

中国成为制造强国的关键机遇： 制造业与人工智能结合^{*}



清华大学国家金融研究院 朱民 黄乐平

前言

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

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

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

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

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

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

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

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

要手段。特别在中美贸易摩擦挑战下，制造业亟待人工智能赋能。

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

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

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

注：本文来源于原子智库公众号，已获得授权。

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

一、制造业和人工智能互补共赢

1. 人工智能在制造业发展前景无限

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

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

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

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

能并发展深层次应用。

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

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

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

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

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

音拣选。

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

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

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

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

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

的分布式处理、分布式数据库和云存储、虚拟化技术等。

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

2. 中国制造业为中国人工智能发展提供最大的场景

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

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

上唯一有完整的制造业体系、产品和产业链的大国。

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

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

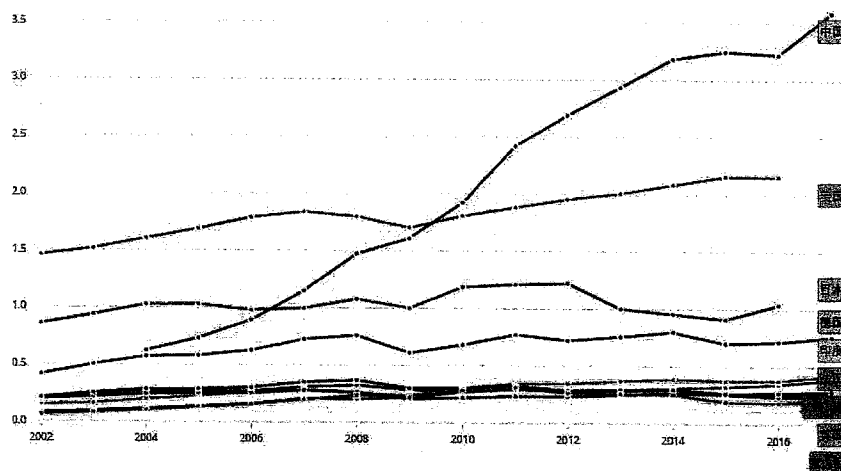


图 1 2002-2017 制造业增加值 (万亿美元)
数据来源: Worldbank Database, 作者

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

Rank	Change	Country	Index Score (2020 Projected)
1	(▲ +1)	United States	100.0
2	(▼ -1)	China	93.5
3	(↔)	Germany	90.8
4	(↔)	Japan	78.0
5	(▲ +6)	India	77.5
6	(▼ -1)	South Korea	77.0
7	(▲ +1)	Mexico	75.9
8	(▼ -2)	United Kingdom	73.8
9	(▼ -2)	Taiwan, China	72.1
10	(▼ -1)	Canada	68.1

