



从工具革命到决策革命 ——通向智能制造的转型之路

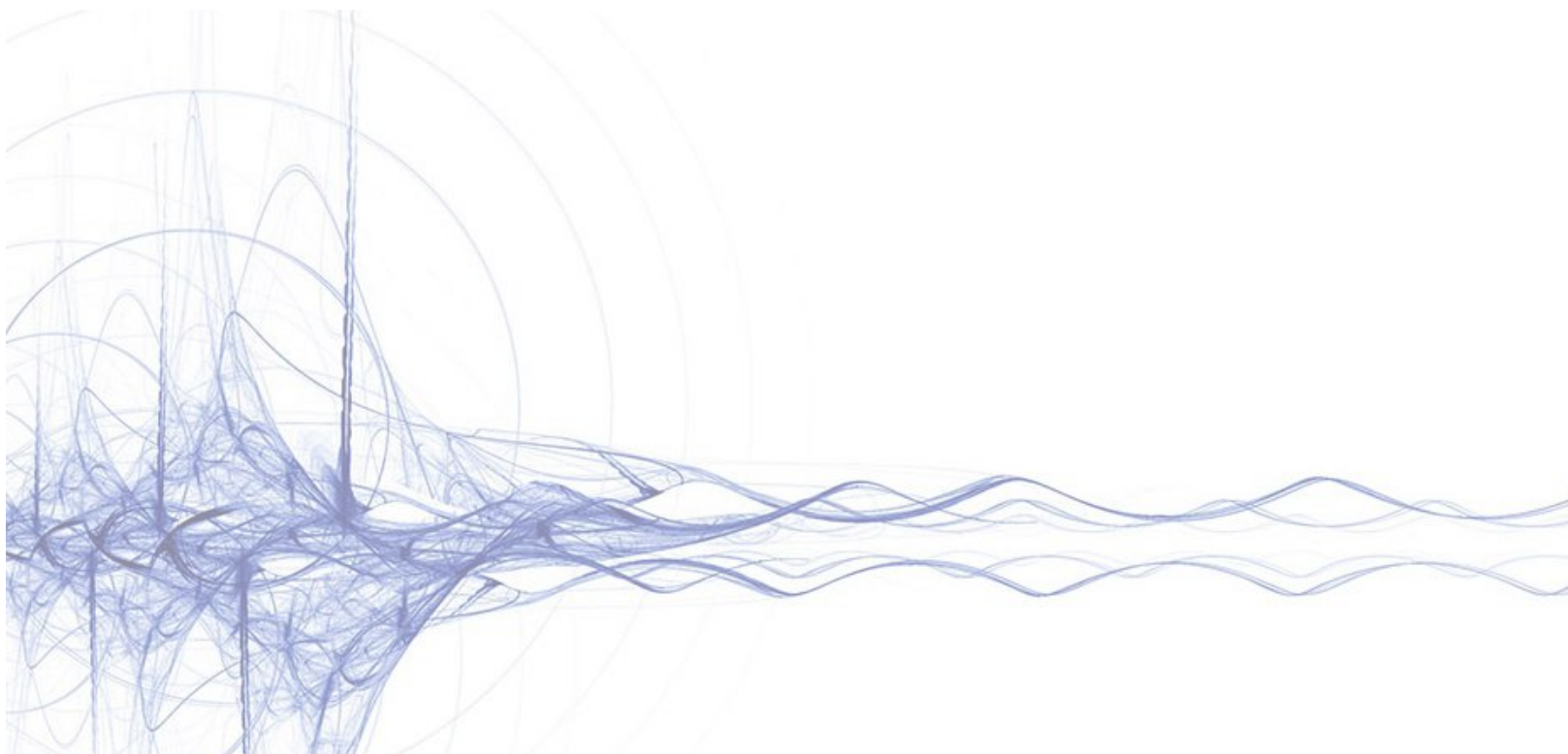
2019年4月

前言

随着物联网、5G、人工智能、云计算等技术的“核聚变”式爆发，各主要工业国围绕智能制造所制定的“再工业化”战略也甚嚣尘上。我国在2019年的政府工作报告中首次提出了“智能+”的概念，将智能制造确定为了国家经济发展新动能的重要发展方向。

本报告从智能制造崛起的背景出发，通过探讨消费互联网带动产业智能化升级这一中国特色的智能化路径，归纳总结出了“数据+算力+算法”这一实现智能制造的核心技术体系，并深入阐述了该体系赋能重构的制造业生产体系各个环节。在大量案头研究和访谈的基础上，报告通过淘工厂、恒逸石化、中信云等企业的六个案例分析，首次提出了企业实现智能制造的四条独特路径。

报告还从社会和企业发展的角度审视了智能制造的意义。就社会而言，“数据+算力+算法”引领的智能制造，带来了工具革命，也带来了决策的革命。工具革命以自动化的方式让工作效率大幅提高，决策革命则以智能化提高了决策科学性、精准化。就企业而言，只有尽早确定以价值为导向的智能化升级战略，才能在工业4.0的浪潮中立于不败之地。



致辞一



人类发展的历史就是科技进步的历史。从机械化和电气化代替自然力，到现代流水线式规模化生产，进而计算机、互联网技术发展带来了人类处理信息能力的飞跃，每一次技术和产业的变革都带来了新的经济和商业形态。随着过去十多年来物联网、5G、人工智能、数字孪生等科技的爆发性发展，以智能化为代表的新经济已初现雏形。

智能经济已成为世界各国关注的焦点。中国在2019年的政府工作报告中首次提出了“智能+”的概念，促进先进制造业和现代服务业融合，为制造业转型升级赋能。制造业在国民经济中具有举足轻重的作用，也是衡量一个国家竞争力的重要标志。因此智能制造可以被视为是以“智能+”为代表的新经济的“基石”，是中国经济向高质量发展转型的关键。

毕马威一直致力于推动企业的数字化转型，帮助企业利用先进技术创造价值，更好的为客户服务。在协助企业实现技术和商业模式紧密结合的过程中，我们也积累了大量的宝贵经验。阿里巴巴是中国领先的创新科技企业之一，在云计算、大数据、人工智能、物联网等领域进行了深入的耕耘与探索。此次毕马威和阿里研究院合作撰写的智能制造报告，正是两家企业结合各自的独特经验共同研究的结果。

正如报告的标题所言，智能制造对社会和经济发展的推动是具有革命性的，颠覆了传统产业几百年来赖以生存的“传统工具+经验决策”的发展模式，掀起了在工具和决策两个维度上的深层次革命。工具革命大幅提高了生产效率，而决策革命则通过人工智能等手段优化决策的准确性、及时性、科学性，实现真正意义上的智能化生产。

过去未去，未来已来。我衷心希望本报告可以助力企业界的各位同仁把握智能经济的发展机遇，在产业升级的浪潮中夺得先机！

陶匡淳

毕马威亚太区及中国主席

致辞二



智能经济是在“数据+算力+算法”定义的世界中，以数据流动的自动化，化解复杂系统的不确定性，实现资源优化配置，支撑经济高质量发展的经济新形态。智能制造的意义，就在于如何以数据的自动流动化解不确定性：让正确的数据、在正确的时间、以正确的方式，自动传递给正确的人和机器，以实现资源配置效率的优化。基于对大量实践案例的总结，“数据+算力+算法”正在带来两场革命：工具革命+决策革命。工具革命以自动化提高工作效率，决策革命以智能化提高决策科学性、精准化。报告据此提出了智能制造的内涵：数据驱动、软件定义、平台支撑、服务增值、智能主导。

阿里巴巴集团致力于“让天下没有难做的生意”，为全球中小微企业以及消费者提供便利。阿里巴巴将过去20年内沉淀的购物、娱乐、本地生活等多元商业场景及相应的数字化能力与云计算等服务充分融合，形成阿里巴巴商业操作系统。它助力企业各环节的数字化转型，实现端到端的全链路数字化。基于“数据+算力+算法”的机制，阿里巴巴商业操作系统正在赋能各类企业，使企业的品牌、商品、销售、营销、渠道管理、服务、资金、物流供应链、制造、组织、信息管理系统等11个商业要素实现在线化与数字化。秉承“开放、分享、透明、责任”的发展理念，阿里巴巴商业操作系统，将向社会全方位地开放自身全球领先的技术积累、蓬勃发展的广阔市场、成熟高效的运营经验等。阿里巴巴商业操作系统，将积极响应和贯彻落实国家“智能+”的发展战略，与各界合作伙伴一道，为消费端和供给端架起一座数字化能力迁移之桥，探索一条数字化全面转型之路，进而助力经济社会的智能化转型与高质量发展。

智能经济是所有国家面临的共同机遇。希望本系列报告能够为政府、企业、学界提供一个全新的视角，了解智能经济最新发展动态，总结智能经济发展的成功经验，探讨智能经济发展过程中可能遇到的障碍，共同推动智能经济的可持续发展。

A stylized handwritten signature in black ink, reading '高红彬' (Gao Hongbin).

阿里巴巴集团副总裁
阿里研究院院长

目录

- 一、智能制造崛起01
 - 新消费时代的来临倒逼制造业变革01
 - 智能技术群“核聚变”驱动制造业智能升级01
 - 智能制造的系统闭环06
 - 各国大力推动智能制造发展，抢占创新高地07
- 二、智能制造重构生产体系09
 - 智能制造体系概述09
 - 需求发现：从间接到直接10
 - 研发环节：从串行到并行11
 - 采购环节：自动化、低库存化、社会化12
 - 生产环节：“车间”里的革命13
 - 营销和售后：无所不在的智能化14
- 三、数据 + 算力 + 算法赋能制造业15
 - 长尾重构：规模化供给解决定制化需求15
 - 敏捷响应：精准捕捉用户需求，快速推出新品17
 - 智能决策：工业大脑结合行业洞见，重构人机边界18
 - 高度协同：工业互联、云中台助力大型集团构建高度协同的智能制造生态体系21
- 四、智能制造推动新经济24
 - 智能制造对经济和社会的推动意义24
 - 智能制造的中国路径25
 - 企业如何推动智能制造转型26

第一章：智能制造崛起

新消费时代的来临倒逼制造业变革

国际市场调研公司欧睿国际发布的《2019 年全球十大消费趋势》中将个性和定制总结为未来消费发展的重要关键词，而这两大趋势在中国消费市场的发展中更是被演绎的淋漓尽致。

过去十年间，中国已经成长为了名副其实的消费型社会。一方面，城镇化进程的加速和居民可支配收入的提高催生出我国巨大的消费市场。另一方面，消费已经成为驱动中国经济发展的首要动能，2018 年对经济增长的贡献率达到 76.2%，成为经济增长的“压舱石”。

近年来，移动互联网在全社会迅速渗透和普及，数字化技术被广泛应用于消费产业链的各个环节，推动了新消费时代的到来。这一时代的主要特征是在数字化支撑下的个性化升级，这一时期的特征是：以消费者为核心，以满足消费者需求为目的，通过消费者需求逆向推动商品生产和服务提供。在此背景下，消费结构、消费需求、消费渠道和消费理念都发生了深刻变化：

- 在消费结构上，升级趋势明显，侧重于发展和享受型消费，用户的个人体验变得更为重要；
- 在消费需求上，个性化、品质化的用户需求尤为突出；
- 在消费渠道上，注重线上线下联动的经营模式；
- 在消费理念上，向绿色健康、便捷高效等方向转变。

