速公路一样，空间结构相对清晰，编程规则和传感技术能够精确地描绘出这里的工作环境。李博士又说道：“但在灵活多变的环境中，就像在鸡尾酒会上挤满了人的房间一样，想完成工作要困难得多。”

李博士坦言，只有在存在大规模经济效益的情况下，才能证明人工智能系统是有成本效益的。例如，连锁酒店的房间吸尘工作可以利用机器人完成，因为

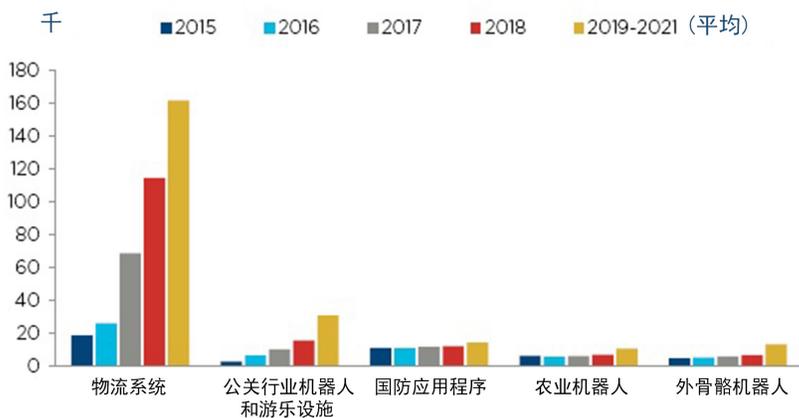


图 18 按类别划分的专业服务型机器人数量（普及程度最高的前五名）
来源：国际机器人联合会

每一层的房间平面结构只对应两三种标准平面图，方便机器人识别。同样，医院有一系列大量的标准化程序，其中许多可以由机器人系统完成。为方便计算出机器人对服务业就业的潜在影响，必须区分职业和任务，即便是同一行业的不同职业也要进行细分，还必须对特定职业或工作职能中包含的常规技能与高认知技能的融合进行准确评估。

另一个关键因素是规模的大小能否能够抵消与部署机器人系统相关的额外成本。例如，因为需要安装摄像机、传感器和软件，自动驾驶汽车的制造成本远远高于传统汽车。李博士说：“自动驾驶汽车只有省去司机工资，再加上全天候行驶，才可以收回制造成本。”

为了更好地揭示机器人对各种服务岗位的影响，我们研究了几个关键领域。

1. 医疗保健

发达国家的医疗保健行业面临着重大挑战。人口迅速老龄化：据世界卫生组织估计，到2020年，60岁及以上人口的数量将超过5岁以下儿童的数量；到2050年，世界60岁以上人口的比例将几乎翻倍，从12%增加到22%。许多国家都将面临严重

的护理人员短缺，无法保证年老者生活。因此，让机器人在养老院、医院和诊所发挥更多作用是切实可行的。

随着时间的推移，机器人将代替人类完成特定的任务，让人类有更多的时间专注于医疗保健行业中需要同情心、同理心和情商的重要岗位。机器人可以轻松完成送血液样本到实验室或从药房取药的工作。机器人在可控的医院环境中应用的潜力尤其引人注目。在许多发达市场，医疗保健行业面临着严重的劳动力短缺，如果机器人接手一些琐碎又不需技术的工作，很少有护士会面临失业。研发部署机器人的成本很高，只有最大型的机构才可能迅速将机器人应用于临床医学，但未来十年内它们可能会变得更加普遍。

机器人辅助外科手术（通常为微创手术）已经能帮助医生更精确、更灵活地完成复杂的手术流程。最常见的机器人系统包括一个摇臂摄像机和一个与手术器械相连的机械臂，外科医生坐在手术台旁的计算机控制台前对其进行控制。控制台向医生展示了手术部位的高清晰度放大视图。微创手术可以减少病人的住院时间，缩短康复时间。

