



上海市人工智能技术协会
Shanghai Artificial Intelligence Technology Association

数字化转型白皮书系列

数智技术驱动

智能制造

目录

前言.....	1
第一章 智能制造 2021	4
(一) 智能制造的定义和内涵	4
(二) 智能制造发展驱动因素	6
(三) 智能制造核心价值	9
第二章 数智技术引领制造“智”升级.....	11
(一) 走进“数智技术”	11
(二) 数智技术：价值与挑战	12
(三) 数智技术驱动下的智能制造	14
第三章 智能制造重构产业未来.....	18
(一) 智能制造发展现状	18
(二) 智能制造发展趋势	20
(三) 智能制造产业生态	22
第四章 数智技术 X 智能制造实践	27
(一) 典型应用案例剖析	27
(二) 数智技术 X 不同制造业领域的实践差异.....	33
总结与展望.....	35

第一章 智能制造 2021

(一) 智能制造的定义和内涵

智能制造源于人工智能的研究和应用，其概念最早由美国赖特·伯恩在著作《Smart Manufacturing》中提出，将“智能制造”定义为“通过集成知识工程、制造软件系统、机器人视觉和机器人控制来对制造技工们与专家知识进行建模，以使智能机器能够在没有人工干预的情况下进行小批量生产”。20世纪90年代，随着主要发达国家投入重视和研究，“智能制造”概念得到进一步发展，由原先的单体智能化转向智能机器与智能生产活动的有机融合。

21世纪以来，随着人工智能、大数据、云计算、物联网等新一代信息技术的快速发展及应用，“智能制造”概念进一步深化。根据我国工信部2016年出台的《智能制造发展规划（2016-2020年）》中定义，“智能制造是基于新一代信息技术与先进制造技术深度融合，贯穿于设计、生产、管理、服务等制造活动各个环节，具有自感知、自决策、自执行、自适应、自学习等特征，旨在提高制造业质量、效益和核心竞争力的先进生产方式。”2014年，美国能源部将“智能制造”定义为，“智能制造是先进传感、仪器、监测、控制和过程优化的技术和实践的组合作，它们将信息和通信技术与制造环境融合在一起，实现工厂和企业中能量、生产率、成本的实时管理。”

无论从哪个视角出发，今天各国对“智能制造”的理解都不再局限于生产过程或单体智能，而是扩展到产业价值链的各个环节、包含企业活动的方方面面，也不再单方面强调数智技术本身的应用价值，而是更加重视数智技术与先进制造等跨领域技术的深度融合和实践创新。

由全新定义出发，智能制造在实践中的运用和渗透将帮助企业实现在产品、生产、管理和服

务四大方面的智能化升级。



图 智能制造的内涵

产品智能化：即是将传感器、处理器、存储器、通信模块、传输系统嵌入产品，使得产品具备动态存储、感知和通信能力，成为物联网连接的终端，从而实现产品“可追溯、可识别、可定位”功能。根据 Transforma Insights 研究显示，到 2030 年这些物联网终端数量将增长到 241 亿个，复合年增长率为 11%。

制造智能化：包括制造载体智能化和制造过程智能化两个层面：制造载体智能化，包括单机智能化，以及单机设备的互联而形成的智能制造单元、智能产线、智能车间、智能工厂等；制造过程智能化，则是通过数智技术和先进制造技术的融合应用，使得制造过程中所涉及各个流程、生产要素以及上下游企业，以用户价值为中心，实现网络化协同和柔性化生产。

管理智能化：随着技术融合不断深入，制造企业获取数据的实时性、完整性、准确性不断提高，结合智能化分析技术可以帮助企业提升资源管理、能源管理、供应链管理、订单管理、设备管理等方面的决策效率，变被动管理为主动管理和预防性管理，使得管理更准确、更高效、更智能。

服务智能化：在产品智能化的基础上，企业与终端用户交互更为直接，为用户提供更好的服

务体验将成为智能制造的重要组成和价值增量,越来越多的制造企业将从生产型制造向服务型制造转型,制造与服务的边界逐渐消弭。

(二) 智能制造发展驱动因素

制造业升级是所有制造业大国面临的共同课题,主要目标都是在于通过数智技术创新和应用来提升国家制造业竞争实力,克服逐渐上涨的人力成本,将制造业留在本国的同时,保持自身制造业优势,但由于各国制造业基础和优势不同,在发展智能制造的核心诉求和战略重心上各有差异(各国智能制造相关政策参考附表1)。

美国自二战后面临制造业空心化问题比较严重,通过发展智能制造引领制造业复兴是美国的主要诉求,而美国制造业信息化全球领先,尤其在工业软件和互联网方面独占鳌头,因此其战略重点主要关注生产设计、服务等价值链环节,强调智能设备与软件的集成和大数据分析。

德国工业自动化领域全球领先,精密制造能力强,高端装备可靠性水平高,国家战略着眼通过CPS(Cyber-Physical Systems,信息物理系统)推进智能制造,希望通过数字化创新与工业制造的融合发展来巩固、捍卫国家工业技术主权。

日本制造业注重提高产品质量和技术创新,牢牢占据产业链高端位置。由于日本社会面临老龄化和少子化问题比较严重,发展智能制造主要以解决问题为导向,战略侧重引导产业智能化成果融入到社会生活的方方面面,以此来支撑日本社会的结构化转型,打造“超智慧社会”。

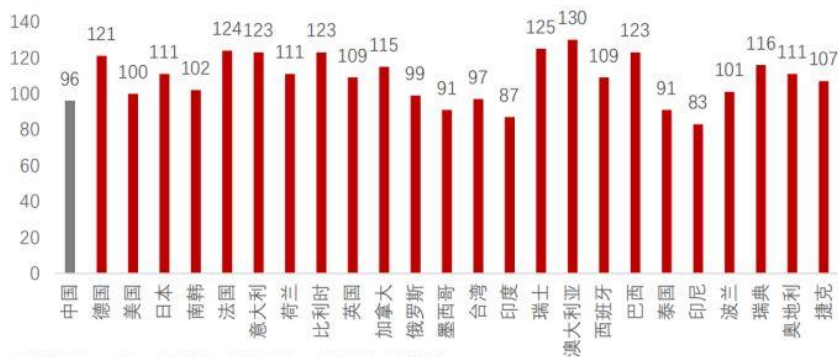
中国近年来从顶层规划到行动计划不断发布各种利好政策来推动智能制造发展,背后的驱动力主要源自供给侧问题和需求侧变化两大因素。