消费的升级带来了消费的分级，催生出不同的消费阶层和群体。例如，一二线城市消费继续看好高品质、重体验，而之前被主流平台边缘化的城镇青年消费需求逐渐走上舞台，所形成的长尾效应开始受到关注。

新消费时代下个性化定制的消费观已经越来越普遍，消费品产业链条中生产者和消费者间的关系正在被重塑，对供给端的生产效率、产品质量、敏捷反应等提出了更高的要求，制造产业的智能升级迫在眉睫。

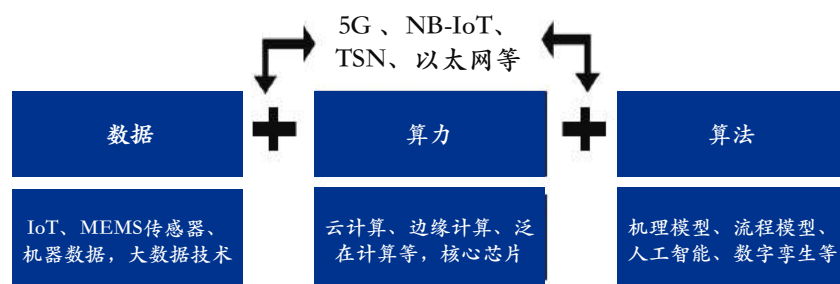
智能技术群“核聚变”驱动制造业智能升级

过去十多年来物联网、5G、人工智能、数字孪生等科技的爆发性发展带来了算力和算法的巨大进步，传统制造业的数字化发展又带来了海量的数据。三者的日益融合逐渐形成了以“数据 + 算力 + 算法”为核心的智能制造技术体系。

- 数据是基础，也是智能经济的核心生产资料，在产业链各环节产生的大量数据是驱动智能制造提高精准度的核心；

- 有了海量数据，就需要强有力的算力进行处理，而以云计算、边缘计算为代表的计算技术，为高效、准确地分析大量数据提供了有力支撑；
- 但是，仅有了数据和算力依然不够，没有先进的算法也很难发挥出数据真正的价值。以人工智能、机理模型等为代表的算法技术帮助智能制造发现规律并提供智能决策支持；
- 与此同时，以 5G、TSN 为代表的现代通讯网络凭借其高速度、广覆盖、低时延等特点起到了关键的连接作用。它将三大要素紧密地连接起来，让它们协同作业，发挥出巨大的价值。

图 1：以“数据 + 算力 + 算法”为核心的智能经济科技体系



资料来源：阿里研究院，毕马威

数据（Big Data）

工业数据的收集和分析早在传统工业信息化时期就一直在进行，有大量的数据来自于研发端、生产制造过程、服务环节。而工业从数据到大数据，最大的区别是实现数据的两化融合，将工业化数据与自动化域数据的叠加。在工业互联网时代，还需要纳入更多来自产业链上下游以及跨界的数据。实现工业大数据的主要核心技术包括物联网（IoT）、MEMS 传感器和大数据技术等，其中尤以物联网和 MEMS 传感器为代表：

物联网（IoT）

物联网是指通过嵌入电子传感器，执行器或其他数字设备的方式将所有物品通过网络链接起来，通过万物互联来收集和交换数据，从而实现智能化识别、定位、跟踪、监控和管理。物联网的几大关键技术包括传感器技术、RFID 标签和嵌入式系统技术。这些技术可以实现透明化生产、数字化车间、智能化工厂，减少人工干预，提高工厂设施整体协作效率、提高产品质量一致性。

MEMS 传感器

MEMS 全称为 Micro Electro Mechanical System，即微机电系统，是集微传感器、微执行器、微机械结构、微电源微能源、信号处理和电路、高性能电子集成器件、接口、通信等于一体的微型器件或系统，是一个独立的智能系统，可大批量生产，其系统尺寸在几毫米乃至更小，其内部结构一般在微米甚至纳米量级。

在市场应用方面，通信、工业和汽车是 MEMS 传感器的三大主要应用场景。在智慧汽车趋势的驱动下，MEMS 传感器在汽车领域的应用增长尤为快速。由于其具有可靠性高、高精度和成本低等特点，被广泛运用于包括车辆的防抱死系统 (ABS)、电子车身稳定程序 (ESP)、电控悬挂 (ECS)、电动手刹 (EPB)、斜坡起动辅助 (HAS)、胎压监控 (EPMS)、引擎防抖、车辆倾角计量和车内心跳监测等方方面面。

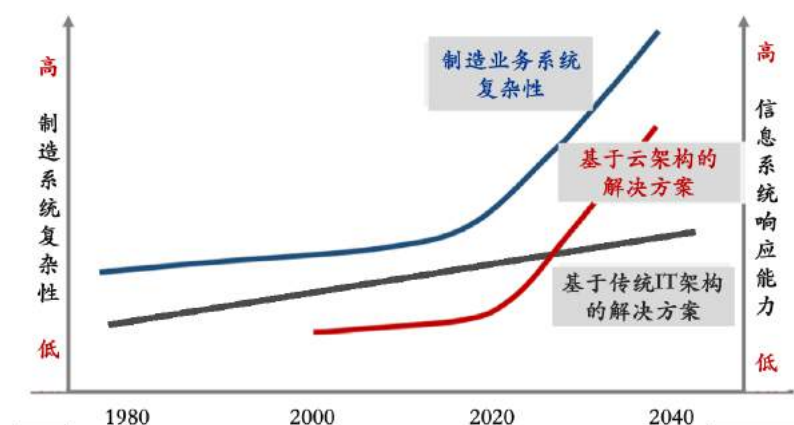
算力 (Computing Power)

算力的发展主要朝着两个方向延伸：一是资源的集中化、一是资源的边缘化。前者主要是以云计算为代表的集中式计算模式，通过 IT 基础设施的云化给产业界带来了深刻的变革，减少了企业投资建设、运营维护的成本。后者主要以边缘计算为代表，与物联网的发展紧密相连。物联网技术的发展催生了大量智能终端，物理位置上处于网络的边缘侧，而且种类多样。由于云计算模型不能完全满足所有应用场景，有一定的局限性，海量物联网终端设备趋于自治，若干处理任务可以就地解决，节省了大量的计算、传输、存储成本，使得计算更加高效。

云计算 (Cloud Computing)

如果说物联网是人的神经中枢，那么云计算就相当于人的大脑。云计算自动化集中式管理使大量企业无需负担日益高昂的数据中心管理成本。“云”的通用性使资源的利用率较之传统系统大幅提升。根据美国国家标准与技术研究院 (National Institute of Standards and Technology, NIST) 的建议¹，理想的“云”应该具有五个特征：按需自助服务 (on-demand self-service)，无处不在的网络访问 (broad network access)，资源共享池 (resource pooling)，快速而灵活 (rapid elasticity) 和计量付费服务 (measured service)²。

图 2：制造系统的复杂性驱动技术架构的迁移



资料来源：阿里研究院，毕马威

¹ P.Mell, T.Grance, The NIST definition of cloud computing(draft), NIST Spec.Publ.800(2011)7.

² NIST 对于云计算计量付费服务的定义为：云系统利用计量功能（通常是通过付费使用的业务模式）来自动调控和优化资源利用，根据不同的服务类型按照合适的度量指标进行计量（如，存储、处理、带宽和活跃用户账户）。监控、控制和报告资源使用情况，提升服务提供者和服务消费者的透明度。

云计算的部署模型分为四种，分别是公共云，私有云，社区云和混合云，并以三种服务模型呈现，即“软件即服务（SAAS）”，“平台即服务（PAAS）”和“基础设施即服务（IAAS）”。过去几十年来，制造系统的复杂性呈几何倍数增长，传统的IT平台解决方案已经无法满足该系统所需要的信息响应能力，制造业的技术架构向云架构的解决方案迁移是发展的必然。

边缘计算 (Edge Computing)

2018年发布的《边缘计算与云计算协同白皮书》将边缘计算定义为“在靠近物或数据源头的网络边缘侧，融合网络、计算、存储、应用核心能力的分布式开放平台，就近提供边缘智能服务，满足行业数字化在敏捷连接、实时业务、数据优化、应用智能、安全与隐私保护等方面的需求。它可以作为链接物理和数字世界的桥梁，赋能智能资产、智能网关、智能系统和智能服务。”³

边缘计算的构成包括两大部分：一是资源的边缘化，具体包括计算、存储、缓存、带宽、服务等资源的边缘化分布，把原本集中式的资源纵深延展，靠近需求侧，提供高可靠、高效率、低时延的用户体验；二是资源的全局化，即边缘作为一个资源池，而不是中心提供所有的资源，边缘计算融合集中式的计算模型（例如：云计算、超算），通过中心和边缘之间的协同，达到优势互补、协调统一的目的。

因此，边缘计算与云计算之间不是替代关系，而是互补协同关系。两者需要通过紧密协同才能更好的满足各种需求场景的匹配，从而放大边缘计算和云计算的应用价值。

算法 (Algorithm)

算法是一个有限长度的具体计算步骤，以清晰定义指令来使输入资料经过连续的计算过程后产生一个输出结果。算法在智能制造的各个环节都有着广泛的应用，是制造业实现智能化升级的精髓所在。例如在智能制造中机器视觉主要解决需要人眼进行工件的定位、测量、监测等重复性劳动。其作用原理是利用相机、摄像机等传感器，配合机器视觉算法赋予智能设备人眼的功能，从而进行物体的识别、检测、测量等功能。算法是人工智能和数字孪生这两项智能制造主要技术的核心。

人工智能 (Artificial Intelligence)

人工智能技术问世已经有60多年，近年来在移动互联网、大数据、超级计算和脑科学等新理论新技术的驱动下迎来了新一轮发展热潮。新一代人工智能的核心是机器学习，就是用大量的数据来对机器进行“训练”，通过各种算法让机器从数据中学习如何寻找规律并完成任务。目前在全球制造业产业链的各个环节几乎都可以找到人工智能技术的应用。例如在制造业最核心的生产制造环节，人工智能技术被

³ 《边缘计算与云计算协同白皮书（2018年）》，边缘计算产业联盟（ECC）与工业互联网产业联盟（AII）联合发布，2018年11月。

运用于机器视觉检测系统，可以逐一检测生产线上的产品，从视觉上判别产品材质的各类缺陷，从而快速侦测出不合格品并指导生产线进行分拣，在降低人工成本的同时提升出厂产品的合格率。在供应链环节，机器学习模型可以整合不同路线货运定价的历史数据，又将天气、交通以及社会经济挑战等实时参数加入其中，为每一次货运交易估算出公平的交易价格，在确保运输任务规划合理的前提下实现了企业利润的最大化。人工智能技术对生产制造领域的赋能离不开产业专家的行业洞见，只有将两者进行战略性的结合才能加深人工智能对产业链的各个环节的渗透，从而提高行业生产效率和产品的质量。

数字孪生 (Digital Twin)