根据国际机器人联合会数

据，2018年医疗机器人的销售额与2017年相比增加了49%，达到4400多台，总价值约19亿美元。国际机器人联合会预计，从现在至2021年，将有超过22000台机器人售出，年复合增长率为27%，使医疗机器人成为所有服务型机器人行业中价值最高的机器人。

Relay机器人由位于加利福尼亚州圣何塞的Savioko公司制造，能安全可靠地在医院里运送物品，为药剂师、实验室技术人员和其他技术类工人节省时间，让他们专注于更有价值的工作和病人护理。Relay机器人能操控电梯和门，在繁忙的公共走廊中导航认路，因此能运送药品、血液、实验室样本、零食和文件，安全可靠且24小时待命。

建立Relay机器人系统的Savioko公司首席执行官史蒂夫·卡曾斯(Steve Cousins)说：“护士不应该花时间做与护理无关的工作。像去大厅取实验室血样这种琐事，机器人是能够完成的，护士何必浪费时间呢？”他还表示，与机器人协作不仅能提高工人的满意度，还有助于缓解长期存在的护理人员短缺现象。

英国公共政策研究所(IPPR)编制的一份报告在很大程度上和史蒂夫·卡曾斯的观点

一致。报告指出：“在医疗保健领域，自动化将主要通过减轻行政类的工作，对人类技能和人才资源提供支持。”医院与其他地方不同，在这里机器人将与人类一起工作，而不会取代人类，因此患者将从中受益。

2. 零售

美国零售业雇员约有1600万名，包括收银员、售货员、仓库管理人员和客服代表。在大型仓库和物流中心，机器人已经开始取代人类员工了，亚马逊等线上零售商不断寻求提升仓库和物流中心的生产效率，以降低成本。

亚马逊处于自动化的前沿，不断探寻新的方法，让机器人完成人类员工的工作。2014年，亚马逊开始在其仓库中使用最早由Kiva Systems公司开发的机器人。七年前，Kiva Systems公司被亚马逊以7.75亿美元收购，并更名为亚马逊物流机器人公司(Amazon Robotics)。目前，亚马逊在全球投入使用的机器人多达10万余台，并计划继续增加机器人的数量。据说这些机器人可以简化仓库工作，减少体力劳动，同时提升各种工作的效率，比如，顾客早餐后订购了一只牙膏，晚餐前就能收到。

据国际机器人联合会估计，

2017年安装的物流系统(用于零售仓库)数量为69000，比2016年增加162%，约90%安装在工厂之外。物流系统销售额约达24亿美元。

如今，机器人也在稳步走向展厅，只是设计的功能还有些受限。荷兰零售商巨头阿霍德德海兹集团(Ahold Delhaize)将500个配有精密摄像头的机器人投放到美国的杂货店，用以确保货架商品充足，以及地面上洒落或溢出的杂物被及时清理。在德国土星电器城(Saturn)家电商场的销售区，可能会有一个真人大小的机器人热情地向你致意，并带你找到你想买的那款电视机。在美国加利福尼亚州核桃溪市的BevMo酒类专卖店，负责监控跟踪库存的是名为诺玛(Norma)的两轮机器人，它能带你找到霞多丽白葡萄酒的货架(见案例研究)。

收银员的工作已经岌岌可



危：亚马逊由人工智能驱动、无需结账台的小型超市已开始营业，顾客可用智能手机为其购买的商品付款。

同样，机器人比人类更适合在货架过道间巡视跟踪库存情况，因为它们更不易分心。基石资本集团(Cornerstone Capital Group)是一家总部位于纽约的投资顾问企业，其研究主管约翰·威尔逊(John Wilson)说：“至少在短期内，机器人还做不到往货架上放货，但技术确实能够提升工作效率。”