从供给侧看,中国制造虽体量大,但在长期竞争中却面临“大而不强”的现实局面,具体体

现在以下四个方面：

一是中国制造综合成本的相对优势正逐渐变小。除用工成本外，能源使用成本、土地成本、融资成本都在不断上涨。波士顿咨询曾比较 25 家出口经济体的制造业成本指数显示，中国制造业综合成本已与美国基本相当。

制造综合成本指数，2014（美国=100）



包括劳动力、电力、天然气、其他成本，来源：波士顿咨询

图：全球前 25 家出口经济体的制造业成本指数

二是我国产能过剩问题较为严重。根据专家测算，我国产能利用率低于 79%~83% 的正常值范围，反映出我国供需两侧适配度有待提升，整体生产效率较低的状况。



来源：《中国制造业产能过剩的测度与分析》，刘明，张雅婷测算

图 制造企业产能利用效率（来源：中国人民银行）

三是我国制造业主要处于低利润率的加工制造环节，技术含量和附加值不高，亟待向产业链高端升级；同时，由于产业链上游的基础材料、关键元器件、先进基础工艺和产业技术基础较为缺失，产业缺乏自上而下自主化体系，在国际局势错综复杂、不确定因素增加的大环境下，产业链供应链稳定正面临挑战。

四是我国制造业发展对能源资源依赖度较高，过往粗放型生产对环境的破坏性较大。据世界银行 2017 年数据统计，我国单位 GDP 能耗约为世界平均水平的 1.53 倍，其中工业制造占全国碳排放总量的 70%以上，面临主动控制碳排放和 2030 碳达峰的新形势，制造业未来发展将受能源环境要素的约束越来越紧。

从需求侧看，消费市场呈现不可逆的两大趋势：一是用户越来越重视消费体验和产品服务、强调个性化需求，驱动制造企业生产方式向定制化方向转变；二是用户求新求快的需求变化要求制造企业缩短产品创新和制造周期，敏捷响应市场瞬息变化趋势。

整体上看，在供给侧上所积累的各种问题，以及需求侧的变化趋势，都是驱动我国大力发展智能制造的主要动力，这和其他国家智能制造战略的核心诉求形成本质区别。

(三) 智能制造核心价值



图：智能制造五大核心价值

从驱动因素出发，总结中国发展智能制造的五大核心价值：

一是降低制造企业的综合成本。例如，通过机器人或人机协同方式提高劳动生产效率，减少人工成本；利用视觉算法等手段提升检测一致性和稳定性，降低产品不良品率，减少因质量问题造成的经济损失；物联网、大数据、区块链等技术应用加速产融结合，精准刻画企业经营行为、评估企业资产状况，为供应链企业提供更低价格的信贷资金；依据市场数据反馈合理安排要素投入，减少物料浪费，或施行智能库存管理来降低仓储成本等。

二是提质增效。例如，数据驱动代替经验判断，全面优化生产流程，改善制造工艺，提高生产效率；科学高效排产，提高设备利用率；集成数智技术提高生产执行精度，确保产品质量。

三是减少能源资源消耗。例如，通过物联网连接设备可以实时在线监测和控制能源和资源使用情况，提高能源资源利用效率；利用智能化节能减排设备或解决方案替换落后产能和生产工艺，实现绿色生产。

四是提升用户体验。例如，数智技术应用打通产业链上下游，实现需求端与设计端、制造端的直接对接，对复杂的市场动态进行数据分析和预测，准确把握市场机会，快速进行产品创新，实现敏捷制造和精益生产，响应市场变化和用户个性化需求；通过在价值链各个环节增加与用户交互节点，鼓励用户全程参与产品生产过程，为用户的最佳体验不断迭代产品，提升产品附加价值；基于产品智能化，通过与环境、用户交互，产品可自动回传运行和环境数据，通过数据监控和分析，为用户提供远程的预防性运维服务。

五是重塑生产方式。数智技术和先进制造技术的融合应用将会带来生产模式的创新和变革，推动传统制造企业从大规模生产向定制化生产转变，企业从单纯的制造商向服务端衍生，而价值创造过程也将从传统单向链式过程转向网络化协同共创模式。

第二章 数智技术引领制造“智”升级

（一）走进“数智技术”

信息技术是包括信息从采集、传输、存储、分析、反馈这五大环节所有技术要素的总称，五个环节组成信息产业的闭环，每个环节的技术进步都会推动整个行业应用生态螺旋式先上发展。



图 数字化转型技术要素

数智技术即是推动智能时代信息产业发展的技术集合，包括更低成本的信息采集设备，高带宽低延时的 5G 传输技术、万物互联的 IoT 技术、大容量存储和高性能计算的云服务，以及对海量信息高效分析的人工智能技术等，它们与制造技术融合应用推动制造业数字化转型进程，引领制造业完成“智”升级的战略目标。

换句话说，**整合数智技术完成信息从采集、传输、存储、分析到反馈的闭环流程是实现智能制造的前置条件之一。**

走完智能制造信息闭环主要经历三大阶段——数字化、网络化和智能化：一是利用信息采集技术，包括 MEMS 传感器、智能摄像头、智能终端等感知设备实现物理世界数字化过程；

二是结合 5G、物联网等通信传输技术完成不同节点间低成本的高效连接和交互，加速数据的流通和共享；三是基于云边计算和人工智能技术，进行低成本存储、处理海量数据资源，并通过智能化分析形成一系列决策指令，以指导价值链各环节的企业活动。其中，每一阶段的完成程度决定下一阶段技术的应用价值，换句话说，数字化和网络化是企业实现智能化的必要前提。

另一前置条件是数智技术与制造技术的双向融合。

“制造的本质是发现问题、了解问题，在此过程中获取信息，并将其抽象化为知识，再利用知识去认识、解决和避免问题的过程。了解和解决问题的方式决定了所获取知识的形式，而将知识抽象加以运用的过程则决定了知识传承的形式。”¹ 由上可知，**智能制造是在数据驱动下完成“获取信息、抽象知识、形成认知到解决问题”的过程**。可见，数据是获取知识的基本要素，洞察关键数据的内在关系是形成决策的前提，这就要求企业在数智技术应用中要融合对制造技术的认知，深刻了解生产工艺特点、掌握制造流程变化，才能进行高质、高效的数据采集和积累，在此基础上才能真正走完上述信息闭环。

(二) 数智技术：价值与挑战

由数据驱动代替经验驱动已成为产业数字化转型的共识。如果将数据视为智能时代的“新石油”，那么数智技术即是钻取和提炼“石油”价值的“炼油工厂”，使用数智技术广泛获取数据，进行深度学习，将海量原始数据加工为知识，并转化为决策或行动来指导企业运行。