数字孪生是指以数字化方式拷贝一个物理对象，模拟对象在现实环境中的行为，对产品、制造过程乃至整个工厂进行虚拟仿真，从而提高制造企业产品研发、制造的生产效率。与传统的产品设计不同，数字孪生技术在虚拟的三维空间里打造产品，可以轻松地修改部件和产品的每一处尺寸和装配关系，使得产品几何结构的验证工作、装配可行性的验证工作、流程的可实行性大为简化，可以大幅度减少迭代过程中的物理样机的制造次数、时间和成本。据 Gartner 预测⁴，到 2021 年，全球 50% 的大型工业企业将使用数字孪生技术，效率提高达 10%。尤其是制造业和工程行业的公司，如果想要在竞争中保持领先地位，就需要考虑将实施数字孪生技术纳入公司的智能发展战略中。

通信技术的网络集成

智能制造中海量传感器和人工智能平台的信息交互，和人机界面的高效交互，对通信网络有多样化的需求以及极为苛刻的性能要求，并且需要引入高可靠的无线通信技术。以 5G 为代表的新一代通信技术是连接数据、算力和算法的桥梁，也是发动智能制造引擎的“钥匙”。

5G

灵活、可移动、低时延和高可靠的通信是实现智能制造的最基本要求，而新一代信息通讯 5G 技术的迅猛发展正好切合了这一需求。与 4G 相比，5G 技术覆盖下的无线网络具有极低时延、可靠性高且海量连接等特点，峰值速率提高了 30 倍，用户平均体验数据率提高了 10 倍，频谱效率提高 3 倍，能支持 500 公里时速的高铁，接口延时减少了 90%。⁵ 5G 技术所定义的三大场景⁶包括增强移动宽带 (eMBB)，

⁴ “Prepare for the Impact of Digital Twins”, Gartner, September 2017, <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/prepare-for-the-impact-of-digital-twins/>

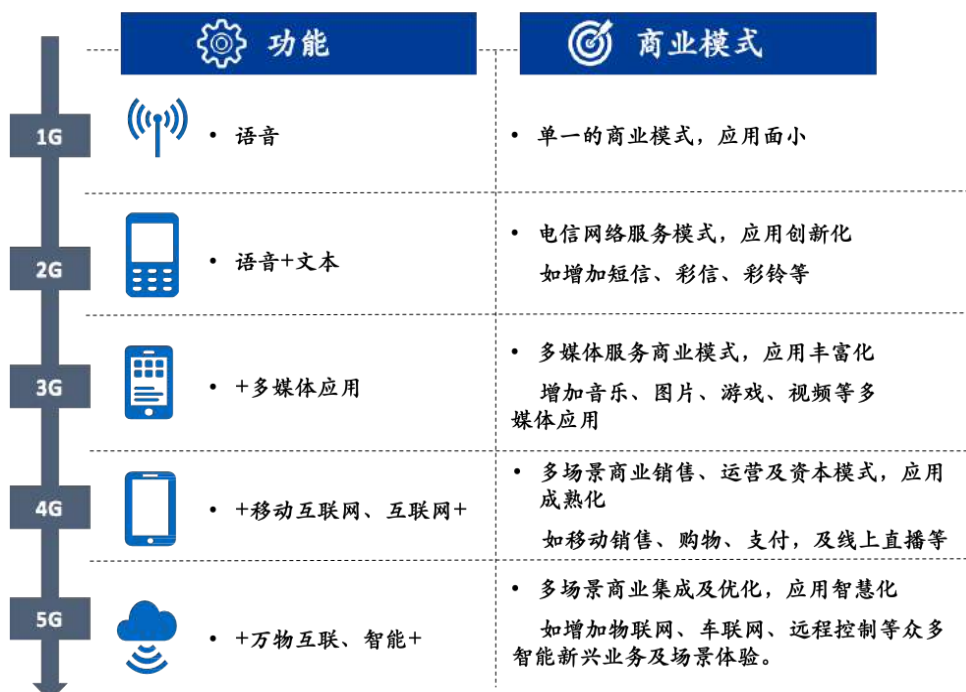
⁵ 《解构与重组：开启智能经济》，阿里研究院数字经济系列报告之四，2019 年 1 月。

⁶ “A path to 5G: as much evolution to revolution”, The 3rd Generation Partnership Project (3GPP), May 2016, http://www.3gpp.org/news-events/3gpp-news/1774-5g_wisearbour

海量机器类通信（mMTC）和超可靠时延（URLLC），可以将分布广泛、零散的人、设备和机器全部连接起来，构建统一的互联网络，并广泛地运用到例如机器人同步和工业传感器等智能制造中的核心场景和技术中。以机器人同步为例，只有 5G 才能提供足够的带宽和超高的可靠性，将智能装配流程中所使用的协作机器人、AR 智能眼镜和辅助系统相连接，使安装在上面的传感器在工作人员接近或准备停止机器人时、减慢机器人时及时发出警报，防止其对工作人员造成安全威胁⁷。

但是，5G 技术尚未全面成熟，其在智能制造领域的应用目前仅停留在规划和构想阶段，大规模落地仍需时日。

图 3：通信技术发展历程



资料来源：阿里研究院，毕马威

智能制造的系统闭环

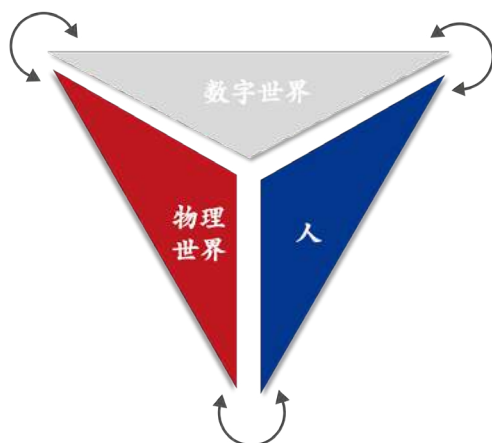
由核心技术集群使能的“数据 + 算法 + 算力”模式使得制造领域中的数字世界、物理世界以及人三者间产生了融合，其中数字世界是指工业软件和管理软件、工业设计、互联网和移动互联网等；物理世界是指能源、工作环境、工厂以及机器设备、原料与产品等。

在传统制造业中，人类直接面对物理世界。现代数字科技的发展形成了数字世界，形成了与人类和物理世界互相对应的第三极。在这个新的系统中，不仅是人和物理世界互动，数字世界也同时和人以及物理世界相互影响、相互作用。

⁷ 《5G 时代十大应用场景白皮书》，华为集团，2019 年 2 月。

来自物理世界的模型、知识通过代码、软件等被数字化，成为数字世界的基础。同时，来自人的信息、决策等（如在网络上浏览的信息、购物历史、偏好等等）也被转化为数据，丰富了数字世界的内涵。在此基础上，数字世界通过算法、算力的支持，反作用到人和物理世界：为人提供更智能的决策支持，使人的生活更加方便、更加高效，同时数字世界甚至将直接作用于物理世界，极大地改变现有的生产、生活模式，例如无人驾驶就将是这一趋势的生动代表。

图 4： 人、物理世界、数字世界构成了智能经济的闭环



资料来源：阿里研究院，毕马威

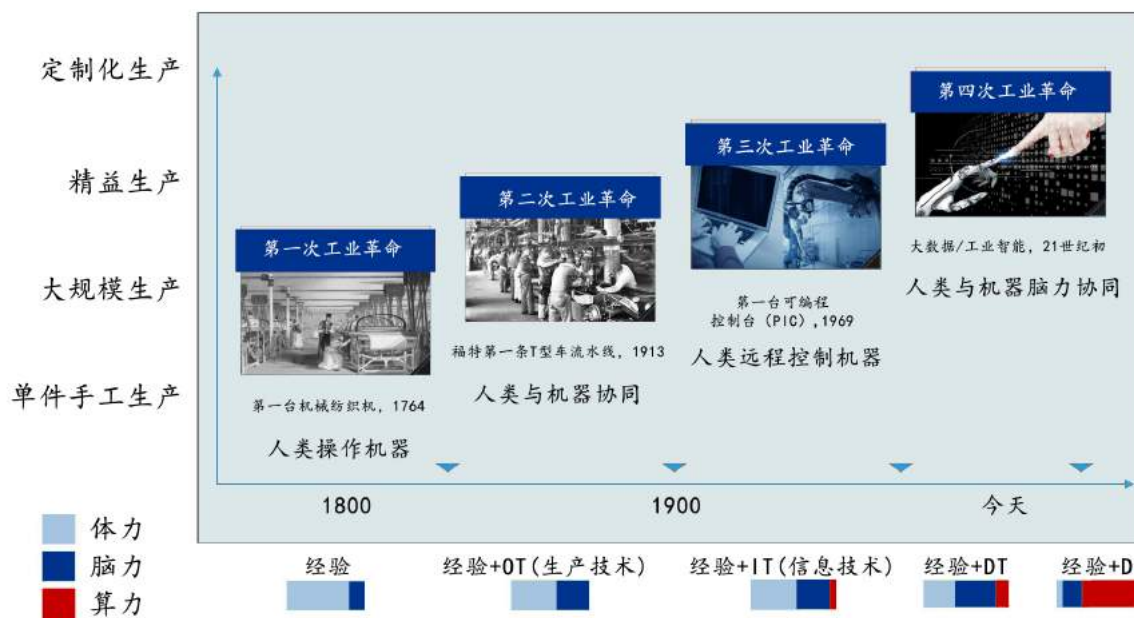
各国大力推动智能制造发展，抢占创新高地

智能制造的概念脱胎于德国提出的“工业 4.0”战略。“工业 4.0”一词首次出现于 2012 年 3 月发布的《德国 2020 高技术战略》行动计划，并于 2013 年在汉诺威工业博览会上提出了“工业 4.0”战略。之所以被称为工业 4.0，主要相对于前三次工业革命而言：工业 1.0 指的是 18 世纪开始的第一次工业革命，实现了由蒸汽动力驱动的机械生产代替手工劳动；第二次工业革命始于 20 世纪初，依靠由电赋能的生产线实现批量生产；工业 3.0 指的是 20 世纪 70 年代后，依靠电子系统和信息技术实现生产自动化。与工业 3.0 相比，“工业 4.0”的主要特征是大规模定制。由于产品的大批量生产已经不能满足客户个性化定制的需求，要想使单件小批量生产能够达到大批量生产同样的效率和成本，需要构建可以生产高精密、高质量、个性化智能产品的智能工厂。在这一全新的模式中，行业的界限将被打破，产业链的分工将被重组。

德国工业 4.0 概念中智能制造核心内容可以总结为：建设一个网络（信息物理系统），研究两大主题（智能工厂、智能生产），实现三大集成（纵向集成、横向集成、端到端集成），推进三大转变（生产由集中向分散转变、产品由趋同向个性转变、用户由部分参与向全程参与转变）。

与德国“工业 4.0”侧重工业制造不同，美国提出的“工业互联网”将重点放在了工业服务上。工业互联网的主要含义是将现实世界中的机器、设备和网络在更深层

图 5：四次工业革命的进程



资料来源：阿里云研究中心，毕马威

次与信息世界的大数据和分析连接在一起，带动工业革命和网络革命的转变。其核心是利用信息技术来重塑工业格局，激活传统制造业。在此基础上，美国清洁能源智能制造创新研究院 (Clean Energy Smart Manufacturing Innovation Institute, CESMII) 将智能制造总结为先进传感、仪器、监测、控制和过程优化的技术和实践的组合作，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。

