

doi:10.16060/j.cnki.issn2095-8072.2020.05.006

从智能制造到经济与社会全方位智能化重塑

胡汝银

(上海证券交易所, 上海 200120)

摘 要: 依靠人工智能、大数据、云计算、工业互联网、物联网、数字孪生等新一代信息技术赋能, 通过智能产品、智能生产、智能服务和 C2B 大规模定制, 制造全流程、供应链全链路和产品全生命周期的集成贯通, 全面协同, 将全面优化社会资源配置, 引发广泛的创新和技术进步, 突破劳动力等各种资源与技术瓶颈, 形成包容性产业生态圈, 并最终推动实现企业、产业、经济与社会全方位智能化重塑。

关键词: 智能制造; 全面集成; 企业再造; 经济与社会智能化

中图分类号: F407

文献标识码: A

文章编号: 2095 — 8072(2020)05 — 0078 — 13

一、概述

在大数据、云计算、人工智能、数字孪生、超大带宽智能互联网、智能物联网等新一代信息技术推动下的第四次工业革命, 将在实现智能制造即工业智能化的同时, 借助新一代信息技术的普及应用, 通过构建跨界集成、一体贯通、协同联动、敏捷高效、整体优化、精准优质、便捷共享、数字化、智能化的互联网平台和生态系统, 实现广泛的赋能升级, 降本增效, 推动经济与社会全方位智能化再造: 普遍地催生新网络、新平台、新基础设施, 以及新要素、新流程、新产品、新设备、新机制, 形成新创新链、新价值链、新产业链、新供应链, 形塑出新企业、新产业、新流通、新贸易、新金融、新服务、新教育、新科研、新医疗、新社会……。

在这里, 将再造出中国经济高质量、高效率、高价值、包容性发展的微观基础, 通过广泛的技术创新、技术进步、技术扩散、技术转移和规模经济、范围经济、聚集经济^①、专业化经济, 使中国经济总体的单位投入要素利用水平和产出水平得到持续提升。在这里, 技术进步将表现为不再是某一个局部环节的单兵突进, 而是所有相关链条全链路跨领域的技术、资源与运行机制的全面整合、同步应用和协同发展, 实现全面赋能和全局升级优化, 整合之前未整合起来的技术进步, 包括高效利用这些技术进步来全面改造传统部门和传统领域, 使创新和技术进步在更大范围内得到采纳和推广, 在更大范围内转化为生产力和行动力, 形成一个边际成本趋于零的共建共创、技

^① 聚集经济的通常含义, 是指经济活动在地理空间上的相对集中使得这些经济活动变得更加有效率和经济合算(胡汝银, 竞争与垄断: 社会主义微观经济分析[M]. 上海: 上海三联书店, 1988: 146)。消费互联网、工业等产业互联网和全国性销售平台的出现, 产生了新的数字化、网络化聚集经济: 通过降低信息成本、交易与履约成本等费用, 提高生产、交易、技术应用等领域的资源利用效率, 大量经济活动在数字网络空间上的一体化集成、集中和贯通协同(即使这些活动在地理空间上是相对分散的!), 使得这些经济活动变得更加便利快捷, 更加有效率和单位成本更低。

术共用、信息共享、互利共赢、敏捷柔性的协同发展、包容性增长的生态体系，最终使整个经济与社会系统完成革命性的智能化转型。

二、智能制造基本内涵和关键要素

迄今为止，全球先后出现了四次工业革命。

第一次工业革命是18世纪60年代至19世纪中叶掀起的通过水力和蒸汽机实现的工厂机械化；第二次工业革命是19世纪后半期至20世纪初的电力广泛应用即电气化；第三次工业革命是20世纪后半期出现的、基于可编程逻辑控制器（PLC）的生产工艺自动化和信息化；第四次工业革命则以通过充分利用信息通讯技术和网络空间虚拟系统——信息物理系统（cyber-physical system）相结合（即数字孪生技术）的手段实现智能制造即工业智能化，形成一个高度灵活的个性化、数字化、网络化的产品与服务的工业模式，在这种颠覆性的模式中，企业内外部的供求体系、业务流程、技术手段、核心能力、运营界限、组织形态、分工协作机制、实物资本与人力资本、价值创造空间、供应链和产业链等等将实质性地全面再造，出现革命性的变化，并扩散到社会的方方面面。第四次工业革命将深刻改变国内外工业和经济竞争与发展的格局，深刻改变社会的生产方式、生活方式和其他各种活动方式，深刻改变我们的方方面面！

在过去200多年世界工业化、现代化的历史上，中国曾先后失去过三次工业革命的机会，中国GDP占世界总量的比重，由1820年的1/3下降至1950年不足1/20。改革开放以来，中国建立了门类较为完整的工业体系，并发展为新兴的“世界工厂”，目前我国22个工业产品大类中的7个大类产量位列世界第一，其中包括220种工业品产量居世界第一。中国工业发展成就巨大，但整体来看，依然大而不强，大而不优，大而不精，高端制造能力依然较弱，产业发展需要的高端设备、关键零部件和元器件、关键材料、操作系统和设计软件等依然依赖进口，存在不少“空壳化”“软骨病”“缺心少核”“为他人做嫁衣”等致命性的短板，极易在国际经贸摩擦中遭遇国外“卡脖子”的锁喉之痛，供应链的安全容易受到威胁。

