

智能制造与管理创新

陈方若^①

【摘要】生产力的发展可以分为“体力”和“脑力”两个维度。与前几次工业革命不同，第四次工业革命的核心技术，即数字技术和人工智能技术（数智技术），将极大地提高社会“脑力”（治理或管理能力）。基于大量的企业调研，本文试图展示企业是如何通过数智技术的开发和应用来提高管理水平、改善经营效益的。我们发现，许多经典的管理理念并没有发生变化，变的是实现这些理念的手段。数字化转型的本质是管理创新，数智技术让企业更好地发现问题、解决问题，而一些头部企业已经开始迈向“无忧运营”，把问题消灭在萌芽之中。在第四次工业革命的浪潮中，我们将看到史无前例的社会“脑力”大提升。

关键词：生产力二元论；数字化转型；管理创新；科学管理；智能制造

一、缘起

商学是一门实践性很强的学科，商学院的创立就是要为企业培养专业管理人才。在全球商学院一百多年的历史中，这个初心被维持了几十年。自 20 世纪七八十年代开始，我们注意到了一个人担忧的趋势，那就是理论与实践若即若离，甚至有渐行渐远的危险。为了回归商学本源，各地商学院都在尝试不同的变革思路，希望理论与实践可以常态化地、紧密地结合在一起。

上海交大安泰经管学院于 2018 年提出了“纵横交错，知行合一”的发展战略，旨在构建学术研究与行业研究纵横交错、相辅相成的新商学生态。行业研究成为连接理论与实践的一座桥梁。上海交通大学行业研究院（以下简称“行研院”）应运而生，为师生搭建了一个通往行业实践的研究平台。过去的五年多时间里，行研院每年组建三十多支研究团队，研究领域覆盖大健康、金融、能源、制造、服务、物流、文创等关乎国计民生的重大行业板块，在服务社会、政府、企业、教学与科研等方面作出了积极的贡献。

【作者简介】

陈方若 上海交通大学安泰经济与管理学院院长、行业研究院院长、中银科技金融学院院长、深圳研究院院长、21 世纪跨国企业战略研究院院长。研究方向为运营管理、供应链管理等。

二、聚焦智造

2018 年，世界经济论坛偕同麦肯锡创造性地提出了“灯塔工厂”的概念，希望从可持续发展、生产能力、敏捷属性、市场响应、定制化等维度，评选出全球最优秀的制造企业。在 2023 年初，全球共有 132 家“灯塔工厂”，中国有 50 家。到 2023 年年末，全球增加了 21 家，中国多了 12 家。