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

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

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

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

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

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

资料, 助力机器学习进一步的算法优化、提高预测准确度。

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

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

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

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

3. 人工智能赋能中国制造业克服挑战

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

人口红利消失, 制造业外移和国际环境的外部冲击的根本性挑战。

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

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

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

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

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

能增长、提高中国劳动生产率时不我待。

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

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

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

也为企业的持续发展创造动力。

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

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

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

(4) 以人工智能解决中国制造业因劳动成本上升等引起的产

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

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

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

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

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

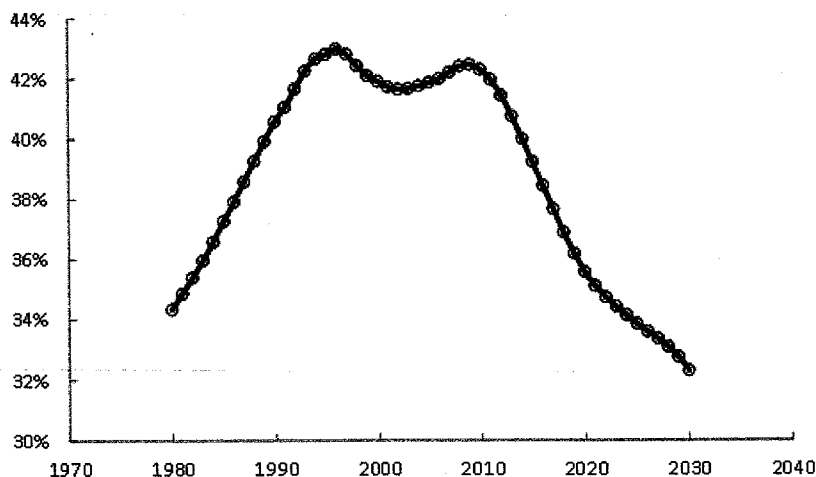


图3 中国青壮年(20—44岁)人口占比自2011年起开始下降
数据来源:国家统计局,美国经济分析局,作者

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

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

二、智能制造业的崛起

1. 智能制造产业化基本特征

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

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

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

各行业已尝试将其引入标准化程度较高的业务中,提升行业的自动化水平。

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

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

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

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

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

在制造业领域,风能发电设

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

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

2. 智能制造业催生新的未来智能产业

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

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

例如,自动光学检测(AOI)机器通过摄像头自动扫描PCB,

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

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

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

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

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

(2) 工业软件与服务企业开

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

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

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

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

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

透,而拥有领先区块链软件及项目落地能力的企业将优先得益。

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

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