案例研究：酒类专卖店中的机器人

克里斯蒂安·布朗斯坦(Christian Bronstein)工作于加利福尼亚州核桃溪市的BevMo酒类专卖店，他表示机器人可以帮助他更好地完成工作，并且不会威胁到他的事业前景。

在过去的六个月里，他一直在和四英尺高的机器人诺玛一起工作。他说道：“诺玛能扫描货架，看哪些商品缺货，能带顾客找到目标货架，还会讲笑话。诺玛让我们的工作轻松了不少”。

这款机器人由加利福尼亚州北部的Fellow Robots公司制造，是这家连锁酒类专卖店发起的一项实验。它主体正面有一块很大

的触摸屏，无机械臂，能为商店内的其他员工提供支持。布朗斯坦先生说：“它能提升工作效率，而且会让人感到新奇，人们自然会喜欢它。我们可以通过这种方式慢慢实现自动化。”

同样由 Fellow Robots 公司设计生产的 LoweBot 机器人，被安装在美国零售商劳氏公司 (Lowe's) 的几个大型五金店中进行测试。客户可以通过语音或使用触摸屏询问 LoweBot 机器人，庞大的卖场中哪里可以找到他们想要的商品。这款机器人还能沿着过道巡视，实时跟踪商品库存，帮助商店管理人员识别消费者的购物习惯，了解哪些商品卖得更快。

3. 酒店业

与医院一样，酒店和餐馆开展的大部分工作需要社交智力和人情味。但简单的日常任务已经在逐渐移交给机器人。

例如，在位于拉斯维加斯的豪华维达拉酒店 (VdaraHotel)，如果客人要求提供干净的毛巾或一壶热咖啡，很可能是在滚轮上缓慢移动的机器人提供相应服务。一对名为 Fetch 和 Jett 的机器人管家将客人需要的服务送至房间，在餐厅送咖啡，并为酒店客人处理其他杂务。客人可通

过机器人机身上的触摸平板电脑对服务满意度进行打分。

随着机器人视觉、语音识别和机器学习的潜在能力提高，这些组件的成本不断下降，服务型机器人正在加速其在酒店业的应用。酒店业和其它招待行业的高管，将细致地分析每个职业的工作内容，确定哪些工作由人工智能机器人处理会更高效。

据国际机器人联合会估计，对所谓“公共关系机器人”的需求将在未来三年内强劲增长。到 2021 年，用于超市、博物馆导航或在会议中心及酒店提供信息的机器人，其销量预计将从 2018 年的 15780 台增至约 93350 台。

然而，这些机器人是否会取代企业的现有员工还未可知。Savioke 公司在维达拉酒店投放了机器人，经过三个月的试验，那里的人类员工投票决定让机器人继续留在工作岗位上。卡曾斯先生说：“因为员工赚的钱变多了。”员工清楚哪种客房服务客人给的小费最多，然后自己去做，让机器人完成最乏味又不赚钱的琐事，比如送牙膏或干净的毛巾。“员工可以选做最赚钱的工作。”卡曾斯先生如是说。

维达拉酒店的经理艾什琳·比姆 (AshleenBhim) 表示，

员工和客人都喜欢和机器人互动。她说：“我们获得了一致好评，我真没听到过任何负面反馈。”

机器人也准备在食品服务行业发挥更大的作用。因为餐厅老板意识到，不断上升的劳动力成本常常超过堂食客人带来的收益。在一些“菜品单一”的餐厅，机器人也可下厨做饭，比如有家位于旧金山的汉堡店就在利用机器人完成对肉饼的加工和炙烤，但现在还无法判断这种趋势在经济上是否可行。沃尔玛公司 (Walmart) 也透露称，其正在阿肯色州本顿维尔总部对厨房机器人助手 (名为“Flippy”) 进行测试，看是否能应用于沃尔玛的多家熟食店”

至少有三家位于亚利桑那州的美国初创企业，也在致力于实现机器人的食品杂货配送。但是一些早期的顾客已经注意到，虽然机器人能将货物运到车道上，但却无法将装这些袋子送进厨房。