在中国工业和信息化部公布的 2015 年智能制造试点示范专项行动⁸中，中国将智能制造定义为基于新一代信息技术，贯穿设计、生产、管理、服务等制造活动各个环节，具有信息深度自感知、智慧优化自决策、精准控制自执行等功能的先进制造过程、系统与模式。其具有以智能工厂为载体，以关键制造环节智能化为核心，以端到端数据流为基础、以网络互联为支撑等特征。智能制造可以帮助缩短产品研制周期、降低资源能源消耗、降低运营成本、提高生产效率、提升产品质量。2019 年的政府工作报告中首次提出了“智能+”的概念，将“打造工业互联网，拓展‘智能+’，为制造业转型升级赋能”确定为了国家以创新培育经济发展新动能的重要发展方向。

尽管各国对智能制造的表述各不相同，但核心均为构建人、物理世界和数字世界间的闭环系统。通过三者间的融合，从而实现对现有的制造业的提升，包括缩短开发周期、降低成本、提升效率等；推动发展出包括柔性制造、绿色制造等在内的全新制造模式；加快产业智能化发展，加速市场普及应用，从而形成新的经济增长点。

⁸“工业和信息化部启动 2015 年智能制造试点示范专项行动”，

<http://www.miit.gov.cn/n1146285/n1146352/n3054355/n3057585/n3057597/c3590704/content.html>

第二章：智能制造重构生产体系

智能制造体系概述

工业革命以来，工业生产一直不变的追求都是：制造的高效率、高质量、低成本、高满意度。但随着温饱需求解决之后，个性化消费需求的不断上升，传统的“大流水+大品牌+大分销”的体系，已经越来越难以维系。从上世纪 90 年代开始，很多先行者如 DELL、ZARA 等，都开始借助 IT 技术，不断探索大规模定制的路径，并取得了相当可观的成效。

数字经济时代、智能时代的到来，为这一难题提供了新的可能性。也即在高度数字化的环境下，基于大量的数据，基于算法演进和云计算等所提供的算力，努力探索让正确的数据、在正确的时间、以正确的方式传递给正确的人和机器，从而以数据的自动流动，化解生产制造企业所面临的市场的的高度不确定性。

时至今日，21 世纪已走过近 20 年。在此期间，云计算、物联网、移动互联网、人工智能、大数据等新技术、新基础设施，已经开始广泛地“安装”到了个人、企业等的运行之中，这一技术群落所拥有的“社会-经济”潜力，在制造业里也开始逐步显现出来。基于深度调研和系统研究，我们认为，智能制造的初步体系，在 2020 年前后将逐渐显现出它的“大模样”，主要特征可以概括为：数据驱动、软件定义、平台支撑、服务增值、智能主导。

图 6：智能制造体系的浮现



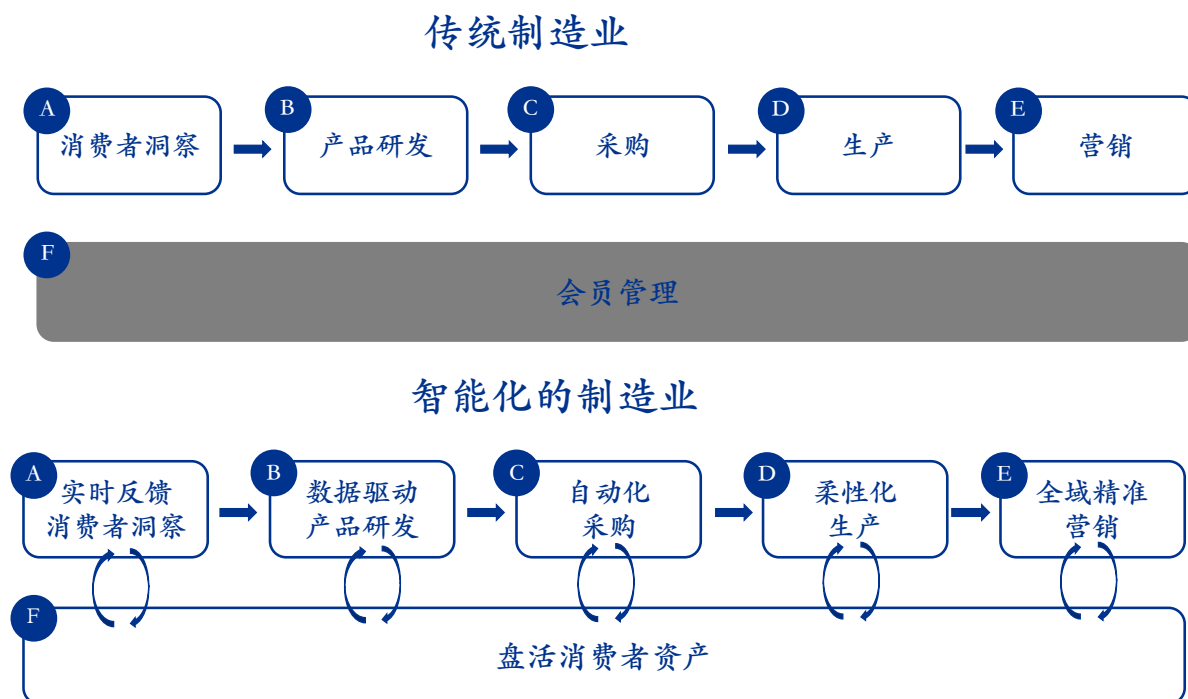
资料来源：阿里研究院，毕马威

具体到微观企业实践中，从产业链的视角来看，传统制造业向智能制造业的转型升级，已经在很多行业、企业开始迸发和成长。

在智能制造业的体系下，虽然五个环节设置仍与传统体系趋同，但其中的每个环节都显现出了与传统制造体系的差异，主要表现为：智能技术和大数据驱动；消

费者的全流程参与；供应链体系向协同网的转变等。以下我们从不同环节来观察一下仍在进行中的转型升级之路。

图 7：传统制造业和智能制造业的对比



资料来源：阿里研究院，毕马威

需求发现：从间接到直接

工业大生产提供了源源不绝的丰富商品，到上世纪 70 年代，发达国家几乎所有的行业都出现了供过于求的局面，卖方市场逐渐转为买方市场，个性化消费的浪潮也开始出现。这种个性化消费的浪潮，近年来在基本解决了温饱问题的中国也已经开始出现。

但如何以一家企业有限的产能，去满足海量消费者快速多变的个性化需求，对传统企业来说是一个巨大的挑战。比如，传统企业对消费者的洞察，往往来自市场调查——在很多情况下，这一方式持续时间长且样本量有限；或是来自门店或经销商的层层上报——这同样是一种洞察消费者的间接方式。互联网、大数据和智能化，则为消费者参与到制造业的各个环节，提供了越来越多的可能性。

在互联网上，在智能化时代，随着“数据 + 算法 = 服务”这一逻辑的持续演绎，越来越多的个性化需求，正在被进一步地识别、激发出来。越来越多的消费者，都已经开始主动地参与到研发设计环节——如服装的在线定制，新闻的阅读定制等。

个性化消费需求的涌现在服装行业表现的尤为明显。以这一行业为例，我们可以发现，消费者的个性化，充分体现在了从研发设计到生产制造的各个环节。其实

现方式包括：模块化定制（如衬衫）、由消费者为款式打分并决定是否生产等。从定制化的程度来看，则包括：号型定制、款式设计定制、面料定制等。从生产本身来看，AI 对服装消费数据的挖掘，智能化设备在车间的应用，生产数据的上云，生产数据与零售数据的对接，都是该行业内已经在进行的商业实践。

研发环节：从串行到并行

从信息化、数字化到智能化，企业的研发流程，正在由“串行模式”向“并行模式”加速演化，从而大大缩短了研发周期。

工业革命以来，企业产品的研发模式，基本上是一种串行工程，也即企业把产品开发过程，拆分成需求分析、结构设计、工艺设计等诸多环节。按照一个一个环节顺序进行的逻辑，研发活动在不同部门、不同人员、不同项目以及设备资源等之间顺序推进。这一研发流程，突出问题是效率低、成本高、周期长。

但集成电路产业的发展，却提供了另外一种可能性。尽管该领域产品的复杂度越来越高，但研发周期、投入等却一直几乎保持了一个固定值。美国国防高级研究计划局 AVM 指出，从 1960 年至今航空航天系研发成本投入复合增长率为 8-12%；汽车系研发成本投入增长率 4%；集成电路芯片的研发成本复合增长率则几乎为 0。这是因为，集成电路产品对环境和精度的要求非常高，这使得它的设计、测试等工艺，一直都在数字空间完成，正是这一点，大大提高了研发的效率。1988 年美国国家防御分析研究所提出并行工程的概念，其含义正是：随着计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD）、计算机辅助工程（Computer Aided Engineering, CAM）、计算机辅助工艺过程设计（Computer Aided Process Planning, CAPP）等研发工具的大量使用，高度集成的数字化模型以及研发工艺仿真体系终于能够实现，传统上相互独立、顺序进行的研发工作在时空上也终于实现了交叉、重组和优化，一些原本下游的开发工作，也提前到了上游进行，跨区域、跨企业、跨行业的研发设计资源被有效整合，研发流程也在整体上实现了从串行向并行的演进。

如，洛克希德·马丁公司在联合攻击战斗机（JSF）项目研制中，基于网络化协同研发平台，最终实现了 30 个国家、50 家公司设计人员的协同设计，正是这种并行协同，使得研制周期缩短了 50%，研发成本降低了 50%。在我国的中航工业，也构建了跨地域、跨企业的数字化并行协同研制平台。通过设计与制造的关联设计和并行协同，冲破了专业、部门和厂所之间的壁垒，从而使得产品设计、工艺和工装设计实现了并行开展，提前解决各类协调问题，大量减少了返工。在中航工业沈阳所，通过基于数字化并行工程的飞机研制管理模式创新，发展建立起了产品成熟度分级控制机制，也实现了数字样机对传统实物样机的替代。

到了今天，随着数据采集技术和设备的进一步普及，以及基于互联网、云计算的高效协同平台，并行逻辑将在更多的领域得以实现。

图 8：研发生产流程再造：从串行到并行



资料来源：阿里研究院，毕马威，GE

采购环节：自动化、低库存化、社会化

过去的 IT 时代，在信息技术的支撑下，伴随现代零售业和物流业的发展，发达国家的大中型企业普遍建立起了自己的现代供应链体系。典型如沃尔玛与宝洁，这两家企业建立起信息系统的连接之后，营运状况都得到了很大改观。沃尔玛一旦发现宝洁某一产品存量不足，就会自动通知宝洁供货。甚至于每当顾客购买宝洁产品，沃尔玛的系统就会将信息传到宝洁，而宝洁也就可以按照这些信息来安排生产。从生产线到货架，一切都如流水般通畅无碍。

但这种高效协同，有着其自身的鲜明特点。从主体来看，它是大企业主导的供应链，中小企业只能被动加入。从成本来看，它也是大企业才能用得起、用得上、用得好的信息系统。从运行过程来看，它也是相对刚性的、固化的供应链，而不是柔性化的，能够灵活满足消费者个性化需求的协同网。

智能商业下的采购环节，将呈现以下几个特征：

第一，低库存乃至零库存。传统模式下，由于信息在供应链上各主体之间传递速度慢，信息共享不及时，使得供应链的牛鞭效应难以避免，来自零售端的无序信号，在供应链各个环节之间进一步地层层扭曲，最终使得成品库存难以避免，大量积压。而随着 AI 对客户需求挖掘的日益精确化，企业可以更精准地预测和把握某个时间、某个空间上的消费需求，从而更有计划地安排采购和生产，这将使得各个企业的成品库存水平进一步下降。