数智技术是推动产业数字化转型不可或缺的关键技术，其应用价值主要体现在三个方面：

决策更及时：实时获取场景/业务数据的自动反馈，结合智能化分析进行动态预测，代替人

¹ 引用《大数据到智能制造》，李杰、倪军、王安著

工经验判断，提升决策的准确性和及时性，例如基于设备状态实时分析的故障预测和健康管理，或基于在线用户数据的需求预测，加速产品创新和迭代周期等。

运营更精细：随着产业数字化进程加速，所获取的数据颗粒度越来越细、数据维度也更加丰富，由数据驱动的企业运营、管理会更加精细，例如基于用户画像的精准营销，或对能源使用的实时监测和控制等。

应用更智能：智能化设备/应用辅助或取代人工岗位，并在应用过程中进行算法的自我迭代和优化，不断提高决策水平，例如基于机器视觉的产品缺陷监测等。

尽管数智技术对产业数字化转型的意义匪浅，但在实际落地过程中仍然存在一定挑战：

数字化程度低，信息闭环难闭合：数据资产的积累是产业数字化转型的重要前提，如何持续获取数据，并将分布在不同系统、组织内的数据打通融合是企业数字化转型的首要命题。目前，多数企业（尤其是中小企业）受限于资金和人才匮乏，对数智技术投入不足，导致企业数字化水平低，缺乏完善的信息网络基础设施；此外，由于缺少统一标准、接口和编码体系，使得企业内外“数据孤岛”丛立，无法实现互通、共享，导致企业使用数据规模、种类有限，信息闭环难闭合，海量数据的资产价值无法得到充分发挥。

跨界融合难度大，复合型人才缺乏：数字化转型实际上是利用数智技术对企业流程再造的过程，需要既具备良好的数智技术素养，又能够了解产业技术和发展规律的复合型人才。据清华大学互联网发展和治理研究中心 2020 年对全球 ICT 人才调研统计，当前我国数智技术人才主要集中于科技行业，缺乏产业经验和实践背景，而产业 IT 人员总体对数智技术的认知不深，难以支撑产业数字化转型需要。根据人力资源与社会保障部数据分析，2025 年智能制造领域人才需求为 900 万人，人才缺口预计达到 450 万人。

不同产业差异大，规模效应难一朝形成：由于不同产业或产业中不同领域、不同企业之间存在技术、流程等差异巨大，数智技术在产业中的深入渗透须结合具体场景进行定制化开发，尚不存在一套放之四海而皆准的解决方案，这使得数智技术在产业互联网中的应用很难像在互联网时代一样，短期建立规模效应、获取巨大收益，而是需要与产业合作共进，在垂直领域中不断积累解决问题的通用能力。

网络安全问题不容忽视：随着数智技术的应用推广，网络安全问题将成为数字化转型过程中面临的重要挑战。一方面，传统网络安全系统跟不上数智技术应用和创新步伐；另一方面，数字化转型带来信息节点和信息总量爆发式增长，使得网络攻击的潜在损失“指数级”放大，对网络安全技术提出更高要求。

(三) 数智技术驱动下的智能制造

3.1 智能制造的核心特征

对于制造业而言，数字化转型是利用数智技术进行全方位、全周期、全链条的改造过程。以智能制造为主攻方向，通过深化数智技术在产品、生产、管理和服务等诸多环节的应用，与制造技术双向融合加快企业以及产业层面的数字化、网络化、智能化步伐，不断释放数智技术的应用价值，是现代制造业实现高质、高效、绿色发展的重要途径。

数智技术驱动下的智能制造主要表现为两大核心特征：一是虚实融合，二是网络化协同。

特征一：虚实融合，即物理空间在信息空间的完全映射，信息在两个空间中交互和融合，由统一“软件”平台协调和安排资源、能源、时间的最优分配，并在反馈中不断升级。



回溯工业革命发展历程，在机械化生产时期，信息技术尚未出现，所有生产要素都集中在物理空间中发生；到了电气化生产时期，机器大规模生产拓展了实体要素发生的物理空间，从小作坊变成了大工厂。

伴随信息技术发展以及在制造领域的深入应用，相对于物理空间中的实体要素外，信息/数据作为新生产要素，在企业活动中扮演越来越重要的角色。

在自动化生产时期，传感器、控制器（PLC）和执行器形成紧耦合的控制信息环，系统性地部署在各个机械零部件之上，从而形成依附于设备的“封闭式”信息空间，通过对信息要素的采集、计算，进而操控物理空间中相连机器部件的自动化运作。

进入智能制造时期，数智技术应用将不同物理空间的实体要素在同一信息空间进行“全要素”映射和重建，形成具有感知、分析、决策、执行能力的数字孪生体，从而实现物理空间和信息空间在更广范围、更深层次的交互融合，创造出一个虚实合一的制造系统，并通过统一“软件”平台进行要素资源的动态配置。

这里需要强调的是，由于人工智能技术的应用，机器算法将替代人的决策过程，形成对资源、

能源、时间等生产要素的动态配置，并在数据反馈中不断优化算法精度，提升决策水平，即智能制造系统相对传统制造具备自感知、自学习、自决策、自执行和自适应能力。

特征二：网络化协同，即通过建立统一“对话”标准，打通分散于不同层级、环节、组织的“数据孤岛”，让数据在不同系统间自由流动，从而实现企业制造各层级（纵向），及产业链上各环节（横向）的互联互通和协同化生产。



具体来说，一是通过打通企业层、执行层、设备层的纵向数据链，实现研发数据、制造数据向生产现场、制造设备的实时传递和处理，企业内部不同系统层级间无缝连接，推动企业的精细化运营和柔性化生产；二是横向打通企业内部以及产业链上下游不同企业间的业务数据共享，使得包括研发设计、物料采购、生产制造、营销销售、物流仓储、产品服务等环节中每个企业组织，都可以根据全产业链的共享信息进行资源调配、方案优化，灵活组织生产去迎合市场变化，缩短产品制造和创新周期。