4. 运输

最近在电视上看到汽车广告的人如果认为已经有大量的自动驾驶汽车 (AV) 上路，也是情有可原的。为制造真正的自动驾驶汽车，用于部署人工智能的巨额投资吸引了极大的关注，但实际

进展却一直很缓慢，所以迄今为止，几乎没有司机因此失业。

这种情况可能会在未来五年内开始改变。全球政策解决方案中心（Center for Global Policy Solutions）估计，在向自动驾驶汽车的快速转型过程中，可能会有 400 多万个工作岗位流失。送货司机、重型卡车司机、公共汽车司机、出租车司机和私人司机等职业都将受到十分严重的影响。但这种影响很大程度上取决于转型的速度。

轶事证据表明，大规模自动驾驶汽车部署的速度不会太快。去年，亚利桑那州发生了一起自动驾驶汽车事故，撞死一名行人，这给监管机构敲响了警钟，也降低了投资者的热情。同样重要的是，人们对于未来的自动交通结构模式也有着相互矛盾的观点。一些人认为，现有的汽车制造商将推动开发私人自动驾驶汽车，而另一些人则认为，整个交通运输基础设施将会被“按需供车”的网络打乱，在这种汽车网络中，乘客根据需要叫车。开发这种网络可能需要数年时间。

此外，卡车司机的短缺已经使美国道路运输饱受困扰。近来，密歇根州立大学（Michigan State University）主导、美国移动出行中心（American Center for

Mobility）发布的一份报告得出结论称：只有很少的卡车司机岗位（如有）会被自动驾驶汽车取代，而且直到 21 世纪 20 年代后半期才能感受到其对就业的影响。

案例研究：水上机器人

自动驾驶车辆不再仅限于在陆地道路上发挥作用。挪威的航海科技公司康斯伯格海事（Kongsberg Maritime）和行业领先的矿物肥料公司雅苒（Yara）正在共同建造世界上第一艘完全自主、电池供电的集装箱船。这艘雅苒·伯克兰（Yara Birkeland）号无人驾驶船舶，每年能省去多达 40000 次的卡车运输，从而为挪威地区密集的人口减少排放，提升道路交通安全性。康斯伯格海事公司产品服务部执行副总裁奥利维尔·卡德特（Olivier Cadet）表示，该船用于运输肥料，从雅苒公司在波斯格伦市的工厂经由内河抵达拉维克和布雷维克深海港口，总航程 31 海里。

卡德特先生解释道：“雅苒的目标是真正减少排放，停用卡车运输。”康斯伯格海事公司想建造一艘零排放的船舶，也希望尽可能降低船舶的运营成本。为了证明项目的合理性，该公司确

实部署了无人驾驶系统。他还表示：“我们必须尽可能地降低这艘船的运营成本，这是我们引进自动化技术的绝佳时机。”

雅苒的项目是一个特例，这艘船将沿着距离海岸线两英里以内的常规路线航行，而不在开阔水域航行。卡德特先生认为，航运公司在不断寻求降低成本的方法，远洋集装箱船会因此利用起更多的自动化功能。

5. 建筑业与农业

开发人员一直在努力制造可用于相对不受控、结构多样的建筑工地环境的机器人。然而，实际情况已经发生转变。工程师们对施工项目中的任务进行了非常细致的剖析，制造出协同人类工作的机器，配有摄像头、传感器和空间感知功能。新型机器人可以完成砌砖和安装石膏板的工作。这些机器人主要用于结构明确的工作环境，能比人类更快地完成机械、重复的任务。英国的第一台砌砖机器人的日均砌砖量可达 3000 块。使用机器人技术能够提高产量，提升工作安全性，并减少污染。