第二，社会化协同。传统的供应链体系，是一个相对封闭、固化、稳定、范围狭小的体系。而在大数据和智能化的环境下，数据将驱动更多的企业，由原有相对稳定的供应链体系，走向一种更大范围、更灵活、更多向、更社会化的协同体系。

第三，智能化、自动化。随着 AI 应用的不断深化，未来的采购领域，将可能呈现出这样一种场景：一些相对日常化和高频化的采购，将会被 AI 系统大规模地

代替。借助于算法推荐，采购决策将变得更加快速高效。比如，过去寻找供应商的途径，主要来自于行业会议、大型展览、朋友圈介绍等。后来的搜索引擎（如百度）、电商平台（如阿里巴巴）、社交网络（如腾讯）等，在一定程度上也成为了企业寻找部分供应商的渠道。而未来的 AI 机器人，借助算法和数据，则可以帮助企业更准确、更高效地寻找到潜在匹配度更高的供应商。

生产环节：“车间”里的革命

从生产环节来看，未来的“车间”将呈现出多方面的巨大变化，仅从设备、效率、组织三个方面来看：

第一，生产设备的智能化。工业时代的制造业，基础是机械设备和电动零件，但今天的、未来的制造业，却已经成为了包括了芯片、传感器、网络设备等硬件，以及数据库、生产管理软件等在内的复杂系统。设备的数字化、智能化，连接的即时化，都已经在越来越多的行业和企业成为了现实。仅以机器人为例，类似机器人等智能化设备，进入工厂车间的过程早已开始。而今机器人的应用场景也在越来越广泛化。在萧山，菜鸟与圆通速递联合启用“超级机器人分拨中心”，其中有 350 个“小蓝人”带着包裹自动运行。2000 平方米的场地内，350 台机器人昼夜不停，每天分拣的包裹可以超过 50 万件。另据美国先进自动化协会的研究报告⁹，2018 年全美公司采购的机器人数量达到了 35880 台，同比增长 7%。过去汽车业是机器人需求量较大的行业，而 2018 年 16702 个机器人流向了非汽车公司，同比增长了 41%。

第二，数据和算法驱动生产效率持续优化。这类尝试，已经在很多场景中展开。据国家能源局数据，2017 年全国弃风电量 419 亿千瓦时，同比减少 8 亿千瓦时，弃风率为 12% 左右¹⁰，而影响风电弃风漏风量的重要因素之一是风电功率预测准确性。为此，国电及一些大型风力发电企业纷纷加速构建工业互联网平台，通过采集风机设备运行、厂站管理、全球气象等各类数据，基于平台上沉淀的多种类型的功率预测模型、设备维护模型，实现对风电设备发电功率的精准预测、性能提升，较传统功率预测实际提高 5.2 个百分点。这一业务模式清晰地诠释了工业互联网平台的本质：数据 + 模型 = 服务。

第三，生产组织方式的灵活化。工业时代的制造业，基本上可以概括为：全球采购 + 集中生产 + 全球分销。这种高度一体化、集中化的制造业体系，到今天开始受到一种更灵活的组织方式的冲击。互联网、大数据、云计算能够让跨地区的协同更加高效，如淘工厂平台。此外，3D 打印等生产方式的不断演化，则有助于本地生产、本地消费这一形态的出现。

⁹ “Record Number of Robots Shipped in North America in 2018, With More Installed at Non-Automotive Companies Than Ever Before”, Robotics Industries Association, February 2019, <https://www.a3automate.org/record-number-of-robots-shipped-in-north-america-in-2018/>

¹⁰ 《中国电力行业年度发展报告 2018》，中国电力企业联合会，2018 年 6 月。

表 1：传统 IT 架构与工业互联网架构对比

		传统 IT 架构	工业互联网架构
核心逻辑		数据+模型=服务 通过对现场数据的采集，基于功率预测模型，实现对风电设备发电功率预测：决定风场发电效率和利润	
数据获取 (数据)	全面性	范围小：局部风电厂站、气象站数据（十几公里） 位移、电压等数据	范围大：多家电厂站、全球气象数据（几百公里） 类型多：位移、震动、电压、温度、湿度……
	实时性	分钟级数据采集获取	实现实时秒级、毫秒级采集周期
	细致性	接入设备 5-8 个测点	单设备测点量 1000 个以上
数据处理 (模型)	多样性	基于单一功率预测模型，选定后难以更换	基于全面性的数据获取，基于平台类“App Store”市场化竞争，可开发使用多样化模型
	自优化	模型一旦部署使用，参数不可更新或更新成本较高	基于实时性的数据获取，不断优化模型、在线更新，并部署到边缘端
	精确性	模型精确度差，预报误差较大	基于细致性的数据获取，不断优化的模型，实现高精度预测
数据应用 (服务)	准确性	低	高
	服务质量	以供应商为主体，用户体验较差，大量现场工作人员	以用户为主体，用户体验好；在中心城市远程维护

资料来源：阿里研究院，毕马威

营销和售后：无所不在的智能化

营销和售后环节，是离消费者最近的环节，也是数字化、智能化程度最高的环节。过去的消费者，对于企业来说是一个陌生的黑箱，即使拥有“会员体系”的企业，也难以实现与消费者的实时互动，难以与消费者共创价值。而在智能化、数字化的环境下，随着消费者数据的不断沉淀，消费者的概念，也正在由“客户”变成“用户”，并进一步地变成“产消合一”视角下的“价值共创者”。在企业与消费者的实时、持续互动中，智能化也已经越来越无所不在了。

2018 年天猫双 11 实现成交额 2135 亿元。这一天量的成交额，在传统环境下所需要的客服工作量将难以想象。但智能化让双 11 的客服体验得到了大幅提高。双 11 当天，阿里巴巴与近 15 万商家客服开展了深度合作，有近 80 万的淘宝天猫商家，启用了商家智能助手阿里店小蜜，实现了智能化的售前导购、智能辅助等新增功能。来自阿里客服的数据显示，双 11 当天，阿里智能客服机器人小蜜，日活跃用户突破 5000 万，当日 1 分钟内最高服务量达到 8.3 万起，承接了淘宝天猫平台 98% 的在线服务需求，相当于 10 万名人工客服小二的工作量。而国际化的店小蜜产品，则在天猫双 11 当天，以中文、英文、西班牙语、葡萄牙语、泰语、越南语、马来语、印尼语、俄罗斯语 9 种语言，为 132 个国家和地区的用户提供智能在线咨询服务。从整体数据来看，11 日当天，店小蜜当日在线咨询对话量达到创纪录的 3.5 亿次，承接天猫商家客服咨询受理量达到 67%，店小蜜也实现了帮助平台商家直接节省客服人力 58.6 万人。

第三章：数据 + 算力 + 算法赋能制造业

长尾重构：规模化供给解决定制化需求

当前，互联网正在从信息交互的互联网、产品交易的互联网向能力交易的互联网迈进，互联网技术体系也正在从价值传递的交易环节渗透到价值创造的生产环节。在这一新的发展进程中，如何应对高度碎片化、个性化的需求，并对各种新的需求做出实时、精准、科学的响应是产业互联网需要解决的核心问题。在此背景下，C2M（Customer-to- Manufactory，顾客对工厂）定制化生产模式应运而生，成为这轮产业革命的新趋势。

在定制化生产体系的道路上，全球不同行业的企业都在进行艰难地探索。许多企业通过在一个企业内部进行数字化改造，实现单一工厂的资源优化，以满足个性化需求，并取得了阶段性成果，成为业界发展的共识和方向。比如，红领、韩都衣舍等。这是解决定制化生产的第一条路径。

案例 1：青岛红领：单一工厂的资源优化

红领集团成立于 1995 年，是一家以生产经营中高端服装、服饰系列产品为主的大型民营服装企业集团。2003 年以来，红领集团在大数据、互联网、物联网等技术支撑下，专注于服装规模化定制生产全程解决方案的研究与实验，经过十几年的积累，终形成独特的“红领模式”。

红领模式以大数据为依托，以满足全球消费者个性化需求为目标，进行个性化产品的工业化流水线生产，建立起订单提交、设计打样、生产制造、物流交付一体化的互联网平台。依托这个平台，全球的客户都可以在网上参与设计、提交个性化定制的需求，数据立即传到制造工厂，形成数字模型，完成单件自动制版—自动化裁剪—规模化缝制与加工—网上成品检验与发货，实现了规模化生产下的个性化定制。生产线上输出的是不同款式、型号、布料、颜色、标识的服装，颠覆了个性服装、单件制作，以及型号服装大规模生产、分级组织市场营销的服装行业经营传统，创立了互联网工业新模式。

红领模式以信息化与工业化深度融合为基础，实现了消费者与制造商的直接交互，消除了中间环节导致的信息不对称和种种代理成本，彻底颠覆了现有的商业规则和生产模式，创造了全新的商业理念，初步探索出了传统制造业转型升级的新路径。

在中国，互联网平台为解决定制化生产提供了一条独特的路径，即通过规模化供给解决个性化需求问题。当一家企业面对一个客户需求时，需求是碎片化的。但在互联网平台上，可以把客户量大、面广的碎片化的长尾需求打包成具有一定规模的订单，然后分发给成千上万专业化的制造企业，以此来实现整个产业链的资源优

化。这条路径并不是在一个企业内部来解决定制化问题，而是在一个大生态体系中思考如何实现定制化生产。这条道路在中国是独特的，在全球也是独特的。

案例 2：“淘工厂”——产业链的资源优化

淘工厂平台成立于 2013 年，成立初期定位为连结淘宝卖家和服装加工厂的贸易撮合平台。在 1688 上分布着很多生产性企业，天猫和淘宝的商家则需要寻找供应链，淘工厂正是诞生在这样的需求下，通过大数据和算法架起供需双方的沟通平台，将生产线转化为数据联网，通过销售到生产端的数据互通，实现制造的大规模高效协同，实现卖家和供应链之间的精准匹配。

淘工厂打造的柔性供应链平台是通过供给和需求充分数字化后实现高效协同，从而达到整个制造到流通链条的效率最大化。供给侧，工厂把包括产品品类、工人数量、产能状态、以往客户质量评价、交货期等信息开放给淘工厂平台；需求侧，淘工厂通过数据进行海量线上中小品牌的需求聚类，对同类产品需求的淘卖家做用户画像。随着平台上零售和生产供给侧大数据滚雪球式的累积，平台通过算法和建模可以实现淘卖家和工厂能力的精准匹配。淘宝卖家在淘工厂平台上发布零散的订单生产需求，淘工厂平台通过数据和算法分析平台上工厂产能的动态变化情况，从而进行初步的订单分配，然后由制造厂家决定是否接单。通过此操作，生产厂家可以同时接受多个淘宝卖家对于某品类的多个零散生产需求从而组合成一个初具规模的订单需求，实现规模化供给解决消费者碎片化的个性化需求的功能。

同时，这种以数据驱动的匹配方式正在向全价值链延伸。例如，与上游设计师资源的精准对接；数据共享驱动产能共享，使工厂在旺季产能不足的情况下，可及时获得其他工厂产能上的补位等。