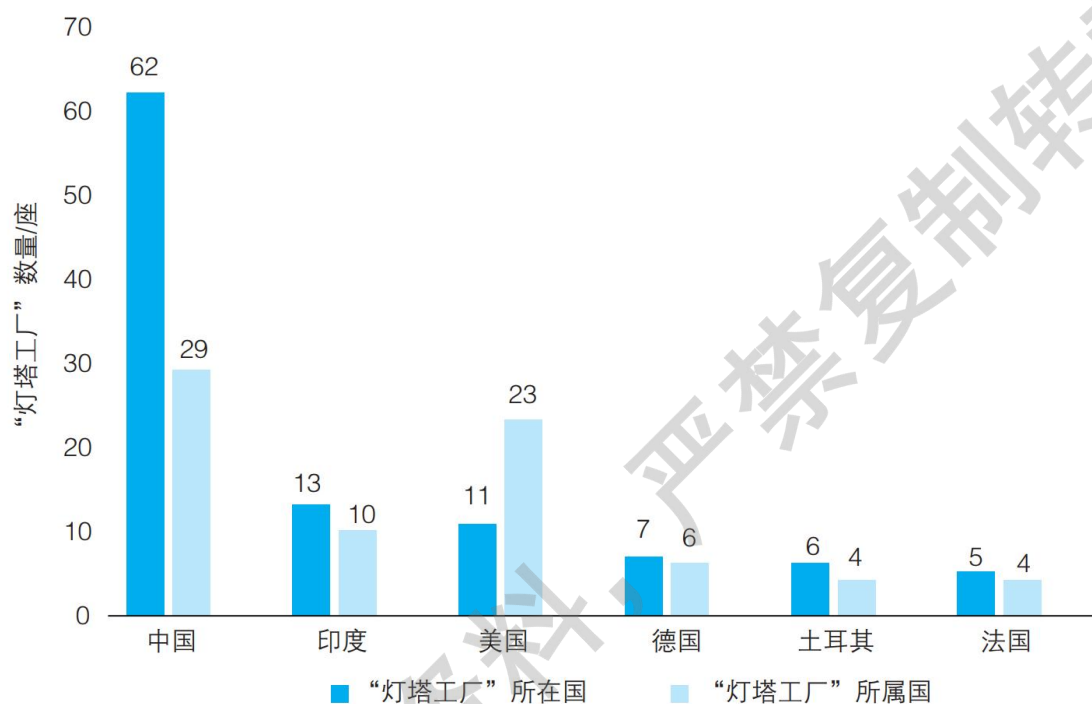


图 1 “灯塔工厂”所在国和所属国分布

我们对全球 153 家“灯塔工厂”做了一个“所在国与所属国”分析（见图 1），发现了一个有趣的现象。不论是“所在”还是“所属”，中国的“灯塔工厂”数量都是排在世界第一的。这说明中国有非常适合“灯塔工厂”的“土壤”。这可能有几个方面的原因。首先，中国是一个大市场，大市场支撑大规模生产，而规模带来的一个效果就是更容易把事情做到极致。其次，中国有后发优势，我们受益于前人的经验，再加上中国人的好学和创新精神，所以企业得以迅速地成长，甚至成为行业的领头羊。再次，齐备的产业生态也有利于企业的发展。最后，中国的文化因素，新一代员工的特点，特别是他们对现代数字技术的接受程度等，都起到了一定的推动作用。

2023 年初，我们制订了一个行业研究计划，希望在一年之内走遍中国的所有“灯塔工厂”。但最终我们只调研了 30 家智能制造标杆企业，其中 22 家为“灯塔工厂”。每次调研的队伍都不小，除了安泰经管学院的十余位老师以外，还有行研院的小伙伴们和对智造感兴趣的校友

们，有时也有业界专家同行。整个调研前后历时 10 个月，跨越江苏、山东、安徽、四川、湖南、广东、上海六省一市的 12 座城市，覆盖装备制造、家电、汽车、快消品等行业领域。

本文是过去一年半企业调研沉淀下来的一些想法，其中不少得益于和团队成员的讨论，在此向他们表示感谢，也感谢热情接待我们、耐心回答问题的企业朋友们。

三、国家战略

制造业对一个国家来说，是至关重要的。这可以从几个方面去理解。一是从就业的角度来看，就业率是衡量一个国家经济发展和社会状态的重要指标。制造型企业通常都需要很多的人力，特别是那些劳动密集型企业。在人工智能、自动化大面积取代人力之前，制造业还是创造就业的重要手段。二是从可持续发展的角度来看，因为制造业消耗了大量的资源，包括材料、能源等，所以制造业的先进水平决定了一个国家在可持续发展的道路上走了多远，而制造业对环境的影响直接关系到人民的生命健康。三是制造业是国家竞争力的重要来源。如果一个国家的产品能销往世界各地，受到各国人民的欢迎，那么这个国家在国际上的竞争力就很强，这不仅会提升经济实力，还会提升关乎国家形象和地位的软实力。因此，世界各国都不敢在制造业的发展上有任何的懈怠。