在农业方面，机器人正帮助人类解决不断加剧的劳动力短缺问题。在奶牛场，传统的人力挤奶每天只能进行两次，而挤奶

机器人平均每天可完成四次挤奶作业。国际机器人联合会数据显示，2017年，挤奶机器人共售出5386台，比上一年增加2%，预计在未来三年会加快采用速度，复合年增长率为27%。

近来，宾夕法尼亚州立大学（Pennsylvania State University）农业推广计划的乳制品技术专家马修·哈恩（Mathew Haan）向《纽约时报》透露称，在欧洲一些国家，用机器人挤奶占比高达30%，而美国接近2%。哈恩还指出，欧洲奶农雇佣人工劳动力的成本增加，欧盟农业补贴金额加大，可帮助支付使用挤奶机器人的费用，欧洲奶农可能会因此耗资20万美元。

服务型机器人何去何从

技术变革的历史表明，机器人技术整合至各服务领域的趋势不可阻挡。但这种转变不会在一夜之间发生，也就是说，雇主和员工还有时间预测将被机器人和自动化取代的服务类职业，并且未雨绸缪，寻找到机器人与人类最佳的协作方式。起初，只让机器人完成最简单的服务，比如为护士送血样或在快餐店煎汉堡。即使机器学习和人工智能的能力迅速提高，需要同情心、创造力和社交智力的职业也不会轻易被机器取代。虽然机器人能够读取X射线，却不能灵活移动手指，

所以那些需要触摸和感觉的职业也是一样。开发能替代人力岗位的机器人成本高昂且十分复杂，因此，在服务规模大、服务对象多的机构中，岗位替代现象最有可能产生。比起只有11间客房、房屋平面结构各不相同、风格雅致的小旅店，一家500间标准客房的大型连锁酒店更有可能安装机器人吸尘器。

九、如何应对机器人的崛起

美国劳动力市场的历史证据表明，当制造业员工失去生产岗位，再就业时通常会投身于服务业。通过分析35000余名美国工人职业生涯中的工作变动（使用可追溯至1995年的纵向家庭调查数据），我们发现离开生产岗位的员工中，有一半以上只从事三类职业：运输、建设与养护，以及行政管理工作（见图19）。

但根据我们的研究，这三类职业都属于在未来十年内最易受到自动化影响的职业。这突出说明，服务经济由于技术进步逐渐迈入就业中断时代，将对那些因自动化受到最大影响的工人构成持续的威胁。

方框的大小代表该类别在新



图 19: 工人离开生产岗位后的新职业

职业中所占的份额：红框为正在减少的职业；绿框为正在增长的职业

与此同时，我们展示了机器人投资如何推动经济增长，并为各经济体创造了新的就业机会。决策者必须预料到这种自动化水平的力量——包括整个经济领域内的新就业机会和岗位流失。

为了更好了解多数工人需要克服的技能挑战，适应自动化的未来，牛津经济研究院与思科公司 (Cisco) 合作开发了一个技能匹配模型。模型模拟了劳动力市场受到破坏时，企业用合适的员工填补空缺后又导致原岗位出现空缺的复杂动态。技术进步造成的就业中断引发了劳动力市场的演变，该模型捕捉了演变过程中许多小的变动，强调了当前经济需要的新技能，阐明了解决技能短缺问题的最好办法。

认识新技能学习的挑战

机器人最大的技能缺陷表现在谈判和客户服务导向上，而人类的这些技能明显优于机器人。

2017年，英国牛津经济研究院与美国思科系统公司 (Cisco) 合作开展了一项名为“人工智能悖论：机器人将如何让工作更加人性化”的研究，对美国经济面临的技能挑战进行了开创

性的分析。我们开发了一个多层模型框架，模拟职业性质和劳动力市场格局如何随着飞速变革的技术而变化。众多技术专家组成的研究团队提出了情景假设，基于800多个职业各自的工作概述，我们利用情景假设对工人当前岗位的取代情况进行了探究，也研究了因此给企业可能带来的生产效率的提高。