图 9：淘工厂通过将碎片化需求与闲置产能相匹配从而实现大规模的定制化生产



资料来源：BCG，阿里研究院，毕马威

中国之所以能够发展出解决定制化的独特路径，主要有三点原因：第一，庞大的需求市场。中国有10多亿人正在拥抱大数据变革；第二，完善的供给体系。近年来，中国中小企业产业集群发展迅猛，供给体系多元化趋势愈加明显；第三，对接需求端和供给端的平台。

敏捷响应：精准捕捉用户需求，快速推出新品

敏捷制造是指制造企业采用现代通信手段，通过快速配置各种资源（包括技术、管理和人），以有效和协调的方式响应用户需求，实现制造的敏捷性。敏捷性是核心，它是企业在不断变化、不可预测的经营环境中善于应变的能力，是企业市场中生存和领先能力的综合表现，具体表现在产品的需求、设计和制造上具有敏捷性。

数字技术对消费端的赋能以及新生代人群对于产品功能、产品包装等求新求快的需求变化，都对制造业敏捷响应、柔性化生产、缩短产品研发周期、加快产品更新等方面提出了更高的要求。

在消费互联网带动产业互联网发展的大背景下，制造企业敏捷性的一个重要体现就是新品投放速度，是企业打开新市场、建立竞争优势的重要手段。

案例 3：天猫小黑盒助力新品消费市场的崛起¹¹

天猫小黑盒是天猫打造的一个新品平台，也是数字赋能企业实现敏捷响应，加快新品投放，从而在市场竞争中脱颖而出的典型案例。

天猫定义的新品是新产品、新升级、新包装和新市场的合集。与老品着眼于存量市场不同，新品主要看重增量市场和较高的溢价。天猫新品借助其前端所积累的全渠道消费者数据和小样本调研，运用大数据分析，洞察新品机会，帮助企业优化产品、精准定位目标用户，从而使得生产企业能更精准地设计及孵化新产品并缩短上市周期，同时更高效地通过柔性供应链加快产品的更新换代。于此同时，天猫新品还通过对用户反馈数据的分析，反哺品牌制造商后续新品的开发。

2017年9月，天猫新品与宝洁合作，推出海飞丝品牌香氛洗发乳，上市仅一个月就达到宝洁天猫旗舰店销售的前三。与以往在传统模型下新品的开发需要18-24个月不同，天猫新品平台通过大数据分析帮助企业将新品研发全流程降低到了9个月，与敏捷制造的核心理念不谋而合。

¹¹ 阿里研究院，《2018 线上新品消费趋势报告》，2019年1月。

图 10：天猫新品以数字化打造新品开发模型



资料来源：阿里研究院，毕马威

智能决策：工业大脑结合行业洞见，重构人机边界¹²

回顾人类工业发展的历程，每一次人与机器间关系的变化，都意味着制造水平又一次质的飞跃。现代云计算、大数据、物联网、人工智能等信息技术的爆发为人机边界的再次重构提供了机遇。在制造领域，人机边界的重构体现在建立由人类赋予机器智能，由机器随时、随地完成复杂决策与逻辑操控任务的机器智能工厂。这一未来工厂的模式由智能化、数字化与自动化三位一体打造，实现了工厂从无脑到拥有一颗工业大脑的转化，是继三次工业革命后的又一次跨越。

工业大脑的思考过程，简单地讲是从数字到知识再回归到数字的过程。生产过程中产生的海量数据与专家经验结合，借助云计算能力对数据进行建模，形成知识的转化，并利用知识去解决问题或是避免问题的发生。同时，经验知识又将以数字化的呈现方式，完成规模化的复制与应用。一个完整的工业大脑由四块关键拼图组成——分别是云计算、大数据、机器智能与专家经验。

图 11：阿里云工业 4.0- 大规模人机脑力协同示意图



资料来源：阿里云研究中心，阿里研究院，毕马威

¹² 请参阅阿里云研究中心《工业大脑白皮书 人机边界重构 - 工业智能迈向规模化的引爆点》了解更多案例。

工业大脑的实施使得工厂对人的依赖减少，但无论是生产设备、产线、工业应用还是生产参数如果仍然由人设计和开发，就无法杜绝对资源的浪费和不合理安排。只是浪费隐藏在数据中，更加难以发现。例如锅炉设备控制参数的不合理导致过多燃煤的消耗，或是轮胎生产过程中不同产地橡胶配比的不精确会影响轮胎的稳定性等。只有将工业大脑与行业专家的洞见结合起来，凭借专家的经验 and 常识确保机器智能与实际业务需求吻合，开发出能够实现生产的低成本和高效率的模型和算法，才能切实减少生产过程中的浪费、停滞与低效。

案例 4：工业大脑助力天合光能提升企业利润 实现智能升级

太阳能企业天合光能以工业大脑为基本框架，用云计算、物联网、大数据、深度学习等技术赋能，寻求提升电池片生产的 A 品率¹³，从而提高企业的盈利水平。

具体的实施流程包括以下几个步骤：首先将车间实时采集到的上千个生产参数传入工业大脑，通过人工智能算法对所有参数进行深度学习计算，并结合工艺专家们的专业知识对数据进行过滤和筛选；然后以最快速度精准分析出与生产质量最相关的 30 个关键参数，并搭建参数曲线模型，在生产过程中实时监测和调控变量；最终将最优参数在大规模生产中实现了精准落地，实现了 A 品率的提升。

项目自开始以来，仅仅用了五个月的时间就取得了可观的成效：

首先是达成了企业的预期目标，将生产 A 品率提升了 7%，从而创造了千万元的直接利润。

其次，项目的实施为企业的数字化转型建立了良好的开端。天合光能在云计算、人工智能等科技的赋能下实现了生产数据在线化、生产管理透明化和生产预警自动化。

最为重要的是，工业大脑项目的成功使企业决策层看到了智能化转型的必要性，实现了由高层推动，逐步将试验线中的成功经验和研发成果在更大规模生产中精准落地。

案例 5：恒逸石化 – 用工业大脑实现能耗优化

恒逸石化是中国的一家大型化纤生产企业。化纤属于高耗能行业，公司每年煤炭消耗高达几亿元人民币。为了实现“十三五”计划所明确的以创新驱动，绿色低碳发展的行业发展目标，企业引入工业大脑的决策流程，通过数据采集 - 模型搭建 - 模型应用 - 反馈控制 - 服务提升，实现锅炉燃烧能耗优化。其本质是通过“数据 + 模型”，构建新型服务体系：

¹³ 光转化率 >18.8% 的高品质电池片占比

1. 数据采集。恒逸石化对燃烧过程中涉及到的数百个变量参数进行深度挖掘，识别出对锅炉燃烧能耗影响最大的十几个关键参数，如进风量、燃料量、蒸汽压力、炉膛负压、烟气浓度、氧气量、烟气量、蒸汽体积等，并重点采集十几个关键参数与燃烧能耗一段时间内的历史数据，形成离线学习样本集。

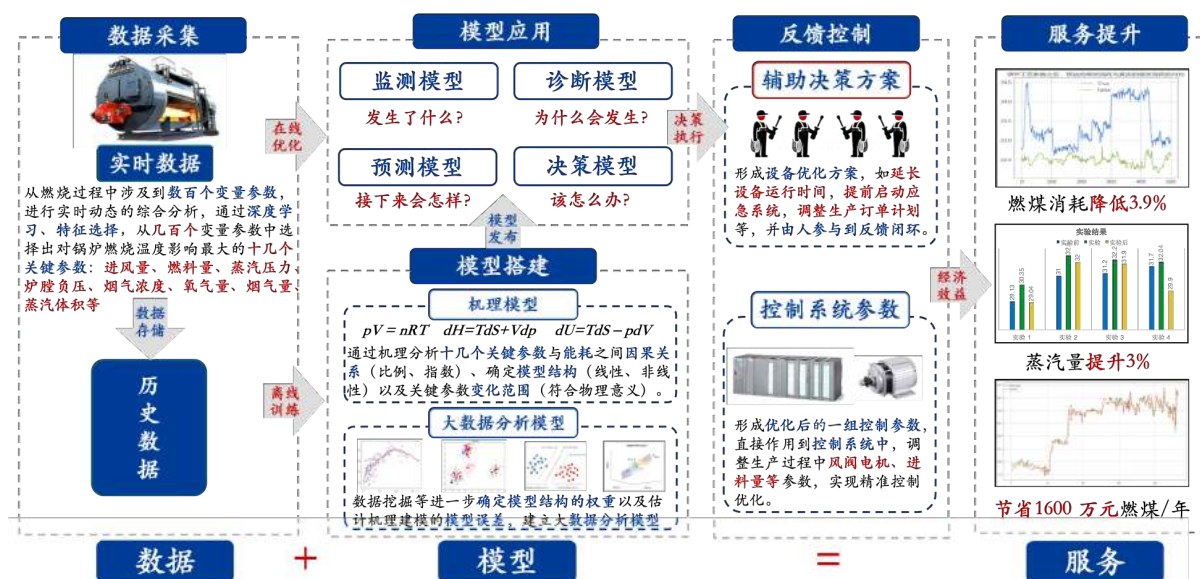
2. 模型搭建。基于确定的十几个关键参数，一方面，通过数理分析、机理推导，得出关键参数与燃烧能耗之间的机理模型，并基于机理模型定性分析出关键参数（控制量）与燃烧能耗（被控量）之间的变量关系（增减、比例、指数）、模型结构（一次、二次、高次），以及部分关键参数在一定物理条件下的合理变化范围，初步确定模型部分结构信息。另一方面，基于大量的离线学习样本数据，通过数据挖掘（回归、聚类、分类、关联等）方法对已确定的机理模型进行反复训练优化，得到离线数据学习下精确的模型。

3. 模型应用。训练后的模型可以部署在本地也可部署在云端，一旦模型部署应用，新的在线数据将源源不断输入到离线训练的模型中，一方面，基于在线优化算法可以动态优化，进一步完善模型参数。另一方面，模型输出结果可以形成四类模型，用来解释工业现场四个基本问题：一是解释发生了什么，即监测模型，如故障报警，超界响铃等；二是解释为什么会发生，即诊断模型，如故障诊断模型、故障定位模型；三是解释接下来会怎样，即预测模型，如剩余寿命预测模型，功率预测模型；四是解释该怎么办，即决策模型，如维护策略模型，控制策略模型。

4. 反馈控制。所有的模型最终都需要将输出的结果反馈给实际对象形成闭环，反馈控制存在两种方式：一种是模型输出辅助决策方案，如是否需要延长设备运行时间、提前启动应急系统，调整生产订单计划等，并由人参与到反馈闭环。另一种是模型直接输出优化后的一组控制参数，直接作用到控制系统中，调整生产过程中风阀电机、进料量等参数，实现精准控制优化。当前，企业中广泛采用的是基于模型的辅助决策，并由人参与到反馈闭环过程。在环境扰动较小、系统模型相对简单生产过程中可采用直接作用到控制回路的方式。

5. 服务提升。无论是优化后的决策方案还是优化后的控制参数一旦作用到实际物理对象中，都能够对设备运行的各项相关参数进行优化调整，进而改变系统整体能耗、停机维修成本等，产生实际的经济效益。恒逸石化基于“数据+模型”构建新型服务体系，实现燃煤消耗降低4%左右，蒸汽量提升约3%，每年节省1000多万元燃煤成本。