通过纵向和横向数据打通，最终实现设备、车间、工厂、流程、物料、人员乃至产业链价值链各个节点的全面互联，使得价值传递过程从传统制造单向链式转向并发式协同，通过实时

数据感知、传送、分析和处理，围绕用户需求和产品全生命周期，进行资源动态配置和网络化协同，从而最大限度地实现个性化定制。

3.2 智能制造的系统架构

基于两大核心特征，我们再去理解企业智能制造的系统架构。



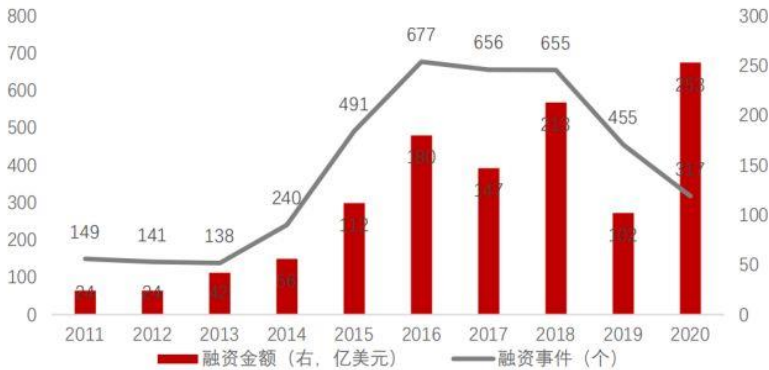
底层的虚实融合，即是通过信息基础设施的建设，将包括制造载体和制造过程在内的物理空间所有生产要素、供应链环节、工艺流程、管理活动等进行数字化，并通过网络连接和传输汇聚到统一数据平台之上，再结合智能化分析技术深度挖掘数据价值，**对内**赋能诸如能源、资源、供应链、订单等企业内部管理平台，提高企业管理和运营效率；**对外**可以通过工业应用开发平台面向第三方开发者开放，结合应用端需求进行工业应用定制化开发，也可以将企业能力/资源经过沉淀后，以工业服务微组件库形式开放给诸如金融机构、物流、电商等产业链上下游企业使用，通过协同合作方式提高整体产业的资源配置效率，响应终端用户需求变化。

第三章 智能制造重构产业未来

（一）智能制造发展现状

在数智技术发展和产业政策红利的双重推动，中国智能制造进入快速发展阶段。

投融资市场稳步增长。自 2015 年《中国智能制造 2025》政策发布后，智能制造相关投资开始增多，2020 年我国智能制造行业投融资金额为 252.61 亿美元，总体融资额较 2019 年有大幅上涨；2020 年虽然融资件数相对减少，但单笔融资金额有所增加，反映资本开始向头部优秀企业集中。



来源：Cruchbase. 由商汤智能产业研究院整理

图 2011-2020 年我国智能制造行业融资情况

根据政府报告统计，“十三五”以来，通过试点示范应用、系统解决方案供应商培育、标准体系建设等多措并举，我国制造业数字化网络化智能化水平显著提升。

供给能力不断提升，智能制造装备国内市场满足率超过 50%，主营业务收入超 10 亿元的系统解决方案供应商达 43 家。**支撑体系逐步完善**，构建了国际先行的标准体系，发布国家标准 285 项，主导制定国际标准 28 项；培育具有一定影响力的工业互联网平台 70 余个。

推广应用成效显著，试点示范项目生产效率平均提高 45%、产品研制周期平均缩短 35%、产品不良品率平均降低 35%，涌现出离散型智能制造、流程型智能制造、网络协同制造、大规模个性化定制、远程运维服务等新模式新业态。²据前瞻研究院统计，2020 年我国智能制造业产值规模达到 2.5 万亿元。



图 2015-2020 年中国智能制造业产值规模 (亿元)

中国智能制造发展前景向好，但与发达国家相比我国仍存在较大差距，主要体现在以下几个方面：

一是关键技术、核心零部件/装备、高端工业软件受制于人。我国近 90% 的芯片、70% 的工业机器人、80% 的高档数控机床和 80% 以上的核心工业软件依赖进口³，造成国内制造企业智能化改造成本居高不下，制约我国智能制造的整体进展。以工业软件为例，我国飞机、船舶、冶金、化工、生物医药、电子信息制造等重点领域长期依赖国外工业软件，其中 EDA 基本被美国 Cadence、Mentor 和 Synopsys 垄断，CAE/CAD 主要被美国 ANSYS、德国 SIMENS、法国 DS Simul 等把控。

² 数据引用自《“十四五”智能制造发展规划》

³ 数据引用《2019 年中国制造业企业智能化路径研究报告》，艾瑞咨询

二是系统集成能力相对不足。我国智能制造系统解决方案供给能力不足，业务形式多是从国外购买机器人整机，再根据不同需求，制订解决方案，缺少像西门子、GE 一样的具有较强竞争力的系统集成商。

三是中小制造企业信息化基础薄弱，难以融入智能化浪潮。中小企业构成我国工业制造主体，由于信息化基础薄弱、自有资金不足、相关人才匮乏等多方面因素，数字化转型面临极大的试错成本和不可控风险，行业内大中小企业间存在较大的“数字鸿沟”。如果以德国工业 4.0 为参照系，当前我国制造业整体还处于工业 2.0 阶段，部分企业在向 3.0 阶段迈进。

(二) 智能制造发展趋势

2.1 趋势一：以数据为驱动的生产柔性化

柔性生产的本质是对资源要素进行快速重构以响应新的制造需求，而智能制造系统将资源要素及其过程状态转化为数字化信息，并通过算法优化的方式对这些资源要素进行高效配置，从而实现以数据为驱动的柔性化生产。

例如，在产品研发环节，企业实时获取终端用户交互数据，通过分析预测实现“以需定产”；在产品制造环节，通过物联网、传感器收集全生产过程的实时数据，并整合来自上下游和用户的数据信息，传输到工业互联网数据平台，人工智能再依托数据进行智能分析，最终制定出最佳生产方案，并将指令传递至制造一线实现柔性化生产。

智能制造带动柔性化生产趋势在消费品制造领域表现的尤为明显，因为消费制造领域离用户最近，对于汽车、3C 产品、服装、食品等具备“少批量、多品种、定制化”特征的制造企业，进行智能化升级的主要目标之一即是实现柔性化生产，从而可以快速、准确地满足

终端用户个性化需求，而由消费品制造领域引领的智能化浪潮继而往上游各环节逐级传导，进而带动整个产业链基于数据驱动的柔性化生产趋势。

2.2 趋势二：以平台为支撑的工业互联网化

越来越多的产业龙头以及互联网巨头企业都在加大工业互联网投入，除了加快自身数字化转型外，这些企业通过平台建设将各自关于智能制造的实践经验 and 能力禀赋开放赋能给同领域的中小企业，以及产业链上下游相关主体，形成对整个产业智能化升级的重要支撑。

根据工信部统计数据显示，目前我国工业互联网已广泛应用于钢铁、工程机械、航空航天、家电、电力、港口、能源等多个行业，具有一定行业影响力的工业互联网平台超过 70 家，例如徐工信息的 Xrea 平台、海尔的 COSMOPlat 平台、用友软件的精智平台、中国电信的天翼云工业互联网平台、阿里云的 supET 平台等。