我们的10年就业预测显示，各行业和职业群体对员工的需求正在重新平衡。根据我们的情景假设，美国在运输和仓储领域的就业人数预计将减少约9%，而新需求推动了信息与通信技术、金融、医疗保健和旅游业就业的净增长。我们开发的技能匹配模型可了解员工如何应对这些变化。

研究显示，美国工人在技术技能方面存在一系列严重短缺——要落实新技术带来的生产效率的提高，必须克服这些差距。矛盾的是，技术的能力虽然变强了，如今劳动力最缺乏的却是“人类技能”。机器人最大的技能缺陷表现在谈判、说服、客户服务导向上，而人类的这些技能明显优于机器人。

我们在后续研究“科技与东盟就业的未来”中，将相同的模型框架应用于不同的背景。

我们发现，到2028年，由于新技术的采用，东盟六大经济体将有660万个就业岗位可能被裁减。引人注目的是，预计有大量农业工人将因此摒弃传统再就业路线，跳过制造业，直接投身于服务业。此外，许多容易受到自动化影响的工人不具备重塑劳动力市场所需的信息与通信技术技能，而且几乎30%的失业群体缺乏从事未来工作必需的“互动技能”。另有超过四分之一的人缺乏必要的“基本技能”，如持续学习、阅读和写作。信息通信技术和专业技术等技能需要通过正规教育和定期进修课程学习。其他比如谈判、说服、客户服务等软技能都需要在岗历练，也可以选用更方便灵活的虚拟培训来实现。

十、行动框架

在本报告中，我们概述了机器人带来的潜在价值和真正担忧——机器人造成的岗位流失将会加剧现有的经济不平等。自动化给决策者出了一个根本性的难题，他们必须在机器人长期发展的潜在收益和社会就业需求错位造成的短期痛苦之间找到平衡点。

我们的分析采用协调的、基

于证据的方法，了解机器人如何改变世界，所探讨的问题将会影响到商业与社会的方方面面。自动化的影响相互关联、错综复杂，但机器人技术的发展是不可避免的，人类必须面对并解决这些挑战。决策者、商业领袖、技术公司、教育工作者和工人均能在其中发挥作用。考虑到这一点，我们提供了一个行动框架，方便不同的利益相关者都能前去应对自动化带来的挑战和机遇。

1. 商业领袖

- 创新步伐加快，全球竞争加剧。面临商业挑战，请寻求技术解决方案，不要迟疑。

- 进行技术投资时，请获得员工的认同。直接与员工沟通清楚采用机器人的意图。在实施机器人战略的同时，投资必要的员工培训与教育项目，让员工有所准备，尽快适应。

- 意识到技术变革将扰乱许多工人的生活，应一同承担责任，帮助他们走向未来充满机遇的道路。

2. 教育工作者

- 要意识到整个经济体对技能的需求会不断变化，专业技术类的技能虽至关重要，但经济发展也需要工人具备许多非技术性的技能和“软”技能。

- 开发灵活的方法提供技

能培训和教育。正式培训课程应目标明确并不断进行更新，此外，还应加大对“终身学习”和“在职培训”项目的投入。

- 进行投资，与当地产业建立更紧密、更合作的关系，对因新技术而增长或收缩的行业进行评估，从而预测当地经济出现的劳动力需求。预测新工作岗位所需的新技能。

- 与地方当局共享数据，使教育培训与地方的重点培养技能战略、就业计划无缝相接。要帮助受自动化影响或失业的员工走进新的工作领域，密集式的“新兵训练营”培训不失为一种选择。