图 12：恒逸石化基于“数据 + 模型”实现锅炉燃烧能耗优化



资料来源：《重构：数字化转型的逻辑》¹⁴，毕马威

高度协同：工业互联、云中台助力大型集团构建高度协同的智能制造生态体系

近年来，世界各国特别是发达国家争先布局工业互联网平台并已取得了一些进展。根据咨询机构 IoT Analytics 的统计，目前全球工业互联网平台数量超过 150 个¹⁵。中国作为世界上拥有最为完备工业体系的国家之一，发展工业互联网也早已被提上日程。

工业互联网产业联盟指出，工业互联网平台是面向制造业数字化、网络化、智能化需求，构建基于海量数据采集、汇聚、分析的服务体系，支撑制造资源泛在连接、弹性供给、高效配置的工业云平台，在社会化资源协作方面发挥着重要的作用。

工业互联网平台的协同作用可以体现在企业内部的制造协同、企业间的产能协同、不同种类产业间的产业协同和企业与金融行业的产融协同等。

生产协同

在工业互联网平台协同制造的作用下，企业通过对各环节数据的搜集和分析利用，对设计部门、生产部门和供应链企业的协同，实现了产品价值链全链条的打通，有效地缩短产品的生产研发周期，降低成本。

¹⁴ 安筱鹏，《重构：数字化转型的逻辑》，电子工业出版社，2019 年 3 月。

¹⁵ 《工业互联网平台白皮书 2017》，工业互联网产业联盟，2017 年 11 月。

产能协同

工业互联网平台在产能交易上发挥着优秀的协调作用。由于企业在区域和时间上的产能盈缺差异，产能闲置和产能不足同时出现，促进产能资源的便利流通和合理分配，实现企业间产能的盈缺互助是工业互联网平台协同功能的又一体现。

产业协同

工业互联网有助于打破传统产业与新兴产业之间的壁垒，实现产业协同。工业互联网是在产业不同场景中得以实现，又因不同产业诞生和发展阶段不均衡，导致信息化水平呈现差异，所以，工业互联为产业间提供了平台与支撑，使产业可以互联互通，协同发展。

产融协同

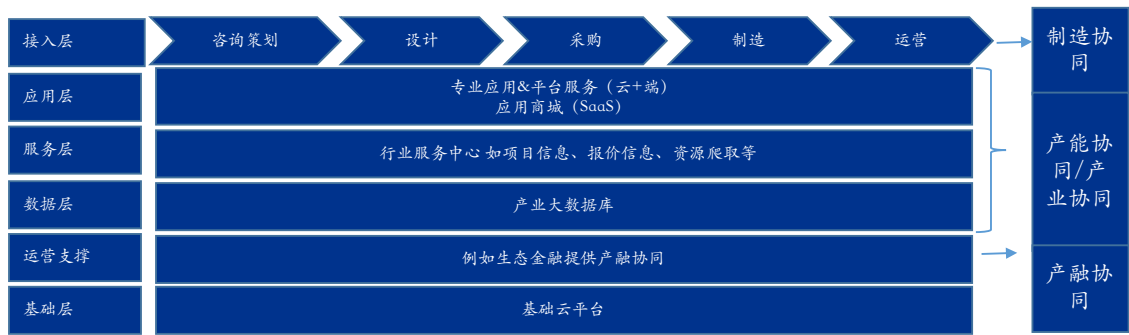
工业互联网平台上连接着数以百计的企业，并汇集了企业研发、生产、管理等环节的真实有效的数据。平台与金融企业合作开发产融合作新模式，将平台搜集到的数据适当地运用到企业融资环节，作为金融企业提供融资服务的评估基础，有效提升了金融服务实体经济的能力，助力优质制造企业实现资金的有效融通。工业互联网平台呈现的四大协同，可构建一个高度智能协同的生态体系，这在大型集团企业中更为突出。

案例 6：中信智能制造产业云平台助力集团智能化转型

中信集团为国有大型综合性跨国企业集团，境内外业务涉及金融、资源能源、制造、工程承包、房地产和其他领域。面对新一代信息技术的高速发展，以中信为代表的多元化集团型企业面临着重重挑战，如集团内不同产业的数字化转型发展程度不一；集团内跨行业多维度数据无法有效沉淀用于决策分析等。并且由于集团产业跨度大，组织架构复杂，在智能化转型中，难以清晰地建立一种“技术平台和业务平台”。为此，中信集团依托产业资源丰富的优势，打造了“智能制造产业云平台”，服务于旗下实业制造类企业开展智能化转型。

中信云定位于“云经纪”，用一体化平台为各业务线子公司产业进行整合及赋能，培育由集团、子公司、上下游企业、外部服务商共创共建、共生共赢的智能产业生态圈。这为大型综合集团智能制造转型提供了“1+N 新模式”（1 代表集团云平台，N 代表集团旗下子公司），通过平台赋能，使集团由内向外与实体企业互联互通，加强不同业务领域的技术创新能力和投资布局，强化多元产业之间的业务关联，发挥出集团各产业间以智能为牵引的高度协同。

图 13：中信智能制造产业云平台示意图



资料来源：中信云网，阿里研究院，毕马威

中信通过打造集团层面智能制造云平台，使智能制造得以应用到集团下各类型制造企业，制造的物品可以小到零部件，大到建筑物。例如，中信重工依托国家“特种机器人制造智能化工厂”项目，对特种机器人生产线进行智能化改造，主要包含数字化物流、仓储、生产线以及信息化系统等4大独立系统，并针对智能矿山设备和特种机器人做了大量投入，通过智能化工厂提高产品研发、仿真、生产效率以及产品品质；中信工程建立了智能建造平台（搭建互联网+**EPC+BIM**），通过数据共享实现工程项目的精细化管理。

第四章：智能制造推动新经济

智能制造对经济和社会的推动意义

人类从农业时代、工业时代、信息时代，到目前正在进入的智能时代，每一次技术和产业的变革都带来了生产要素、生产组织、生产方式的创新和建构。在以智能化为代表的新经济中，在生产要素上，除了传统的资本和人才，信息和数据也日益成为核心要素；在生产组织和社会分工方式上，更倾向于社会化、网络化、平台化、扁平化、微粒化；在生产方式上，由大规模的单一生产转变为以消费者为中心的大规模个性化定制服务。

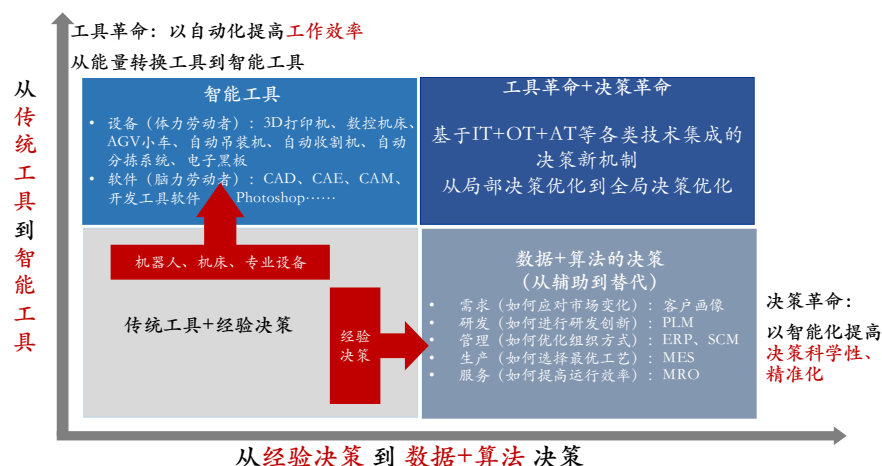
以“数据+算法+算力”模式推动的智能制造颠覆了传统产业几百年来赖以生存的传统工具+经验决策的发展模式，掀起了在工具和决策两个维度上的深层次革命。

工具革命：人类科技的每一次进步都带来了生产工具的革命。从早期生产中畜力代替人力，到机械化和电气化代替自然力，到现代流水线式规模化生产，进而计算机、互联网技术发展带来了人类处理信息能力的飞跃。无论是在体力劳动还是脑力劳动上，科技进步带来的工具革命都使人的生产更加高效、成本更低。

决策革命：和以往科技进步不同的是，智能制造通过“数据+算法+算力”的深度赋能，不仅在工具端，更在决策端也推动了新的革命。随着智能制造渗透到从需求到生产的各个环节，智能化可以提高决策的精准性和科学性，缩短决策周期，并有降低由决策的不确定性所带来的试错成本。智能制造在提供了更好的工具的同时，也将帮助生产做更好的决策，做“正确的事”。

随着新技术群落的进一步成熟和大规模落地，工具和决策的两场革命在未来将进一步融合，形成全新的决策机制，从局部决策优化进化到涵盖全局的整体决策优化。

图 14：智能制造带来的工具革命和决策革命



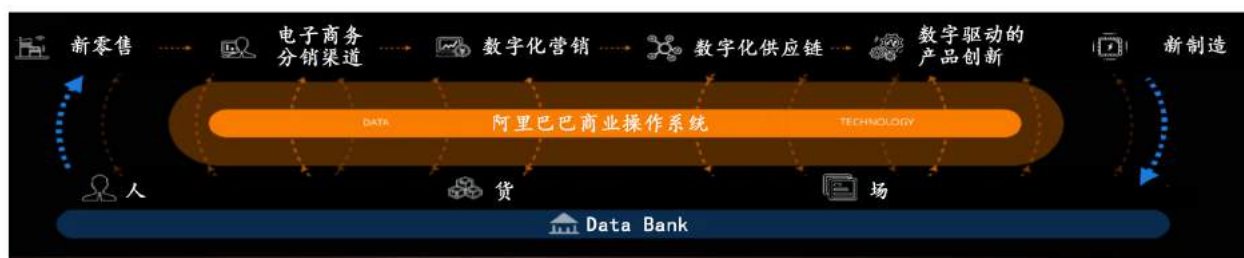
资料来源：阿里研究院，毕马威

同时，制造业在宏观经济中占有极其重要的作用，是立国之本、兴国之器、强国之基，也是衡量一个国家国际竞争力的重要标志。因此，智能制造也可以被视为是以“智能+”为代表的新经济的“基石”，已成为当今世界各国技术创新和经济发展竞争的焦点，主要西方工业国家纷纷确立了以智能制造引领“再工业化”的发展战略。中国正处于发展模式转型升级的关键阶段，推动制造业高质量发展具有尤其重要的意义。制造业和创新科技的深度融合，将有利于推动中国从制造业大国向制造业强国的转变，实现创新发展。

智能制造的中国路径

中国消费端的数字化、智能化程度，已在很多领域领先世界。中国网购人群数量超过6亿，全球第一；移动支付规模、比重，以及快递物流数量（2018年507亿件）也都是全球第一。但中国供给端的数字化水平，整体来看仍然较低，比如：知名品牌缺乏，50%的广告浪费、精准营销能力不足；研发方面新产品开发周期长，消费者反馈滞后，缺乏数据驱动的产品研发；数字化工厂的比例远低于欧美（欧洲46%，美国54%，中国25%）¹⁶。