差距就是发展的机会，就是发展的新空间！中国工业必须紧紧把握第四次工业革命的机会，扬长补短，转型升级，借助中国智造实现中国创造和中国精造，建设制造强国，为中国和全球经济的持续繁荣和人类福祉做出应有的贡献。

作为一种具有工具价值的系统，智能制造在推动中国经济与社会的能力和制度协同升级过程中，具有以下五个方面的基础战略功能：

一是再造产品和企业，助力提升中国制造企业的管理力、产品力、品牌力、创新力、服务力、盈利力和柔性生产、量身定制、敏捷制造、快速响应客户需求的能力，推动企业践行以客户为本、价值、品质与创新驱动的现代商业文化，实质性地实现组织升级、管理升级、创新升级、技术升级、产品升级、品牌升级、服务升级、盈利升级，使中国产品和服务优质化、精品化、高端化，并普遍进入全球领先行列——而中

国产品和服务优质化、精品化、高端化则是中国制造升级的根本和核心所在。

二是再造产业组织和生产要素组合，通过信息化、网络化、自动化、智能化和技术与平台赋能，在实现广泛而又充分的技术扩散、技术进步和商业与社会运行模式、组织方式的全面跃升，大幅度降低社会经济系统的组织成本（包括交易成本），显著提高组织效率的同时，消除社会劳动力和专业资源的短缺瓶颈。

三是再造核心技术能力，推动中国制造由全球产品链、产业链、供应链、价值链的低端进入高端，不断突破和掌握越来越多的关键技术，在国际贸易摩擦频发的条件下，避免对外部核心技术的过度依赖和受制于技术封锁，更好、更主动地管控相关的风险和不确定性，为中国经济与社会长期稳定、安全、可持续健康发展提供坚实的战略保障，并有力地推动全球经济的持续繁荣。

四是再造经济发展模式，借助中国制造布局全球创新链、技术链的高端，全面支持中国技术升级、产业升级、消费升级、生活方式升级和系统的结构变革，拓展中国经济发展和人均GDP增长空间，突破“中等收入陷阱”，实现包容性增长，并进入高收入国家行列。

五是再造整个社会，通过各行各业、各个系统、各个层面广泛的自动化、网络化、数字化、智能化和颠覆性的变革，建设全球领先的现代智能社会 and 智能国家。

无疑，这些战略内涵的到位和实现，需要全社会的共同努力和出色行动，也需要在教育、基础研究、科研体系、政治、文化等一系列领域进行综合配套、成效卓著的全方位深化改革，真正实现全社会各个领域以及总体的资源配置与利用效率的最优化和全球领先。

那么，什么是智能制造（intelligent manufacturing）？简单地说，智能制造是以智能技术为代表的新一代信息技术在制造全生命周期和供应链全链路的广泛、综合、一体化集成应用。通过全面的自动化、网络化、数字化和数据驱动，实现设计、制造、销售、服务与管理全过程的智能化、一体化，亦即借助数字化、集成化控制系统、制造装备和业务流程，采用生产线柔性重构与在线实时智能调度、生产装备智能物联与云化数据采集、多维人机物交互协同等技术，建立工厂大数据系统、网络化分布式生产设施等，实现生产设备网络化、生产加工精密化、生产数据可视化、生产过程透明化、生产现场无人化和用户需求驱动的精益柔性生产与敏捷供给，打通企业前台、中台、后台，实现供应链所有环节互联互通、协同制造、协同服务和用户体验的实时化。

智能制造的核心是三个集成：纵向集成、横向集成和端到端集成。纵向集成即厂内制造体系集成，生产线上相关机器设备、业务流程和相关的系统应用所有的数据连通，一体化实时协同运行。横向集成是包括设计、生产、物流、销售、服务、所有外部配套在内的整个生态链、产业链、供应链的跨部门、跨企业全链条集成，一体化实时协同运行，并聚焦到智能制造的中心环节——智能工厂。端到端集成是指产品全生命周期——从用户需求到产品开发、制造、销售、服务——所有节点、环节的所有数

据和业务打通，一体化协同运行。

基于较为狭义的数字化定义，可将智能制造发展划分为信息化与制造业融合渐次迭代升级的三个阶段：数字化制造、网络化制造、智能化制造即新一代智能制造。^①

数字化制造是第一代智能制造。20世纪50年代，以数字化为主要特征的信息技术开始应用于制造业，推动制造业由自动化向数字化转变。数字化制造基于数字化制造装备和控制系统，通过对产品信息、工艺信息和资源信息进行数字化描述、分析、决策和控制，实现设计、制造、管理过程数字化。数字化制造的主要技术特征包括：1. 数字技术在产品中得到广泛应用；2. 在制造中，大量采用数字化装备、数字化设计、数字化建模与仿真，对制造过程进行信息化管理；3. 在生产过程和生产组织上，通过建立数字化生产线、数字化车间、数字化工厂，实现集成、优化运行和高精度、低成本制造。但在这一阶段的计算机化中，很多设备没有数字接口，不同的信息技术应用系统在企业内部相互独立运作，尚未贯通，存在着很多分散的信息孤岛。