3. 技术公司

- 采取措施，减少机器人造成的岗位流失和社会动荡，避免破坏企业赖以生存的消费市场。

- 就整个行业人力资源投资的倡议展开合作——如，承诺共享部分利润。

- 与政府和教育机构合作，负责职业再培训和辅导。意识到员工所需的技能，从而充分利用技术潜力并发展市场。

- 为机器人造成的问题寻找技术解决方案。

4. 员工

- 审视自己的工作，更好地理解人类独有的技能和自动化

技能间的平衡，在正确的领域竞争，让你的工作更“防机器人”。

- 保持“终身学习”心态。与前几代人不同，这个时代已经没有铁饭碗了。再培训和技能提升培训将成为就业的一部分。

- 支持能够提升工作灵活性的项目（即使是在工会工作环境中），以帮助形成合作的工作分担模式和弹性的工作时间。

5. 政府决策者

- 探索和分析自动化对经济、工作场所和整个社会的影响，使政策计划适应不断变化的环境。

- 创建协作环境，如科技园、生活实验室和其他可访问的创新生态系统，促进中小型企业的技能进步。

- 进行劳动力调查，结合地区商业趋势和发展战略分析，在地方层面对现有技能进行规划，以作为战略规划的基础。利用财政补贴鼓励企业和工人参与地方项目，对具有当地相关技能的工人进行再培训。

- 找出最易因机器人崛起而产生就业错位的行业领域，利用侵略性、前瞻性的计划抵消这些影响。探索从基础设施投资到培训计划、创新福利计划（如全民基本收入）等所有的政策选择。 

中国机械工程学会第十一届六次常务理事（扩大）会议在辽宁沈阳召开

2019年7月14日，中国机械工程学会第十一届六次常务理事（扩大）会议在辽宁省沈阳市召开。中国机械工程学会理事长李培根，常务副理事长张彦敏，副理事长陈钢、林忠钦、郭东明，

副理事长兼秘书长陆大明及其他40位常务理事出席会议。副秘书长邢梅、左晓卫，27个专业分会和21个省区市机械工程学会负责人以及工作总部相关部门负责人列席会议。参会代表共计100

多人。

会议由李培根理事长主持。

张彦敏常务副理事长为全体参会代表上了一堂“不忘初心、牢记使命”主题教育活动专题党课。报告立足学会工作实际，回顾了学会建会时“联络机械工程同志、研究机械工程学术、发展机械事业”的初心，分析了学会在我国建设科技强国、创新强国、质量强国的征程中应担当的使命，希望学会各位理事、常务理事、工作委员会、专业分会和省区市学会对照“初心”和“使命”，找差距、抓落实，担负起建设世界一流学会的历史使命，扎扎实实为建设一流学会打基础。

陆大明副理事长兼秘书长以“认准目标 全面推进 加快建



李培根理事长主持会议

设世界一流学会”为题做了学会2019年上半年工作报告。报告全面汇报了学会各级组织2019年上半年在完成世界一流学会建设项目和学会五年事业发展规划中提出的重点任务中所做的工作,分析了学会在风险识别与防控、各级组织协作、内部治理等方面存在的问题,对2019年下半年工作的指导思想、方针措施和重点任务做了全面的部署。

会议审议并表决通过了筹备设立“机械工程学术出版基金”的议案、专业分会委员会换届及届内调整变动、分支机构管理办法(草案)、会员管理条例(草案)、设立中国机械工程学会会员日、展览工作委员会工作条例及组成人员名单、筹建工业软件分会、游乐机械分会、极端制造分会、机械科技情报分会更名等9项议案。

讨论环节中,参会代表就理事履职、会员发展、会员活动等问题发表了建议和意见。

本次会议期间还召开了第十一届理事会第九次党委(扩大)会议和第十一届理事会第九次理事长办公会、标准化工作委员会(扩大)会议、学术工作委员会及青年工作委员会工作会议、展览工作委员会工作会议、分支机构负责人工作会议等多项专题会议,举办了“中国机械工程学会走进辽宁创新助力活动”。**MT**