这些平台汇聚共享了设计、生产、物流等通用资源，有效整合了产品研发、生产制造、运营管理和服务等数据资源，面向垂直领域内的中小企业提供“低成本、快部署、易运维和强安全”的轻量化应用，大幅降低使用门槛和智能化改造成本，加快中小企业数字化转型进程，从而实现平台上企业间的连接协同和数据共享，推动整体产业智能化升级进程。

2.3 趋势三：以用户为中心的智造服务化

制造业和服务业的融合是智能制造发展的主要趋势之一。在智能制造视角下，嵌入数智技术的智能化产品，可以感知周边环境变化，并通过与用户、环境的不断交互，向企业平台自动回传运行数据和状态信息，结合智能化分析，企业可实时掌握产品使用情况和用户需求变化，并及时做出反应，主动为用户提供高附加值的服务体验，通过“硬件产品+软件

系统+增值服务”模式来满足用户的个性化、多样化需求，创造全新的价值空间。

产品远程运维服务即是典型的制造企业智能化服务模式，企业利用数智技术，对正在使用的智能产品的设备状态、作业操作、环境情况等多维数据进行实时采集和回传，基于上述数据的分析结果为用户提供产品的日常运行维护、预测性维护、故障预警、诊断和修复、远程升级等服务。

(三) 智能制造产业生态⁴



图 智能制造产业生态

推进智能制造是一个长期的、渐进的过程，除面临人才、网络安全、技术标准等共性问题外，我国还面临智能制造装备可靠性差，关键技术受制于人，核心零部件、工业软件主要依赖进口，系统集成能力不足，以及整体制造业信息基础设施薄弱等诸多挑战，只有主动适应智能制造发展趋势，积极发挥政府引导作用，并以企业为主体，促进“产学研用”四方联动加快培育智能制造产业生态，才能推动智能制造高质量发展。

⁴ 主要结合《“十四五”中国智能制造发展规划》重点任务展开

3.1 创设新型创新载体，强化“智”造新动能

通过建设一批国家和省级制造业创新中心等载体，开展关键共性技术研发，加快构建智能制造创新体系，为智能制造产业生态发展“智”造新动能。

制造业创新中心是“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”。其目的是“完成技术开发到转移扩散和首次商业化应用的创新链条各环节的活动，打造跨界协同的创新生态系统。”⁵

2016年以来，工信部先后出台《制造业创新中心建设工程实施指南(2016-2020年)》、《关于完善制造业创新体系，推进制造业创新中心建设的指导意见》、《省级制造业创新中心升级为国家制造业创新中心条件》、《国家制造业创新中心考核评估管理办法(暂行)》、《国家制造业创新中心建设领域总体布局(2018年新增)》等指导性文件，逐步形成了制造业创新中心顶层设计的政策体系，对制造业创新中心建设的规范性提出了要求。

截至2020年，我国已建成15家国家制造业创新中心，132家省级制造业创新中心，主要聚焦于基础材料、核心器件、关键工艺、重大装备以及软件等5大关键技术领域。

3.2 开展智能制造应用示范，助力产业“智”升级

聚焦企业、区域、行业转型升级需要，围绕工厂、企业、供应链、产业链开展多场景、全链条、多层次应用示范，培育推广智能制造新模式新业态，构建智能制造产业生态，助力产业“智”升级。

一是聚焦制造过程关键环节，在基础条件较好、需求迫切的地区和行业，选取行业龙头企业

⁵ 引用自《制造业创新中心建设工程实施指南(2016-2020年)》对制造业创新中心定义

开展智能场景、智能车间、智能工厂建设示范项目，总结形成有效经验和模式，再围绕设计、研发、生产、物流、服务等全生命周期，遴选确定一批标杆企业，在相关行业移植、推广所形成的经验和模式；同时**引导“链主”企业建设供应链协同平台**，带动上下游企业同步实施智能化升级。

二是滚动遴选跨领域跨行业综合性工业互联网平台作为工业互联网技术突破、应用赋能的标杆性代表，同时支持行业/区域平台发展，**建设面向重点行业/区域的特色型工业互联网平台**，带动更多主体参与平台建设，加快工业互联网平台推进进程，发挥平台向中小企业的赋能作用，带动行业整体智能化升级。

截至目前，工信部发布“双跨”工业互联网平台共 15 家，在应用赋能方面，平台平均注册用户数达到 140 万个，赋能工业企业共计超过 8 万家，覆盖钢铁、石化、能源、电力等 10 余个重点行业；具有一定行业和区域影响力的平台超过 70 家，连接设备数超过 4000 万台套，工业 APP 数量超过 25 万个，平台赋能效应进一步显现。

三是培育一批智能制造示范基地、园区、先导区，聚集人才、科研、产业资源，逐步完善智能制造产业链，促进产业规模化、集聚化发展，并以基地为中心，辐射并带动一定区域/范围内智能制造产业升级。

3.3 夯实智能制造基础支撑，做好“智”造新保障

瞄准智能制造发展趋势，健全完善标准、信息基础设施、安全保障等发展基础，以及加强财税金融、人才储备等要素支持，为智能制造产业生态发展构筑保障。

“智能制造、标准先行。”标准化工作是实现智能制造的重要技术基础，包括建设细分领域行业应用标准体系，加大基础共性和关键技术标准研制力度，以及推进标准推广应用等。

2015 年至今，从我国的智能制造标准体系建设一直根据智能制造发展进程，不断调整、改进、完善。根据工信部统计，“十三五”期间，我国已发布 285 项智能制造国家标准，主导制定 47 项国际标准，涵盖了企业生产制造的全流程，我国已进入全球智能制造标准体系建设先进行列。

“智能制造，数智为基。” 包括以 5G 为代表的网络基础设施建设，以及数据中心、智能计算中心等算力基础设施建设，是支撑数智技术应用的基础。但因为投入大、建设周期长，需要政府带动并组织社会资源进行先期性、规模化部署和建设。我国 5G 当前建设规模全球领先，据工信部数据统计，累计终端连接数已超过了 2 亿户，累计建设开通 5G 基站 71.8 万个；算力基础设施建设加快，但目前制造业使用率较低，约占 3%。⁶

“智能制造，安全是魂。” 以“虚实融合”及“网络化协同”为核心特征的智能制造必将面临信息和网络安全挑战。2016 年我国《网络安全法》发布，将工控安全确立为国家推进智能制造的重要前提；2018 年工信部发布《工业控制系统信息安全行动计划（2018-2020）》，提出了“一网一库三平台”（即在线监测网络，应急资源库，仿真测试、信息共享、信息通报平台），着力态势感知、安全防护、应急处置能力支撑体系建设；2019 年工信部等十部门发布《关于印发加强工业互联网安全工作的指导意见的通知》，在“设备和控制安全、提升网络设施安全、强化平台安全、建立健全工业 APP 应用前安全检测机制，强化应用过程中用户信息和数据安全保护”四个方面提出建设要求。