网络化制造或“互联网+制造”是第二代智能制造。“互联网+”推动互联网和制造业深度融合，人、物、流程、资金、数据与信息等过去相互孤立的节点和应用系统被网络连接起来，通过集成、优化和企业内外部的协同，重塑制造业的产业链和运营方式。“互联网+制造”主要技术特征包括：1. 在产品方面，在数字技术应用的基础上，普遍应用物联网等网络技术，成为网络连接的产品，设计、研发、生产等环节实现协同与共享。2. 在制造方面，在实现厂内制造体系集成的基础上，进一步实现制造的供应链、价值链集成和端到端集成，制造系统的数据流、信息流实现连通。3. 在服务方面，设计、制造、物流、销售与维护等产品全生命周期以及用户、企业等主体通过网络平台实现联接和交互。

智能化制造为新一代即第三代智能制造，最本质的特征是信息系统增加了自动认知、深度学习等功能。通过数字孪生操作和各种新一代信息技术、尤其是新一代人工智能技术的运用，信息系统不仅具有强大的感知、计算分析与控制管理能力，更具有自我持续学习提升、产生大量新的知识和技术诀窍的能力。新一代智能制造主要由智能产品、智能生产（涵盖智能设备、智能产线、智能车间、智能工厂、智能企业、智能供应链等）、智能服务三大功能系统以及工业智能制造云和工业智联网（智能化互联网）两大支撑系统集成而成。在智能化阶段，制造业运营模式从以产品为中心转变为以用户为中心，实现研发、生产和销售与用户的需求精准匹配，产品设计、制造、销售、供应、运营维护等均因物联网、大数据、人工智能等新技术的应用而实现一体化和出现根本性的变革。新一代智能制造在给制造业带来革命性的变化，成为制造业未来发展的核心驱动力的同时，也将深刻地改变整个社会的生产方式、生活方式以及方方面面。

我国作为一个工业化进程起步较晚的后发国家，整个制造业尚处于精益化、自动化、网络化、智能化水平不高，机械化、自动化、数字化并存，不同地区、行业和企业技术发展水平落差较大的极不平衡阶段，必须下大力气并行推进数字化制造、网

^① 周济,李培根,周艳红,等.走向新一代智能制造[J].中国工程院院刊:工程,2018(1):11-20.

络化制造、新一代智能制造,及时充分广泛地应用快速发展的先进信息技术和先进制造技术的融合式技术创新,引领和推进中国制造业转型升级,同时夯实基础,补好机械化、精益化、自动化、创新驱动这些制造业发展的短板,确立并卓越地践行以人为本、以创新和创造价值为本、客户至上、品质至上、精益求精的现代企业文化,推动中国制造升级为中国精造、中国创造和中国智造。

三、智能制造技术与功能架构和企业核心能力再造

从技术和功能的维度看,工业智能化转型过程中新一代信息技术与制造业融合的关键是架构创新,即以集成信息技术的新架构去重新定义并再造产品、服务、生产要素、经营流程和产业价值。而要准确、全面、深刻地把握智能制造的内涵、关键点和演进趋势,首先需要精准地理解相关的核心概念、基本逻辑、底层核心技术和整个技术与功能架构。它们包括:

信息物理系统。是集成计算、通信与控制于一体的新一代智能系统,包含了无处不在的环境感知、嵌入式计算、网络通信和网络控制等系统工程。信息物理系统在结构上主要包括3个部分:感知执行层、数据传输层(网络层)和应用控制层。其意义在于将物理设备联网,让物理设备具有计算、通信、精确控制、实时交互、远程协调和自治等重要功能。

数字化。其涵义随着技术的迭代发展在不断变化和拓展。最狭窄的涵义即是信息化,指的是在某个领域的n个方面或某种产品的n个环节采用数字信息处理技术。也有人称其为数字化的1.0阶段。其特点是大量信息和应用系统未能互联互通而处于碎片化状态,成为信息孤岛。

最广的涵义即是智能化。也有人称其为数字化的2.0阶段或数智化。其特点是数字信息处理技术无处不在和系统中的万物智联,通过数据驱动和以各种算法为基础的人工智能技术,实现了信息处理、决策和执行的智能化、泛在化和系统能力的不断迭代升级,即智能+无处不在。

数字孪生(Digital Twin,又译为数字双胞胎)技术。数智化技术架构的重要基础之一,是以物联网、大数据、云计算、人工智能等为基础的数字孪生技术和数字孪生模型:通过打通所有环节、所有维度、所有要素、所有设备、流程、产品、所有相关方的数据流并获取物理实体或流程的准实时数字化镜像或数字映射,如真实世界和虚拟世界同时呈现的数字产品、数字设备、数字流程、数字工厂、数字客户等。^①数字孪生技术在工业智能化中得到广泛应用。据预测,以各种新一代信息技术集成应用的突破性扩散为基础,数年内会有数以亿计企业将各种数字孪生操作广泛用于生产线和供应链各个环节的操作、提高操作效率和操作质量、预测设备与产品故障、规划设备服务和客户服务、加速新产品研发、改善和拓展产品售后服务等。^②未来这项技

① 胡汝银.供应链包容性发展与数字化转型:从过去到未来[J].供应链管理,2020(1):18-24.

② 中国智造 行稳致远——2018中国智能制造报告[EB/OL].德勤中文网[2020-03-10].<https://www2.deloitte.com/cn/zh/pages/energy-and-resources/articles/china-smart-manufacturing-report-2018.html>.