在过去的十几年里，各国政府纷纷出台政策，以此推动制造业的发展。这些举措的背后有一些深层次的原因，总体可以分为两类：危机感和机遇感。在经济全球化的进程中，世界经济格局在不断变化，而一个变化的主线就是制造业从发达国家向发展中国家迁移，主要是因为发展中国家丰富的劳动力和产业资源。结果是许多发达国家的经济呈现“去工业化”的趋势，工业产值连年下降，工业就业人口持续减少。2008 年席卷全球的金融危机更加凸显了实体经济的重要性。吸取惨痛教训之余，各国开始调整虚拟经济与实体经济之间的平衡，也因此把更多的目光转移到了制造业。以上这些因素汇集在一起，产生了一种强烈的危机感，促使美国和欧洲一些国家把发展制造业上升为国家战略，从而掀起了一个“再工业化”的浪潮。另外，各国对制造业的重视，也有国际竞争的原因。各制造大国竞相争夺先进制造业高地，从而引领全球制造业的发展。当下正是制造业发展的一个重要机遇期，因为新一代数智技术和制造业的深度融合将为制造业的发展带来无限的可能。20 世纪末，美国推行的制造业信息化、先进制造技术的研发和应用，2012 年通用电气提出的“工业互联网”概念，2013 年德国在汉诺威工博会上正式推出的“工业 4.0”战略，都是希望通过信息技术、智能技术与制造业的深度融合来发展制造业，实现智能制造。总之，智能制造已经成为制造大国必争之地，

这里既有危机感的驱使，也有抢抓机遇的前瞻性布局。

智能制造的核心内容就是把现代数智技术与制造业进行深度融合，为企业创造价值，提高企业竞争力。现代数智技术有许多，包括所有的信息技术（采集和传输）、分析技术、决策技术、执行技术等。数智技术在制造业的广泛应用将会为企业带来无限的可能，缩短产品研发周期、降低成本、提高效率、提升质量、减少资源消耗、探索新商业模式等。智能制造的发展之路通常会经过几个阶段。首先是数智技术在工厂的应用，可能是在一个工位、一个车间，或一条产线，再延伸到价值链的上下游，如产品研发、销售、物流、售后服务等。随后是向供应链的上下游延伸，更好地连接合作伙伴，增强供应链的信息透明度和决策协同度。智能制造发展的最高阶段是产业生态的智能化，即通过现代数智技术打造一个健康又充满活力的产业生态，不断地自我诊断、自我修复、自我迭代。另外，在每一个发展阶段，都有不同的智能制造发展等级，有数字化、自动化、网络化、智能化，以及终极目标的“无忧化”，即对问题的前瞻预测与提前解决。

四、生产力二元论

生产力的发展可以归结为两个方面的进步，即“体力”和“脑力”的进步（见图2）。就像一个人的能力由其“体力”（physical power）和“脑力”（brain power）决定一样，人类社会的生产力水平也要看社会的“体力”和“脑力”水平，如我们使用的工具和设备代表着我们社会的“体力”水平，它们是“手”和“脚”的延伸，是社会的“硬件”，一般来源于技术的进步，代表着科学家和工程师的贡献，而社会的“脑力”则体现在一个社会做事的方式上，是社会的“软件”，它代表着我们的决策水平，决定了我们是巧干还是蛮干，决定了社会的效率和文明程度。其实，社会“脑力”就是管理或治理水平，它的进步需要我们对现有的制度、体系、方法进行不断的创新和完善，而这需要管理实践者与管理学者来共同推动。当然社会“脑力”也可能受益于社会“体力”，即技术的进步。

上述由“体力”和“脑力”构成的生产力二元论有助于我们厘清人类生产力的发展历程。纵观人类历史，生产力的发展都是沿着“体力”和“脑力”这两个维度展开的。第一次工业革命的蒸汽机和第二次工业革命的电力把人类社会推向了机械时代和电器时代，社会“体力”得到了极大的提升。但是我们不能忽略，伴随着这两次工业革命，社会“脑力”也有了极大的进步。如福特的流水线和斯隆的事业部制管理方法，这些划时代的管理创新大大提高了生产效率，创造了价值，造福了人民。第三次工业革命的计算机和互联网把人类社会带进了信息时代，