“智能制造，人财兼备。” 在人才供给方面，注重制造和数智产业跨界人才培养，包括推进产教融合的职业培训体系，促进从业人员技术和知识结构升级，以及推进新型理工科建设，

⁶ 根据艾瑞咨询发布的 2019 年数据统计，我国数据中心仍以互联网客户为主要用户群体，占 60%以上，金融业和政府机构占 30%份额，制造业仅占 3%。

加强相关学科专业和课程体系建设，完善智能制造关键领域的人才梯队培养。在资金供给方面，除专项资金支持和定向税收优惠外，政府鼓励社会资本参与并加大对智能制造领域的投资力度，引导金融机构对企业智能化改造提供中长期贷款支持，开发符合智能制造特点的供应链金融、融资租赁等金融创新产品，拓宽融资渠道和降低融资成本。

3.4 发挥企业主体作用，构建“智”造新生态

充分发挥企业开展智能制造的主体作用，尤其是龙头企业在智能制造推广中的引领和赋能作用。龙头企业拥有较强的技术、市场和资金能力，在产业链中充当着“链主”或系统集成商的角色，是智能制造产业生态发展的关键力量，突出龙头企业开展集成创新、工程应用、产业化、试点示范的主体地位，引导和支持它们在实践中不断成长壮大，是构建智能制造产业生态的关键。

同时，以市场需求为导向，以企业为主体，通过“产学研用”结合及开放平台等形式，最大程度聚集行业优势资源，促进创新成果孵化和转化，推动“智”造生态的可持续生长。例如，在《“十四五”智能制造发展规划》中提到的重点任务之一——联合软件企业、装备制造商、用户和科研院所合力开发面向细分行业的集成化工业软件平台，或系统集成商与用户交互创新，开发面向场景需求的解决方案等，即是围绕该方向的举措之一。

第四章 数智技术 X 智能制造实践

(一) 典型应用案例剖析

1.1 仿真技术驱动设计 提升研发效率

仿真技术在制造领域的应用主要是在研发设计环节,将整个制造过程转移至虚拟环境中进行“重现”,在虚拟环境中反复试验最佳结构和配置方案,让一切工作都可以在制定决策和确定成本前完成,极大地降低了制造企业研发环节的试错成本,缩短了研发周期,大幅提高了产品研发效率。伴随数智技术的发展,仿真技术的应用场景也在不断地丰富和拓展,特别是在高端制造领域,包括航空国防、航天、汽车、装备制造、电子高科技等,仿真技术的应用持续深化。

案例: 仿真试验降低 SpaceX 火箭发射成本



以 SpaceX 的火箭弹射分离实验为例,火箭发射出去后扔掉的捆绑火箭,靠爆炸螺栓和主火箭连接,到一定高度后引爆螺栓爆炸释放卫星,但贵重的金属结构爆炸不能回收使用。马斯

克想用机械结构的强力弹簧弹射分离，回收火箭。这项实验利用了 NASA 大量的公开数据，在计算机上做建模仿真分析强力弹簧的弹射、弹射螺栓，没有做过一次实物验证试验，最后弹射螺栓分离成功，火箭外壳的回收大幅降低了 SpaceX 的发射价格。

1.2 智能视觉解放双手 释放制造活力

智能视觉在工业自动化的生产过程中意义重大，具备嵌入智能视觉系统的工业机械臂能够更快、更准、更灵活地完成定位、抓取、分拣和装配等工作，不仅可以将人员从重复性大的危险、繁重作业中解放出来，提高产线效率，还可以使生产的柔性化程度得到极大提升。目前主要应用于生产制造和物流领域中。

案例：商汤智能机械臂助力某家电企业配重块抓取和装配



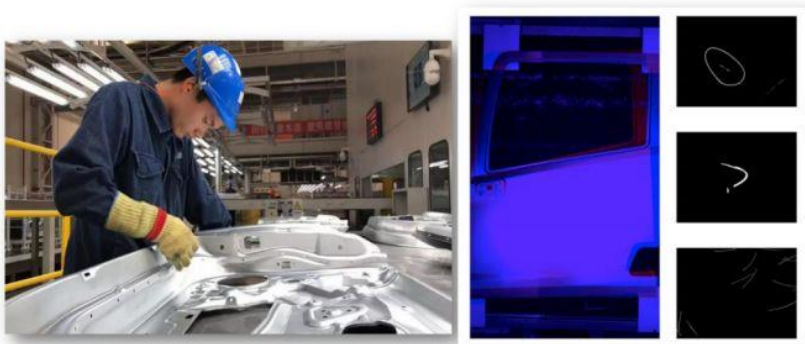
重约 15 公斤的配重块堆放于来料框中，滚筒洗衣机外筒置于生产线工装上，人工搬运和装配不仅速度慢，作业安全要求高，且长时间负重也会造成身体疲劳。智能机械臂基于深度学习的 3D 视觉感知技术以及机械臂运动规划技术驱动，可以通过视觉引导机械臂将配重块从来料框中取出，并装配于洗衣机外筒上，使得外筒定位柱准确插入配重块定位孔，这一过程将工人从繁重、重复的装配产线上解放出来，提高作业安全性的同时，也大幅提升了装配产线效率。

1.3 智能视觉检测 提升产线品控效率

质量，是制造企业的核心竞争力之一，企业对产品质量的要求越来越高。但是，产品在制造过程中有时会出现表面缺陷，如何进行高效的质量控制来避免表面瑕疵产生，一直是制造企业面临的棘手问题之一。传统主要通过人工抽检进行检测，由于抽检率低、实时性差，且受检测人员经验、疲劳状态等主观因素影响，往往检测结果稳定性不高，准确性无法保障，易出现瑕疵漏检等情况，难以适应高效的生产和质量要求。

随着数智技术发展，基于机器视觉的表面缺陷检测应用得以在实践中展开，大大提高了产线品控效率，避免了因作业条件、主观判断等因素影响检测结果的准确性和稳定性，在产品制造过程中，可以实现对每一环节、每一件产品表面缺陷的实时检测，更精确、快速的识别产品表面瑕疵缺陷，同时也节省了制造企业在质检环节的人工投入，降低了人力成本支出。目前在电子、包装、印刷、化工、食品、塑胶、纺织等制造领域广泛应用。