张彦敏常务副理事长上党课



陆大明副理事长兼秘书长做2019年上半年工作报告



与会代表表决议案

中国机械工程学会走进地方 系列活动在沈阳举行

7月13-14日，中国机械工程学会走进地方系列活动在辽宁省沈阳市举行。本次活动由中国机械工程学会、辽宁省科学技术协

会、辽宁省先进装备制造业基地工程中心共同主办，辽宁省机械工程学会承办，主题是：装备智

造与振兴发展。本次活动与辽宁省科协第十三届学术年会合并举行，来自中国机械工程学会的百余位院士专家和辽宁省装备制造领域的高校院所和企业代表共计



会场



中国机械工程学会副理事长郭东明院士致开幕词

300 余人参加了活动。7 月 14 日上午，大会开幕式上，中国机械工程学会副理事长、辽宁省科协主席、大连理工大学校长郭东明院士致开幕词，辽宁省政府副秘书长王永威致欢迎词。

为进一步推动全国学会入辽，支持振兴东北老工业基地国家战略，由中国科协学会服务中

心、中国机械工程学会、辽宁省科协、辽宁省先进装备制造业基地工程中心四家单位协商达成一致，在大会开幕式上共同签署战略合作协议，最大程度调动全国相关学会资源，引导学会、高校、企业在先进装备制造领域与辽宁开展合作，推动创新要素资源向辽宁聚集，向“一带五基地”建设聚焦，以实现科技助辽。

学术报告环节，中国机械工程学会理事长、华中科技大学原校长李培根院士做了“智能机器与装置的若干趋势”的报告。报告通过大量智能机器、装置与系统的案例，描绘了智能制造的未来场景，不仅有人机协调与交互、生命与机器的融合、还有无人系统、软件增强硬件能力等发

展趋势。这些智能技术在装备制造中的应用将极大改变制造业的形态，甚至带来根本性的变革，对于以装备制造立省的辽宁来说，了解这些智能技术的发展趋势，对辽宁省装备制造业的发展和科学规划具有重要意义。

报告会后，中国机械工程学会和辽宁省先进装备制造业基地工程中心举行了“中国机械工程学会走进辽宁高端对话会”。中国机械工程学会根据会前辽宁省提出的需求，精心组织了包括学会理事长、副理事长在内的 22 名院士专家参加了对话会。对话会由辽宁省政府副秘书长王永威主持，辽宁省先进装备制造业基地工程中心主任张震和省工信厅副厅长冯文胜分别就辽宁装备制



签署战略合作协议



中国机械工程学会理事长李培根院士做报告

制造业产业发展和先进装备制造业基地建设情况做了情况介绍，有关企业提出了技术需求。

中国机械工程学会各位专家认真听取并仔细研究了辽宁省的有关介绍，对辽宁省装备制造业发展尤其是如何打造具有国际竞争力的先进装备制造业基地提出了有重要参考价值的意见和建议。中国机械工程学会理事长李培根院士、副理事长、国家市场监督管理总局原党组成员陈钢和中国机械工程学会副理事长郭东明院士先后发言，对辽宁省装备制造业发展及辽宁省先进制造业基地建设提出了多项建议。对话会后各企业纷纷与学会专家主动沟通，探讨下一步开展合作。此次对话会不仅直接对辽宁省有关政府部门、产业规划提出了宝贵的建设性意见建议，而且开启了学会专家与辽宁省装备制造业需



高端对话会



参观企业

求合作的绿色通道，搭建了双方合作交流的平台，在产学研合作、技术标准研制、人才培养等方面起到了推动作用。

7月13日下午，专家们参观考察了中航工业沈飞集团公

司、沈阳新松机器人自动化股份有限公司、东软集团等，了解辽宁省装备制造业发展现状和需求，为下一步中国机械工程学会与辽宁省更进一步的合作奠定基础。MT



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



2020 深圳再相聚

MEET AGAIN IN SHENZHEN 2020

BEW2020

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，
可获得更多展会信息。



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