而这些技术变革同时也推动了社会“体力”和社会“脑力”的发展，因为计算机使得设备更加灵活、生产线更加柔性，同时计算机技术又为我们带来了一系列的工业软件，大大提高了管理效能，增强了社会“脑力”。有趣的是，几乎和第三次工业革命平行进行的是另外一场深刻的管理变革，那就是“丰田生产系统（Toyotaproductionsystem，TPS）”的提出，后来被总结为“精益生产系统（leanproductionsystem，LPS）”。这个博大精深的管理体系迅速在全球传播开来，改变了世界，极大地减少了浪费，提高了效率，这是社会“脑力”的又一次巨大进步。我们注意到，精益思想的提出和计算机/互联网技术关系并不大，它是几代丰田管理者在实践中不断摸索总结出来的，为推动人类生产力的发展作出了重要贡献。最后，第四次工业革命的主线当然是人们经常谈论的智能时代。顾名思义，这将是社会“脑力”的一次大爆发，新一代数字技术和人工智能将直接赋能社会“脑力”，极大地提升管理水平，提高资源利用的效率。在我们的智能制造企业调研中，这样的案例屡见不鲜。

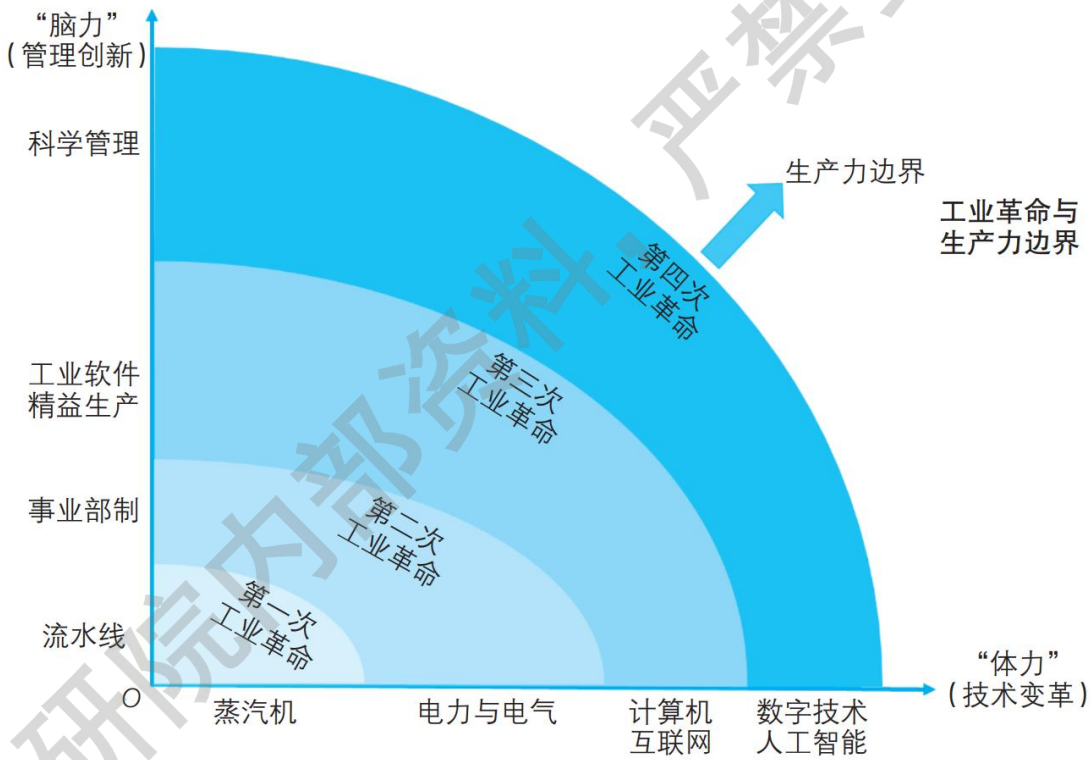


图2 生产力发展的两个维度

总之，每一次工业革命都是从一个核心技术开始，进而引发广泛的社会变革，并以此迅速提升人类的生产力。虽然生产力的提升通常都包括“体力”和“脑力”这两个维度，但遗憾的是，关于工业革命的讨论通常都只关注前者，而忽视了后者，即强调技术对社会“体力”的赋能（硬件），而不太重视社会“脑力”的作用（软件）。这就第一、二次工业革命而言，可能是无可厚非的，因为蒸汽机和电力没有直接影响到社会“脑力”的发展，虽然社会“脑力”也在