术将与工业活动彻底融合，推动智能工业发展进入新阶段。

数字主线（Digital Thread）技术。是指利用先进建模和仿真工具构建的，覆盖产品全生命周期与全价值链、全供应链，从基础材料、设计、工艺、制造以及使用维护全部环节，集成并驱动以统一的模型为核心的产品设计、制造和保障的数字化数据流。

人工智能技术。人工智能的发展大致经历了三个阶段：第一阶段，解决计算智能相关的问题，如神经网络等；第二阶段，实现感知相关的智能，如语音识别、人脸识别等弱人工智能，包含有知识工程、专家系统、CYC等的知识图谱；第三阶段，实现认知相关的智能，如深度语义理解、知识获取和深度推理、逻辑表达、智能动态交互、可视分析等强人工智能。未来还会进入“超级人工智能阶段”之类的更高级的阶段。

举例来说，目前，人工智能快速发展的分支之一机器视觉（工业视觉）在智能制造领域已被广泛用于自动检测、工件加工和装配与物流自动化等流程中：1.定位，如确定元件的位置和方向；2.识别，如读取标签和包装上的字符（二维码、条形码等）来识别元件；3.测量，如测量物品上两个点之间的距离；4.检测产品、装配等是否有问题、有缺失（如标签、喷码、外观、尺寸、颜色、液位、箱体、瓶盖、定位、各种瑕疵与缺陷等多方面、多维度、多指标检测）等。与人工检测相比，机器视觉检测更精准、更稳定可靠，错误率显著下降，速度、质量和能力明显提升，并可节省人工成本。

机器人技术。从单个独立运行的标准机器人到能够进行深度学习、敏捷互动、群体协同、人机协同的智能机器人，从工业机器人到服务机器人，机器人使用场景无处不在。机器人、人工智能、数字孪生、万物智连、含有各种专家知识系统并始终在线的云平台等新一代信息技术的广泛集成应用和对人工的低成本、高效率的替代，将开启一个能够突破刘易斯拐点^①所定义的现有劳动力（包括普通劳动力和精于各种专业知识、专业经验的专家）供给瓶颈约束的机器人无限供给的社会经济增长新时代。这个时代，为经济与社会各个方面的发展提供了无限的空间和可能性！

智能物联网技术。万物互联的智能化物联网是指通过各种信息传感设备，如装有智能芯片的传感器、射频识别（RFID）技术^②、全球定位系统、红外感应器、激光扫描器、气体感应器等各种装置与技术，实时采集任何需要监控、连接、互动、在世界网络中有可被识别的唯一编号、能够被独立寻址的物体或过程的声、光、热、电、力学、化学、生物、位置等各种需要的信息，与互联网结合进行信息交换和通信，以

① 刘易斯拐点指的是在工业化、城市化进程中，农业和农村地区的富余劳动力不断向非农产业和城市地区转移，最终出现劳动力由过剩变为短缺的转折点，劳动力供给达到瓶颈状态（William Arthur Lewis, “Economic Development with Unlimited Supplies of Labour”, *The Manchester School of Economics and Social Studies*, 1954, 22(2):139-191）。

② 射频识别技术RFID的主要硬件包括电子标签和读写器。电子标签附着在每件物品上：它内置微型芯片用于存储数据，并用天线持续发射出特定频率的信号，可以被读写器“读”到。反之，读写器也可以发射信号让电子标签接收到，从而执行“写”的操作。在生产、仓储、物流等领域，RFID得到广泛应用，如货物每到一个地方可以将“存储位置”信息写入电子标签中，以及在生产加工过程中将“当前加工步骤”信息写进去，这样有利于业务流程和供应链运作的透明化与实时追踪。例如，在海尔的沈阳冰箱互联工厂中，通过RFID、传感器等物联网技术的应用，由以前的“人找物”变为现在的“物找物”：1台冰箱由N个零部件和半成品件组装成，以前工人在型号众多的半成品仓库找某个型号的半成品件与在制品匹配组装，不但会浪费大量的时间，且容易出错。现在，通过应用RFID和自动化技术，每个组件都有了专属的身份码，只要扫一下，冰箱的外壳就自动找对应的内胆匹配、门体就自动找对应的箱体匹配等，“物找物”匹配成功率达100%，生产效率大幅提升，产品的精度和质量也随之提高（以工业互联网破局“智”造生态：海尔再次当选“灯塔工厂”[EB/OL]. 百度网[2020-01-17]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1655946357604278167&wfr=spider&for=pc>）。

实现对物品的智能化识别、定位、跟踪、监控和管理的一种泛在性巨大网络。通过将实体世界与由计算机和智能识别、分析工具组成的虚拟世界相连,物联网推动社会进入一个全新的智能化数字时代,为进行各种创新、提高效率创造了巨大的机会。

物联网技术在智能制造领域的应用场景主要包括四类:一是产品洞察与用户洞察(包括用户画像),在产品投入使用后,生产厂商可通过产品上安装的各种传感器联网与产品建立并保持联系,收集动态数据,以更加系统的方式实时地、持续地分析产品使用情况。在了解客户对产品的使用状态后,厂商还可基于数据预测客户需求,开发个性化产品和提供新的增值服务项目,提高产品与服务的附加值。二是设备与资产管理,具备感测与联网功能的系统与大数据结合,可以实现设备的监控和管理,如远程监控、预测性维护和现场互联等。远程监控以物联网替代传统的人工巡检机制,通过传感器远距离将设备相关数据传输到运营中心。预测性维护打破传统工厂定期维护设备的运营方式,通过物联网和大数据分析对设备整个生命周期进行全程监控和管理,并预测设备未来可能发生的故障,提前制定预防性维护计划,减少故障率并提高生产效率。通过物联网连接和监控厂房的工业装置和设备,可帮助跨工业设备、生产线以及在整个工厂范围内优化性能和效率。三是智能生产、智能仓储与智能物流,如借助RFID技术进行物品识别、定位、加工、移动、码放、储存、动态追溯等。四是供求双方端到端服务创新,即基于数据和平台提供后市场服务,物联网与服务交融实现商业模式创新。物联网协助制造企业更有效捕捉和预测市场需求,创造动态化、个性化的智能服务、咨询服务、数据服务、物联网金融与保险等新的服务种类。