案例：商汤智能视觉赋能某汽车冲压车间金融板缺陷检测



某汽车企业冲压环节人员密集，工作负荷大，人工检测一致性和稳定性波动比较大，检测项

多且无法标准化，导致缺陷检出率较低，质量问题向后传递造成产品报废等损失。利用机器视觉检测在线识别冲压件面品质量问题和尺寸问题，将检测数据上传至中控，缺陷产品自动下线，并实时提醒相关工作人员进行处理或复检。

智能视觉替代人工检测，不仅提高了品控效率，且缺陷检测算法经过数据反馈可自动迭代，不断提升缺陷检出率；同时每条冲压产线单班可比原先配置节省数名检测人员及冲压件下线工人。

1.4 智能运维助力 保障工业设备稳定运行

智能制造系统高度复杂，对设备的可靠性有很高的要求，相应对于设备维护的要求也会随之提高。当前工业制造领域主要依赖人工运维，普遍存在两大难题：一是专业运维人才短缺、成本高，且运维主要依赖人员经验，可靠性难以保障；二是常遇突发设备故障，致使生产临时中断造成经济损失。结合数智技术的智能运维，可助力工业制造设备稳定运行，提升对设备监控的实时性、故障判断的准确性、维护管理的及时性，以及实现主动预防式维护。

案例：AR 技术助力工业设备巡检，打破人机边界



为保障电力系统安全稳定运行，换流站运维工作尤为重要。商汤以 AI+AR 技术助力电网智

能巡检，从而提高电力运维效率、节省时间和人力成本，有效保障电网运行安全。

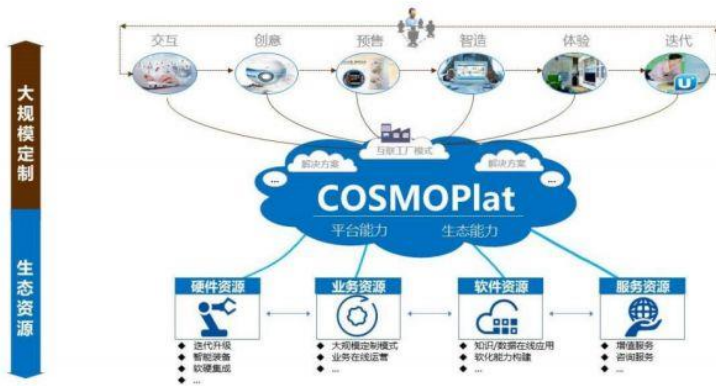
首先，AR 巡检实现换流站设备运维作业智能辅助与闭环管控。一是识别现场环境，对巡检人眼实现精准定位，帮助其确定最优巡检路线，避免误入电站危险区域，既节省巡检时间，也从源头上保障巡检人员的安全；二是在巡检过程中，借助智能装备（AR 眼镜、平板电脑等），巡检人员可全程自动记录作业过程和巡检内容，并一键完成巡检报告，减轻巡检人员的工作负担，实现对换流站设备运维作业的智能辅助和管控。

其次，实现换流站运维远程智慧和智能协助。由于电力设施分布广泛，很难在巡检之前预判设备隐患情况，安排相应专家到场指导。AR 驱动将一线人员生产区域的设备及环境回传至办公区域电脑，通过 AR 巡检与远程“孪生”指导技术，专家可在电脑前标记，将三维空间物体标识和检修说明推送给巡检人员的 AR 眼镜上，协同快速解决现场作业难题。

1.5 工业互联网平台赋能 敏捷响应定制化生产

工业互联网平台直接连接生产过程与消费者，能够支撑低成本的柔性化生产，根据用户个性化需求进行规模化定制，从而改变传统的标准化设计、大批量生产、同质化消费模式，实现新的定制化设计、多品种少批量生产、个性化消费的价值创造模式。“新模式”能够迅速组织生产，敏捷响应瞬息的市场变化，有助于企业提高产品的附加价值，增进差异化竞争水平。海尔的 COSMOPlat 平台即是定制化生产模式的典型代表。

案例：海尔 COSMOPlat 平台赋能房车制造定制化服务⁷



房车行业存在产品同质化，采购成本高、生产周期长等诸多痛点。针对这些痛点，基于海尔 COSMOPlat 平台交互、研发、营销、采购、制造、物流和服务等七大“云化”解决方案，赋能房车制造企业进行数字化转型，实现用户可全程参与的生产定制化服务。

首先，通过平台实现生产全流程与用户互联，基于“云化”解决方案定制部署，解决产品同质化问题。例如，通过交互定制（COSMO-DIY）、研发设计（COSMO-HOPE）、智慧生产（COSMO-IM）等功能部署，实现房车制造企业直接与用户交互，让用户可以基于场景需求定制房车；运用物联网技术实现房车产品的灯光、监控、影音、语音等系统互联，从而升级多种模式智能化场景；使用车载 OBD 与智能网关采集车辆行驶数据并实时上传到平台，通过 APP 向用户与房车制造商、租赁商提供车辆运行、安全监测、维保和风险预警等服务，从而实现房车产品和服务的差异化。

其次，针对房车主机厂采购成本高、制造周期长等痛点，通过海达源（COSMO-HDY）聚

⁷ 案例主要根据海尔卡奥斯物联生态科技有限公司董事长陈录城《海尔 COSMOPlat 赋能房车 打造共创共赢新生态》文章整理

集上下游企业进行集约化采购，采购综合成本可降低约 15%；同时为房车制造提供定制解决方案，部署智慧生产（COSMO-IM），实现原材料入库可视、工序间协同、AI 质量检测、产品全流程用户可视，制造从无节拍到均衡生产，节拍从 40 分钟/车下降到 20 分钟/车，交货期从 35 天下降到 20 天。

（二）数智技术 X 不同制造业领域的实践差异

行业类型	行业特征	典型行业	发展瓶颈	数智技术诉求
劳动密集型	低劳动力成本为核心竞争力	加工组装（家电、3C产品等）	人工成本不断上涨 流动性大带来附加问题	减少人工 降低人工造成的品质不稳定
资本密集型	固定资产投资较高	耐用品制造（汽车等）	柔性化程度低， 不能满足定制化需求	低成本定制化生产
技术密集型	技术创新能力为竞争壁垒	高新技术（生物制药、航空航天）	前期研发风险大、 成本高和周期长	提高技术研发效率， 缩短研发周期
市场响应型	产品生命周期短、 用户求新求变意识浓	快消品制造（服装、食品）	难以准确预测用户需求， 响应市场变化	准确预测用户需求、 缩短产品创新和制造周期