图 15：阿里巴巴商业操作系统推动数字化能力从消费端向供给端迁移



资料来源：阿里研究院，毕马威

阿里巴巴将过去20年内沉淀的购物、娱乐、本地生活等多元商业场景及相应的数字化能力与云计算等服务充分融合，形成阿里巴巴商业操作系统。它助力企业各环节的数字化转型，实现端到端的全链路数字化。阿里商业操作系统为各类企业所提供的不仅仅是解决局部问题的工具，而是关于数字化转型的系统性、全面性的赋能。基于“数据+算力+算法”的机制，阿里巴巴商业操作系统正在赋能各类企业，使企业的品牌、商品、销售、营销、渠道管理、服务、资金、物流供应链、制造、组织、信息管理系统等11个商业要素实现在线化与数字化。秉承“开放、分享、透明、责任”的发展理念，阿里巴巴商业操作系统，将向社会全方位地开放自身全球领先的技术积累、蓬勃发展的广阔市场、成熟高效的运营经验等。在此进程中，基于“用户第一、保护用户体验”的前提，它将最大程度地降低合作伙伴的尝试成本，降低各类企业的接入成本，从而实现生态化、开放化的多赢格局。阿里巴巴商业操作系统，将积极响应和贯彻落实国家“智能+”的发展战略，与各界合作伙伴一道，为消费端和供给端架起一座数字化能力迁移之桥，探索一条数字化全面转型之路，进而助力经济社会的智能化转型与高质量发展。

¹⁶ “Smart Factories: How can manufacturers realize the potential of digital industrial revolution”, Capgemini, July 2017, https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/smart_factories-how_can_manufacturers_realize_the_potential_of_digital_industrial_revolution.pdf

企业如何推动智能制造转型

据预测，到 2022 年与智能制造相关的技术市场将达到 1,520 亿美元的规模¹⁷。互联网与基于互联网的物联网把整个社会、企业、和企业内部从人到信息到实物网络化连接起来，正在展现当代世界一个全新的格局。就企业而言，如何认识到这个局面的所有层次并积极、有效地参与其中，则并非易事。企业决策层推动智能制造尤其需要关注以下三点：

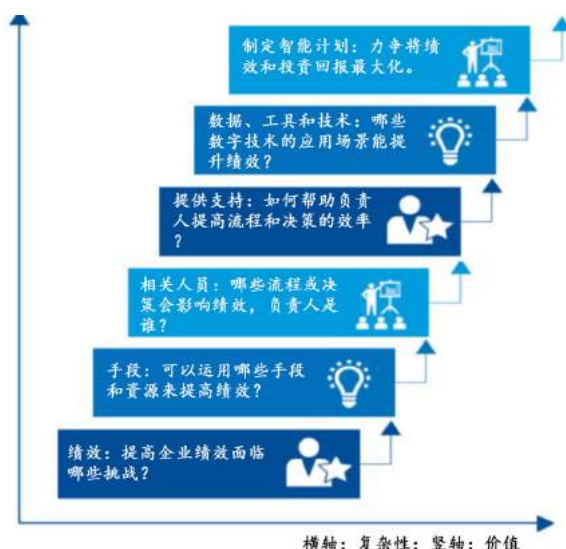
制定大胆而前瞻的战略

制造业智能升级的趋势已经无可阻挡，企业决策层面临着前所未有的挑战。全面而清晰的战略可以帮助决策层打破职能性条块分割（functional silo），实现人才、流程 and 技术的统筹融合，从而成功实现智能升级。战略的制定必须要由公司决策层牵头，贯穿公司各个层级，而不应仅仅停留在生产车间。

以价值为导向

有些企业在推进智能制造时，往往过分关注技术本身，而忽略了其根本目的是为了给企业创造价值。企业在制定智能制造转型战略时应积极调动产业价值链上的各个要素，建立跨部门间的协作（cross-functional team），并基于价值和绩效（value and performance-based approach）来布局智能制造升级。

图 16：绩效主导方法的主要实施步骤



资料来源：阿里研究院，毕马威

¹⁷ 毕马威，“A reality check for today’s C-suite on Industry 4.0”，2018 年 11 月，
<https://home.kpmg/xx/en/home/insights/2018/11/a-reality-check-for-c-suite-leaders-on-industry-4-0.html>

著名车商兰博基尼为 2018 年上市的全球首款超级 SUV 汽车 Urus 所筹建的智能工厂就是一个很好的例子。新工厂首先研究了 Urus 的目标客户市场的需求和喜好，然后在此基础上制定了一份全面的智能制造战略，将工厂、技术和流程融合在了一起。

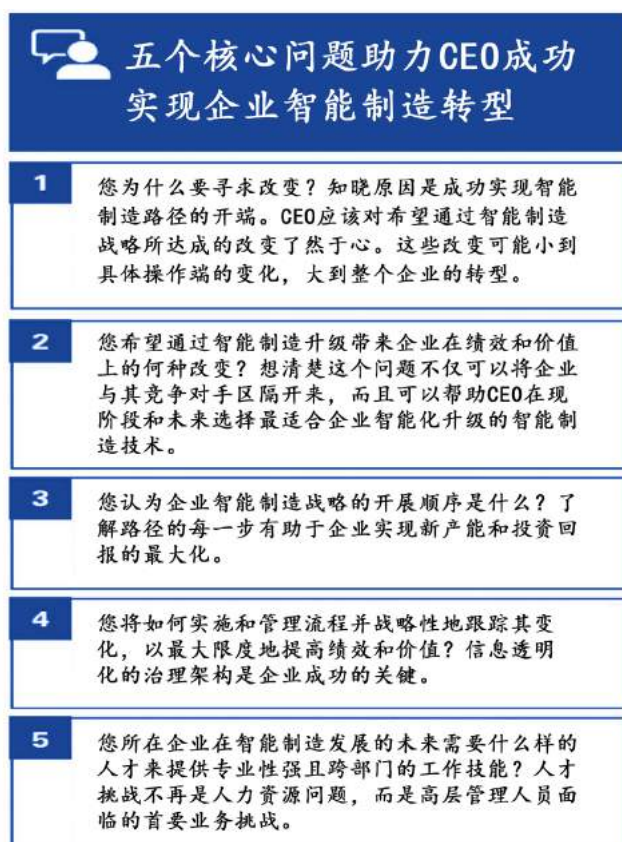
通过实现机器人、设备和技术工人间的无缝合作，工厂将虚拟世界和动态生产融合到了一起。每辆汽车都在自动导航车 (AGVs) 的引导下到达为其指定的工作岛。生产车间的每个角落都能实现即时的电子监测、数据收集和上传，工人既能在车间现场操控，也能用平板电脑实现远程工作。

智能工厂的成功充分证明了以价值为导向对于成功实现智能升级的重要性。

转变公司管理和组织模式

吸引和发展“智能型”人才。未来的公司治理将要求管理层有能力管理好“数字化”员工并处理好他们与人工智能技术间的微妙关系。除了有竞争力的薪酬外，企业还应从投资员工智能教育计划和明确自身在未来的智能化生态系统中的定位等方面来吸引和培养人才。

图 17：五个核心问题助力 CEO 成功实现企业智能制造转型



资料来源：阿里研究院，毕马威

指导委员会、作者及致谢

指导委员会

陶匡淳 毕马威中国及亚太区主席
刘逸明 毕马威阿里巴巴全球业务主管合伙人
高红冰 阿里巴巴集团副总裁、阿里研究院院长

作者

康 勇 毕马威中国首席经济学家
王 薇 毕马威中国研究经理
孟 璐 毕马威中国市场部经理
郑亚男 毕马威中国研究员

晓 坪 阿里研究院副院长
宋 斐 阿里研究院资深专家
程 欣 阿里研究院高级专家

致谢

吴国强 毕马威中国业务发展主管合伙人
Norbert Meyring 毕马威中国工业制造行业主管合伙人
吴剑林 毕马威中国信息与科技行业主管合伙人
张龙华 毕马威中国咨询服务合伙人
于凤友 毕马威中国技术赋能合伙人
金国华 毕马威中国技术赋能经理
秦 磊 菜鸟网络智慧物流研究中心主任
李双宏 阿里云研究中心高级战略运营专家
王 岳 阿里云研究中心高级战略专家
崔 昊 阿里云研究中心高级战略专家
潘永花 蚂蚁金服全球技术合作与发展部战略总监
卓明明 卡特彼勒（中国）数字业务成长经理
中信集团品牌办公室及中信云网创新业务团队

关于毕马威中国

毕马威在中国内地、香港和澳门营运的成员所及关联机构统称为“毕马威中国”。

毕马威中国在十九个城市设有二十一个办事机构，合伙人及员工约 12,000 名，分布在北京、长沙、成都、重庆、佛山、福州、广州、杭州、南京、青岛、上海、沈阳、深圳、天津、武汉、厦门、西安、香港特别行政区和澳门特别行政区。在这些办事机构紧密合作下，毕马威中国能够高效和迅速地调动各方面的资源，为客户提供高质量的服务。

毕马威是一个由专业服务成员所组成的全球网络。成员所遍布全球 153 个国家和地区，拥有专业人员 207,000 名，提供审计、税务和咨询等专业服务。毕马威独立成员所网络中的成员与瑞士实体——毕马威国际合作组织（“毕马威国际”）相关联。毕马威各成员所在法律上均属独立及分设的法人。

1992 年，毕马威在中国内地成为首家获准合资开业的国际会计师事务所。2012 年 8 月 1 日，毕马威成为四大会计师事务所之中首家从中外合作制转为特殊普通合伙的事务所。毕马威香港的成立更早在 1945 年。率先打入市场的先机以及对质量的不懈追求，使我们积累了丰富的行业经验，中国多家知名企业长期聘请毕马威提供广泛领域的专业服务（包括审计、税务和咨询），也反映了毕马威的领导地位。

关于阿里研究院

研究院成立于 2007 年 4 月，依托并深深扎根于全球最大、最具活力的商业生态系统——由电子商务、电商物流、云计算与大数据、大文娱等构成的阿里巴巴商业生态圈。秉承开放、分享的互联网精神，面向研究者和智库机构，通过数据、技术、案例、理念的分享，成为新商业、新经济与新治理领域的智库平台。

研究范围包括：微观层面的消费者洞察、企业数字化转型、模式创新（如 C2B 模式、未来组织模式）研究等、中观层面的产业互联网化研究（如供应链、电商物流、农村电商等）、宏观层面的新经济与传统经济的互动研究（如互联网与就业、消费、进出口等）、互联网治理研究（如网规、电商立法）和未来研究（如数字经济）等。



如需获取毕马威中国各办公室信息，请扫描二维码或登陆我们的网站：
<https://home.kpmg.com/cn/en/home/about/offices.html>

本刊物所载资料仅供一般参考用，并非针对任何个人或团体的个别情况而提供。虽然本所已致力提供准确和及时的数据，但本所不能保证这些数据在阁下收取本刊物时或日后仍然准确。任何人士不应在没有详细考虑相关的情况及获取适当的专业意见下依据本刊物所载资料行事。

© 2019 毕马威华振会计师事务所（特殊普通合伙）、毕马威企业咨询（中国）有限公司及毕马威会计师事务所，均是与瑞士实体——毕马威国际合作组织（“毕马威国际”）相关联的独立成员所网络中的成员。毕马威华振会计师事务所（特殊普通合伙）为一所中国合伙制会计师事务所；毕马威企业咨询（中国）有限公司为一所中国外商独资企业；毕马威会计师事务所为一所香港合作制事务所。版权所有，不得转载。在中国印刷。

毕马威的名称和标识均属于毕马威国际的商标或注册商标。

二零一九年四月印刷