大数据技术。工业大数据是指在工业领域中,围绕智能制造模式,以数据采集集成、分析处理、服务应用为主的各类经济活动所产生的数据总称,包括从客户需求到销售、订单、计划、研发、设计、制造、采购、供应、库存、售后服务、运维等整个产品全生命周期各个环节。工业大数据以产品数据为中心,延展了传统工业数据范围,同时还包括工业大数据相关技术和应用。工业大数据主要来源可分为:(1)与生产经营相关的业务联网数据,包括从生产计划到执行的数据流(如企业资源计划系统ERP到制造执行系统MES),MES与控制设备和监视设备之间的数据流,现场设备与控制设备之间的数据流,以及MES与现场设备之间的数据流等。(2)产品及物联网数据,如产品全生命周期数字一体化和产品全生命周期可追溯得以进行的产品数据流。产品全生命周期数字一体化以缩短研发周期、降低研发成本为核心,可基于模型定义(MBD)技术进行产品研发,建设产品全生命周期管理系统(PLM)等。通过让产品在全生命周期具有唯一标识和可追溯,应用传感器、智能仪器仪表、工控系统等自动采集质量管理所需数据,基于MES系统开展在线质量检测和预警等,得以提升产品质量管控。(3)外部联网数据,包括客户数据和供应链数据等,借以实现供求协同,实现网络协同研发、协同设计、协同制造、协同服务和供应链上下游协同优化。随着大数据、云计算、物联网、边缘计算、人工智能等领域的技术突破与发展,工业大数据与这些新技术的集成应用将更有深度和广度,并且工业大数据的数据获取量将更大,存

储管理更便捷，分析产出更智能，商业价值将更高。工业大数据将持续促进传统制造业转型升级，助力工业智能化发展。

云计算（Cloud Computing）。通过网络“云”上众多服务器组成的系统，分别在基础设施层、软件开放运行平台层、应用软件层，以基础设施级服务（IaaS）、平台级服务（PaaS）和软件级服务（SaaS）的形式，提供网络存储、数据库、计算分析、网络传输、应用服务等，使用者可以随时随地便捷地按需、可扩展、高性价比地获取和使用“云”上的资源，将自有资源和精力聚焦于自己擅长的核心业务，而无需一次性花巨量真金白银购买IT产品和技术去自建系统并维护运行，从而大大降低了企业资源、资金和经营管理压力，包括创业者的创业成本和创业门槛。

工业物联网（智能化工业互联网）。即基于新一代ICT技术（信息与通信技术）连接并整合工业全要素、全产业链、实现工业智能化的网络。智能化工业物联网内含于其中。通过对海量工业历史、动态、实时数据的采集、挖掘分析和决策应用，实现工业体系从局部、底层到全局的多层次优化，为经济社会的持续进步和长期繁荣打下稳固的工业基础。在技术架构中，工业互联网的核心是工业互联网平台，后者的构成包括：(1)边缘层。向下接入工业设备等各种生产要素和全产业链各个环节，实现底层数据采集与处理。是工业互联网平台运行的基础。(2)IaaS层。(3)PaaS层。它是工业互联网平台核心能力的体现，集成了工业数据分析和工业数字化模型。这些模型主要包括两大类：基于工业技术原理、生产工艺、行业知识和专家经验等构建的工业机理模型，以及基于工业数据本身的相关性构建的工业大数据分析模型。通过海量数据输入和建模分析，可形成智能化的生产和经营决策。PaaS层同时为SaaS层提供开发环境和平台支持。(4)SaaS层，即应用层。主要提供涵盖不同行业工业企业及其供应链的不同环节、不同系统的精益化、自动化、数字化、网络化、智能化业务应用（应用软件系统）和构建各种赋能性、增值性、开放性、互利共生的产业生态。

5G等新一代无线通信技术。实现无线通信的超大带宽和网络容量、高数据传输速率、低延迟、低功耗、低成本、易配置、无缝切换、大规模设备连接。全覆盖的工业物联网和工业互联网的不断发展，各种智能终端的普及，生产执行等各种应用系统的协同运行，物联网应用最普遍的机器对机器、人与机器间以及移动网络和机器之间的智能化、交互式通信M2M（Machine to Machine，广义的 M2M通信），信息物理系统无处不在的环境感知和网络控制，海量现场数据采集、工业自动计算和实时双向信息传输，海量生产要素、业务流程的实时数字映射，数据流量的爆炸式增长，所有这一切都以卓越、高效、稳定、易用、及时、可靠的无线通信系统为前提条件。

智能制造和工业智能化，是上述诸种前沿信息技术集成应用、渗透交叉、相互融合，并与先进制造业一体化深度融合、全面贯通的结果。

先进、成熟、集成化、协同化、不断迭代升级的智能制造体系，将全面推动和支持企业构建新的核心能力组合，成为新一代智能化企业，实现**凤凰涅槃**：全面支持企业直连用户、实时感知、敏捷响应用户需求、与用户互动、网络直销和始终在线服