不同制造业领域由于各自特征不同，对于数智技术的应用在实践过程中会有一定差异。

对于**劳动密集型制造行业**来说，低劳动力成本一直以来被视为此类企业的核心竞争力，最典型的是家电、电子等加工组装行业，由于近年来人工成本不断上涨，招工难度愈来愈大，行业整体利润被不断挤压。因此，该行业智能化升级主要目标在于如何利用数智技术降低生产对人工的依赖，提高利润空间，包括减少产线人员部署，以及解决人工造成的各种附加问题，例如低留存率带来的高培训成本、人员不稳定引发的质量损失等。

对于**资本密集型制造行业**来说，前期固定资产投资较大，最典型的是汽车制造行业，随着消费个性化时代来临，为迎合需求变化，如何导入数智技术进行智能化产线改良，提高柔性化制造程度，低成本的进行定制化生产是此类企业智能化升级的核心目标。

对于**技术密集型制造业**，譬如航天航空、生物制药等，主要依靠技术创新构筑市场竞争壁垒，一般来说前期的研发成本非常高，且研发周期长，研发风险不可控，此类企业的核心诉求即是通过引入数智技术来降低研发风险和成本支出，缩短研发周期。

此外，还有一类**市场敏感性制造业**，例如服装、食品等快消品领域，产品的生命周期很短，用户对于相关产品求新求变意识最强，因此，利用数智技术能够快速洞悉用户需求，并进行快速的产品创新、迭代来响应市场变化，是此类企业智能化升级的重要目的。

总结与展望

习近平指出“要推进互联网、大数据、人工智能同实体经济深度融合，做大做强数字经济。要以智能制造为主攻方向推动产业技术变革和优化升级，推动制造业产业模式和企业形态根本性转变，以‘鼎新’带动‘革故’，以增量带动存量，促进我国产业迈向全球价值链中高端。”

以数智技术的“鼎新”带动传统制造的“革故”，即是推动智能制造的根本。作为一项持续演进、迭代提升的系统性工程，智能制造需要长期坚持，分布实施，既要“顶天”，也须“立地”，需要政府的谋篇布局，也需要企业脚踏实地，合纵连横。

首先，制造企业智能化升级要立足于现实状况，不能夸父逐日。在实现路径上，一是需要企业在不同阶段通过“自诊”明确界定自身数字化水平、系统分析投资回报率情况，切忌陷入“智能化”陷阱，盲目采购智能制造解决方案，导致过度投入或投入不足等不合理现象发生。

其次，从行业整体智能化推进过程中，要充分发挥政府的引导作用和企业的主导作用。我国制造业整体呈现“大而不强”，行业“数字鸿沟”大、核心领域创新力不足的不利局面，决定了我国发展智能制造既要在关键技术领域取得进展和突破，又要同时加强“数字化”补课，推进智能制造的行业扩散和渗透，这一过程往往面临外部效应、公共设施投入、信息不充分或不对称等市场失灵的困境。要破解这一难题，一方面需要充分发挥政府引导作用，完善顶层设计和战略规划，明确各级政府和主体单位的权责，通过试点示范等方式带动社会力量参与，另一方面也要积极调动企业积极性，强调市场配置资源的主导地位，让“数字化程度高”的企业带动“数字化程度低”的企业，大企业带动中小企业，以“产学研政资”五方联动的方式促进技术创新和成果转化，并以集群和生态的形式来加速行业整体智能化进程。

附录

附表 1: 主要国家 (中、美、德、日四国) 智能制造相关政策部分汇总

国家	发布时间	政策主题	政策内容
美国	2011	先进制造伙伴计划 (AMP)	投资先进机器人技术, 重点开发面向复杂系统的设计工具
	2012	美国先进制造业战略计划	加大研发投入力度, 推进智能制造的配套体系建设提供政策与计划保障
	2012	启动国家制造业创新网络计划	在重点技术领域建设 45 家制造业创新中心
	2012	GE 发布《工业互联网: 打破智慧与机器的边界》	提出了工业物联网概念, 之后, AT&T、思科、通用电气、IBM 和英特尔在美国波士顿成立工业互联网联盟
	2012	美国国防部牵头成立“数字制造与设计创新中心	推动美国数字制造的发展
	2017	智能制造 2017—2018 路线图	推动智能制造技术在工业中的应用
	2018	先进制造业领导力战略	开发和转化新的制造技术、培育制造业劳动力、提升制造业供应链水平, 具体的目标之一就是大力发展未来智能制造系统
	2019	国家人工智能战略	持续对基础人工智能研究投资, 处理人工智能伦理、法律问题, 支持人工智能技术标准和工具的开发, 扩大公私合作
德国	2013	德国工业 4.0 战略计划实施建议	德国正式提出德国工业 4.0 概念, 以信息物理系统为核心,
	2014	数字议程 (2014-2017)	这是德国《高技术战略 2020》的十大项目之一, 旨在将德国打造成“数字强国”。
	2016	数字化战略 2025	工业 4.0 平台、未来产业联盟、数字化议程、重新利用网络、数字化技术、可信赖的云、德国数据服务平台、中小企业数字化、进入数字化等
	2019	德国工业战略 2030	捍卫德国工业技术主权, 强调数字化创新, 尤其是人工智能的应用
日本	2015	新机器人战略	保持日本的机器人大国的优势地位, 打造机器人技术高地, 引领机器人的发展。
	2016	发布工业价值链参考架构	形成独特的日本智能制造顶层架构。
	2016	首次提出社会 5.0 概念	最大限度 ICT 技术, 通过网络空间与物理空间的融合, 共享给人人带来富裕的“超智慧社会”
	2017	安倍发表《互联工业: 日本产业新未来的愿景》	明确提出“互联工业”的概念
	2017	制造业白皮书 (2018)	明确了“互联工业”是日本制造的未来

中国	2015	中国制造 2025	以加快新一代信息技术与制造业深度融合为主线，以推进智能制造为主攻方向，是中国实施制造强国战略第一个十年的行动纲领
	2016	智能制造发展规划（2016 - 2020 年）	2025 年前，推进智能制造发展实施“两步走”战略
	2016	机器人产业发展规划（2016-2020 年）	机器人发展总体部署，推进我国机器人产业快速健康可持续发展
	2016	智能制造工程实施指南（2016-2020）	为贯彻落实《中国制造 2025》，组织实施好智能制造工程
	2017	高端智能再制造行动计划（2018-2020 年）	加快发展高端再制造、智能再制造
	2017	关于深化“互联网+先进制造业”发展工业互联网的指导意见	规范和指导我国工业互联网发展
	2018	国家智能制造标准体系建设指南（2018 年版）	推动智能制造国家和行业标准上升成为国际标准。
	2020	工业互联网创新发展行动计划（2021-2023 年）	确立了未来三年我国工业互联网发展目标。
	2020	“十四五”智能制造发展规划（征求意见稿）	智能制造发展路径和目标，以及重点任务