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

3. 无所不包的工业云服务

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

第一层:及时发现问题。

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

数据,来及时发现问题,将损失的成本降到最低。

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

第二层:预测问题发生(产品预测性维护)。

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

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

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

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

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

设备维护时间更换即可避免无法控制的产能损失。

第三层:产品全生命周期优化(数字双胞胎)。

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

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

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

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

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

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

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

第四层:产业链协同:交互定制平台(C2M)。

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

海尔集团的交互定制平台是产业链协同的一个很好实例。通

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

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

硬件层面，在互联工厂中可

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

第五层：开放平台。

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

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

四、企业发展智能制造的路径

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

首先，数字化。通过将种类繁多的工业传感器布置于生产与

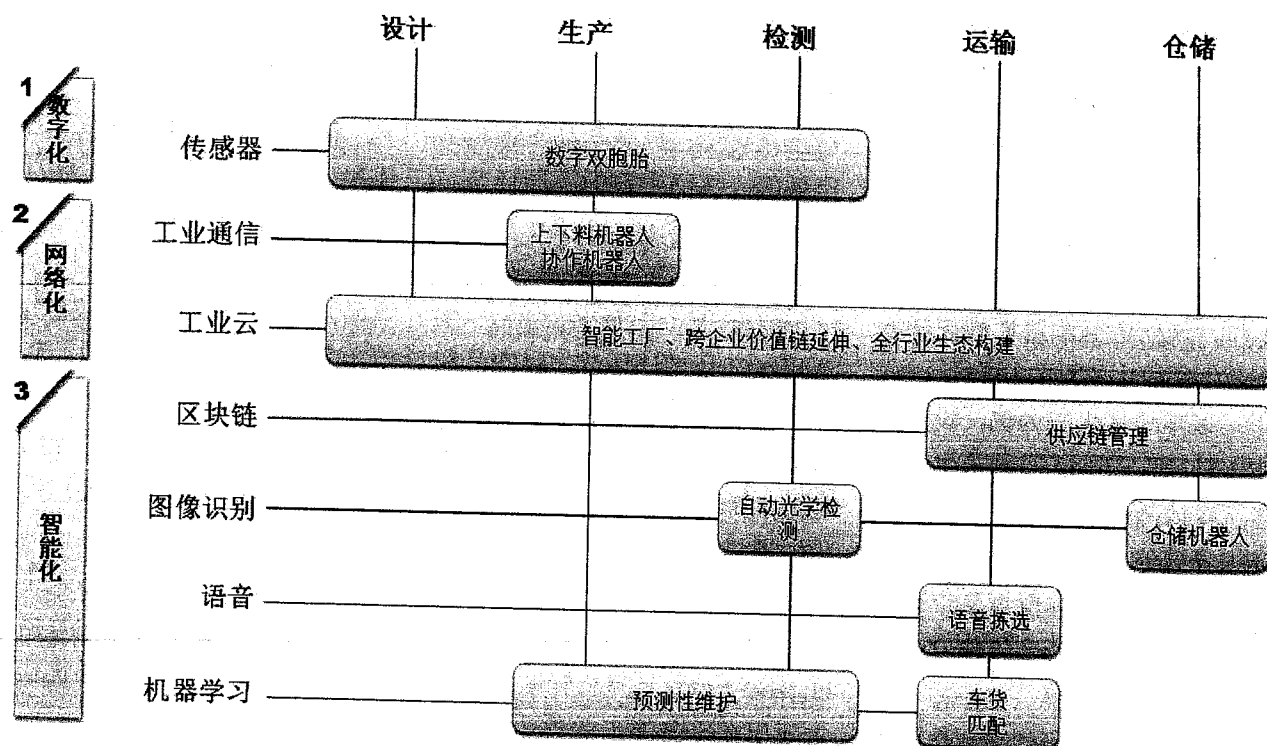


图 4：人工智能如何改变制造业
资料来源：工信部，作者

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

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

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

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

1. 第一步:数字化——“感受”工业过程,采集海量数据

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

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

(2) 工业传感器:工业数据的“采集感官”,多类别、广应用为智能化奠基。

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

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

2. 第二步:网络化——高速传输、云端计算、互联互通

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

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

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

(2) 工业云:汇聚提炼海量数据,模型计算资源优化的场所。

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

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

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

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

3. 第三步：智能化——三个维度的整体智能化

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

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

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

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

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

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

五、结束语

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

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

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

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

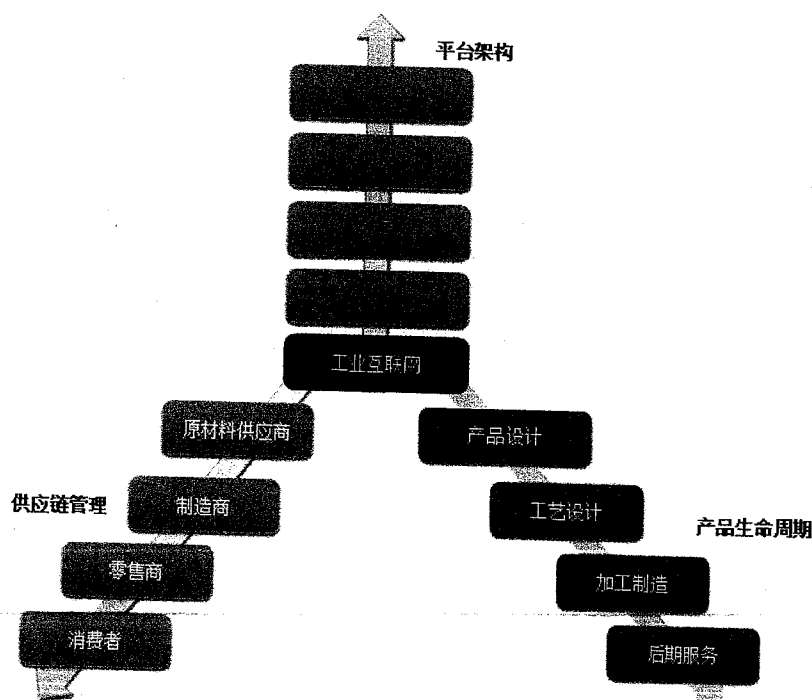


图5 三个维度打通工业企业的数据流（工厂平台架构，产品生命周期，供应链）
资料来源：工信部，作者

将有望得以实现，制造业的深度智能化将不再仅存在于愿景。

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

(鸣谢北京大学工学院陈璞教授，达索系统赵文功先生，及周少林先生提供的帮助)