务,支持按照用户订单柔性化生产和全面个性化定制,支持富有穿透力和精准的用户洞察与商业洞察,支持在线异地协同研发和设计、生产与销售一体化,支持产品和设备的全生命周期可追溯及全生命周期管理,支持制造过程中所有设备、零部件等生产要素的物联网互联,支持制造环节和供应链所有环节的一体化协同、全链条管控和在线分析优化,支持全自动生产线和仓储与物流系统,支持精益生产和精细化经营管理,支持全面质量检测与质量管控,支持在线诊断、远程运维、预测性维护等后市场服务和穿透式、透明化、低风险的产业互联网金融,支持各种技术手段、平台服务赋能,支持构建新的互利共赢、共创共生的产业生态和跨界协同合作,推动工业领域广泛、深刻、持续的脱胎换骨式变革,如此等等,从而引发工业“基因突变”、“能力突变”和系统性突变,产生新的工业基因、核心能力和竞争优势,产生新的社会分工合作格局,再造企业体系和企业组织,再造整个工业体系和产业组织。

唯变不变。未来,智能化会将我们进一步引入一个变革与“智能+”无时无处不在和“无智能,不制造”的工业发展新阶段。只有积极地投入变革大潮并出色地实现智能制造转型,守正培元,固本强基,不断精进,因时而变,卓越创新,工业企业才会有更加光明的发展前景。

四、智能制造技术落地应用与典型案例洞察

与美国“先进制造战略”及“再工业化战略”、德国“工业4.0战略”和其他发达国家与地区的类似战略交织在一起,智能制造已成为全球制造业发展的新趋势,对全球产业发展和分工格局带来深远影响。

为了实现社会经济转型升级和高质量发展,中国政府提出制造强国战略,依据该战略,拟定了自2015年开始的制造强国30年建设期和分别至2025、2035、2045年的“三步走”路线图,大体上每一步用十年左右时间来逐步实现我国从制造大国向制造强国转变的目标。智能制造是现阶段制造强国建设的主攻方向。

围绕智能制造,工信部、财政部联合发布了《智能制造发展规划(2016-2020年)》,工信部、发改委、科技部、财政部相继联合发布了《智能制造工程实施指南》、《国家智能制造标准体系建设指南》等顶层设计文件,开展智能制造试点示范和标准体系建设。其中,《智能制造工程实施指南》明确了“五三五十”四大任务:一是攻克五类关键技术装备,即高档数控机床与工业机器人、增材制造装备、智能传感与控制装备、智能检测与装配装备、智能物流与仓储装备;二是夯实三大智能制造基础,即智能制造标准、核心支撑软件、工业互联网;三是培育推广五种智能制造新模式,即离散型智能制造、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;四是推进十大重点领域智能制造成套装备集成应用,即主要推进《中国制造2025》中提到的十大重点领域关键技术装备和先进制造工艺的集成应用。相关省市亦根据国家的顶层设计制订了本地的相关行动计划。

在以上大背景下,我国智能制造技术落地应用进入高速成长期,制造企业加快数

字化、网络化、智能化转型，并取得明显成效。根据对全国智能制造相关项目的调查，2015~2017年的308个项目进行智能化改造后，生产效率平均提高34%，能源利用率平均提高17.2%，运营成本平均降低22%，产品研制周期平均缩短32.4%，产品不良品率平均降低29.4%。^①

整体上，现阶段我国智能制造落地操作呈现出以下特征和趋势：

1.从应用不同类型技术、包括细分的应用范围的角度看，大多数工业企业在智能制造软硬件技术应用上，呈现出由低级到高级、由简单到复杂、由局部到整体、由单一到综合、由内部到外部循序渐进的演化趋势。例如，对153家大中型企业所作的调查显示，^②目前制造企业数字工厂的建设部署主要集中于打通生产到执行的数据流，而拓展到打通产品数据流和供应链数据流的企业不到一半。在物联网相关技术应用方面，被调查企业普遍建立系统以传感器采集动态数据，但数据分析、决策、执行和平台应用相对滞后。在工业云的部署方面，被调查企业以云的基础功能为主，把云看作虚拟服务器，在云上进行存储、计算，降低每个单元的储存和计算成本，只有少数企业通过云部署改变生产方式和制造生态，进行多云和混合云部署的企业仍为少数。在人工智能应用上，51%的被调查企业在制造和管理流程中运用人工智能，利用算法模型，去优化生产制造的各个环节，实现降本节费，提质增效，包括使用机器人实现流程自动化、柔性制造、定制化生产、质量检测等；46%的被调查企业在产品和服务领域已经或计划部署人工智能，用于研发和新品测试、用户行为分析、自动驾驶等。

2.智能制造快速发展，成效显著，但不同规模企业、不同行业之间差异较大，极不平衡，两极分化明显。由于技术能力和财力的约束，大量中小微企业的智能化转型较为落后和迟滞。大量行业头部公司全面领先。

3.在智能化生态体系上，我国智能制造体系建设过程中急需的不少高端设备、关键零部件和元器件、高端原材料、操作系统和设计软件等供给的对外依存度和供应链风险依然较高，大量全球领先的关键性技术的突破尚待时日，依然需要足够的时间和能力积累。

4.在技术应用及其创新方面，我国一些行业头部公司智能化转型的领先努力，可在全球“灯塔工厂”入选的案例中管窥一斑。全球“灯塔工厂”又称为“世界最佳工厂”，是指在数字化转型方面成为“第四次工业革命的领跑者”、堪为全球表率的领先工厂，由世界经济论坛与麦肯锡咨询公司合作在全球范围内精选。从2018年开始到现在先后四批共筛选出44家灯塔工厂。^③这44家“灯塔工厂”在技术应用范围上采用了两种智能制造部署模式：第一种是聚焦工厂内部单个生产场所的生产系统创新，即

① 中国工程院“新一代人工智能引领下的智能制造研究”课题组.中国智能制造的发展路径（2019-04-10）[EB/OL]. 搜狐网[2020-04-08]. https://www.sohu.com/a/307128225_485176.

② 中国智造 行稳致远——2018中国智能制造报告[EB/OL].德勤中文网[2020-03-10]. <https://www2.deloitte.com/cn/zh/pages/energy-and-resources/articles/china-smart-manufacturing-report-2018.html#>.

③ 加快可持续发展：18家未来新工厂推动第四次工业革命的深远影响（2020-01-10）[EB/OL]. 世界经济论坛中文网[2020-04-10]. <https://cn.weforum.org/press/2020/01/sustainability-at-scale-18-new-factories-of-the-future-drive-impact-in-the-fourth-industrial-revolution-cn>.

工厂内部制造系统的纵向集成,第二种是聚焦内外一体化、将创新拓展到了实体工厂范围之外的端到端的价值链创新,从数字化工厂发展为数字化企业和数字化供应链,走向全方位数字化变革。端到端“灯塔工厂”因地因企制宜,建立扎实全面的商业逻辑,创造性、规模化地广泛整合应用第四次工业革命的各种前沿技术,创建成熟、可扩展的先进技术架构,打通整个产业链和供应链的数字通道,借助大数据决策、流程和商业模式创新、敏捷工作模式、新技术普及和员工能力提升、调动员工和利益相关方的积极性、无缝连接、共享数据、形成动态生态系统、为下游客户和上游供应商带来新的核心价值等关键因素,实现整个产业链和供应链的一体化全面整合、系统变革、资源优化、效率提升、价值提升和协同创新、协同运营。

中国拥有12家“灯塔工厂”,其中7家为端到端“灯塔工厂”,占14家端到端“灯塔工厂”的一半。中国既是全球“灯塔工厂”最多的国家,也是全球端到端“灯塔工厂”最多的国家。在先进的数字化技术的帮助下,中国的端到端“灯塔工厂”能够精确匹配客户需求并降低成本,缩短研发周期,实现按时交付,提高经营效率,持续优化整个业务流程。

我国的一些行业头部公司不仅自己领先实现智能制造转型,而且基于自己的智能化先行经验、雄厚的人力资源和智能化技术积累、对制造业的深刻理解和良好的产业生态集聚,依托自己建立起来的成熟的工业互联网平台和技术队伍,纷纷成立相应的专业技术公司,成为智能制造系统解决方案提供商,为其他企业提供智能制造转型服务。

在这方面最为典型的案例,是海尔集团。海尔同时拥有两家全球端到端“灯塔工厂”。在海尔用户需求驱动生产的C2B端到端互联工厂中,基于海尔的COSMOPlat产业互联网云平台、数字化工业工程IE平台和包括虚拟展厅、虚拟体验、虚拟设计、虚拟排产、虚拟生产、虚拟装配、再到实体制造在内的虚实融合的数字孪生系统,以及人工智能、物联网、柔性制造等先进技术,采用设备层、执行层、控制层、管理层、企业层五层技术与功能架构,通过以制造执行系统iMES为中心的ERP、控制、物流、产品生命周期管理五大应用系统、以及互联模块设计资源和模块供货资源的海达源平台的智能化整合,以柔性化、数字化、智能化三大支持互联的能力为基础,实现从设备到车间到企业的人机物互联的纵向集成,和从用户需求到产品设计、到制造、到物流、到服务的横向并联数字化闭环的横向集成,以及通过全覆盖的人人互联、人机互联、机物互联、机机互联和用户互联、网器互联、全流程互联、全生态互联、全周期互联的端到端集成,由为库存生产转向为用户生产,进行以用户体验为中心的大规模定制,最终形成产品制造全流程、全生命周期、全价值链体系颠覆。

海尔COSMOPlat平台上有模块定制、众创定制、专属定制三种定制方式,其中冰箱有36个标准模块,可配置出500多个定制方案,用户可自主选配。海尔沈阳冰箱互联工厂“作为以用户为中心的大规模定制模式的典范”,通过部署可扩展的数字平台,实现供应商和用户的端到端连接,新产品开发周期缩短30%以上,一次开发成功率提高20%以上,排产时间缩短80%,一条生产线年产能约为传统的冰箱生产线的2倍。在海尔青岛中央空调互联工厂,海尔中央空调通过节能共创平台汇集3000余优质

资源商、1000余家设计院、100余家专业机构实时在线交互，用户可实现创意交互、虚拟设计体验、按需定制、全流程可视，订单直达工厂与模块商，全程信息互联，以大数据实时分析实现智能化管理，产品下线直接送达用户，海尔中央空调通过智能互联工厂使产品不入库率高达100%。^①

依托开放的多边交互、增值分享、不断迭代升级、已链接390万家生态资源、2600万台智能终端、4.3万家服务企业、3.3亿个服务用户的规模化、多样性生态平台的COSMOPlat，利用将大规模个性化定制模块化、软件化，经过千锤百炼沉淀了海尔30年制造丰富经验和资源且简单易用的7大业务应用模块（即交互定制、开放创新与设计、精准营销、模块采购、智能生产、智慧物流、智能服务）和在智能制造系统开发运营上积累起来的5大能力（即接入工业全要素的泛在物联能力，基于出色的工业机理模型和微服务的知识沉淀能力，进行海量异构数据处理的大数据分析能力，培育新模式、新业态的生态聚合能力，基于主流安全防护系统的安全保障能力），海尔正在将自己的智能制造体系建设经验，通过技术与全价值链赋能、产业链资源协同连接和跨行业融合应用，复制到国内外其他行业和企业，目前已赋能15大行业60个细分行业，提供提质增效、资源配置、模式转型3大类28个应用场景，取得了显著的成果，帮助一些企业实现了脱胎换骨式的智能化升级发展。^②

与此同时，海尔金控的互联网共享金融平台依托海尔的工业互联网平台和智能制造服务商生态，将海尔的产业链资源协同集成和发展产业生态平台的做法，复制推广到玉米、鸡蛋、肉鸡、肉牛、生猪等十几类细分现代农业产业和绿色环保等其他产业，由资金提供者升级为资源链接者，形成共创共赢、产业链与金融服务协同融合的“万链共享生态圈”和金融生态物联网平台，实现产业和金融服务的转型升级。在这里，海尔金控搭建平台，在立足集团的基础上不断链接上下游产业链赋能，为客户提供全流程、全方位、定制化的金融服务解决方案，通过跨界延伸服务边界，扩大服务链连接，全链路汇聚和整合内外部资源，集成服务，产生协同效应，使链路所有环节上的参与者能通过联结形成更高的经济活动能级而同时获益，显著扩大了全链路的价值创造能力、交易空间、交易规模和增值空间，增加了每个交易环节的可信度和信用，降低了信息不对称程度，降低了交易成本和交易风险，建立了稳定的长期分工合作关系，推动了生产升级和消费升级，促成了包容性增长，同时实现了金融服务链和实体产业链的全面再造、深度融合、全链路协同和共同发展。例如，中国肉牛行业长期受到养殖技术和观念落后、粗放的散养放养模式和屠宰模式、养殖管理不透明、客户食用不放心等诸多问题困扰，牛肉的价值也始终得不到体现。自从海尔金控将产业生态资源聚合赋能模式植入到这一行业，以用户需求为驱动，引进了基础母牛、养殖技术、设备等八类资源，龙头企业、养殖大户、保险公司、饲料商、销售渠道和产业

① 海尔中央空调“灯塔工厂”在全球工业界“一呼百应”（2019-04-18）[EB/OL]. 海尔官网[2020-04-08]. https://www.haier.com/smarthome/20190417_68442.shtml.

② 山东制造有多强？全球44座灯塔工厂 山东占2家（2020-01-12）[EB/OL]. 凤凰网[2020-04-12]. http://sd.ifeng.com/a/20200112/8058951_0.shtml.

生态平台共同参与，重塑产业生态，通过将牧场科学高效的养殖管理、金融端可靠的生物资产监管和穿透式闭环信用数据链、消费端更透明的食材来源有效链接，共同催生出生畜联网平台。在这一过程中，既让牛肉价格有了质的提升，也在当地形成了种植业和养殖业的循环经济。而当线下形成了种植和养殖循环经济圈后，海尔金控线上打造的轻厨平台（Air-Cooking），又把好的牛肉链接到每一个家庭。如今，海尔金控模式的肉牛生态圈已经进入9个省，直接和间接辐射1900个乡村，汇集了4万家庭、16万人在这一生态圈中创业致富。在肉牛生态圈的带动下，来自留守家庭、贫困家庭、失业家庭的人，可以不用出去打工，回到家乡，靠这份事业脱贫致富。^①

可以预期，假以时日，我国制造企业的智能化转型必能到位，并且，在智能制造和工业智能化的推动和支持之下，在全社会的协同努力之下，通过各种内含软硬件的智能系统在社会各个行业、各个领域的广泛应用，我们将进入一个“无所不智”的经济与社会发展新阶段！

【作者简介】 胡汝银：上海证券交易所原首席经济学家，第一届和新一届国家制造强国建设战略咨询委员会委员，教授，博士生导师，经济学博士。研究方向：资本市场，制造强国建设，发展经济学。

From Intelligent Manufacturing to the Intelligent Economy and Society

HU Ru-yin

(Shanghai Stock Exchange, Shanghai 200120, China)

Abstract: Enabled by new information technologies, including AI, industrial big data, iIOT, digital twin, and empowered by intelligent products, intelligent manufacturing, intelligent services, and C2B mass customization, the total manufacturing process, the full supply chain, and the whole product lifetime management can be synergistically integrated, thus making best use of social resources, enhancing innovation and technical progress, breaking through bottlenecks of technologies and resources including labor, fostering an inclusive industrial eco-system, and reengineering business, the economy and the society.

Keywords: intelligent manufacturing; total integration; business reengineering; intelligent economy and society
(责任编辑：山草)

^① 谭丽霞与海尔金控践行的是张瑞敏人单合一之道（2017-11-19）[EB/OL]. 每日经济网[2020-04-06]. <http://www.mrjxw.com/articles/2017-11-19/1162771.html>.