不断地进步（如福特和斯隆的管理创新）。但就第三、四次工业革命来说，情况就截然不同了，因为这两次工业革命的核心技术，即计算机、互联网、物联网、大数据、人工智能等，已经直接赋能社会“脑力”。可以说，社会“脑力”的进步已经成为第三、四次工业革命的主旋律，在生产力的发展中起着决定性作用。特别值得关注的是，第四次工业革命的核心技术，即人工智能，将创造人类的最大“外脑”，极大地推动社会“脑力”的发展。所以，管理创新将成为第四次工业革命的一个主旋律，而智能制造就是这个主旋律中最响亮的音符。

五、数智技术

对于一个制造型企业而言，其生产力当然也由两部分组成——“体力”和“脑力”。这里，“体力”包括工厂里的设备和工人，设备越多、越先进，工人越多、素质越高，工厂的“体力”就越强大；而“脑力”则是指工厂的生产方式，即如何把人和设备有效地组织起来，以期实现最大的生产力。这就好比我们练习武功，为了提高武术水平，一方面我们不断地锻炼身体，增强体力，另一方面我们学习武林秘籍，拜师学艺，目的是把我们的体力应用好，这是“打法”，是提高脑力。对于工厂，“脑力”就是管理，管理就是“打法”，就是用有限的资源，生产出最多、最好、最廉价的产品或服务。（这里的工厂是广义的，可能生产产品，也可能生产服务，是创造东西的场所。）管理水平越高，工厂的“脑力”就越强大。

通过新一代数智技术的有效应用，企业的管理水平有望得到一次飞跃式的提升，这主要体现在管理的智能化水平上。何谓智能化？简单地说，就是管理系统有类似人的功能，如眼观六路、耳听八方，再对收集到的信息进行动态分析，并以此进行判断、决策，再把决策付诸行动。用管理的术语来说，就是不断地收集信息（设备、产品、员工等），发现、分析和解决问题，最后把管理决策（解决办法）有效地贯彻落实下去。智能化的关键是“动态”，环境在变化，管理决策也要跟着变化，动态调整，随机应变。这与自动化不同，一般情况下，自动化指的是重复劳动，环境不变，也不需要决策或行动进行动态调整。只有足够高阶的自动化才可能称得上是智能化，也就是在各种不确定因素的干扰下，还能自主分析、自行调整，并维持自动化操作。当然，智能化也分高低水平，它取决于每一次决策的优化程度，由算法和算力决定，是一个不断进阶的过程。

新一代数智技术是指那些构成“工厂脑力”的技术，包括数字技术和智能技术。就像人体有六感、神经、大脑一样，“工厂脑力”需要信息采集、传输、分析、决策、执行等功能，而提供这些功能的技术就是数智技术，如传感器、高频摄像、互联网、物联网、云计算、数据中心、工业软件、人工智能等。数智技术可以分为以下四类（见表1）。

表1 数智技术分类

智能系统	硬件/软件	成本范围	供应商代表
感知系统 (物理层-数据采集)	硬件: 扫码枪/机械手/PDA/能耗采集器/RFID电子标签/光电感应 硬件+软件: PLC/图像语言识别	计数类数据采集成本约50万元/产线 ^① 图像类采集约100万元/产线(高速相机+工控机)	国内: 海通/海神/中鼎/优博讯/斑马/海康 国外: 三菱/西门子/欧姆龙/ABB
信息传输 (连接层-网络通信)	网络硬件 WiFi/云服务器	按照10万平方米厂区,WiFi 6配置 硬件CapEx: 约100万元	国内: 浪潮/电信/联通/移动/华为/新华三
决策系统 (数据层-数据分析)	软件 商务智能/数字孪生/数据中台	10万~200万元不等	国内: 帆软/浪潮 国外: SAP/IBM
执行系统 (服务层-运营管理)	软件 顶层计划组: ERP/MOM/APS 工业执行: MES/WMS 管理子系统: OA/PRM/CRM/SRM	ERP: 50万~2000万元不等 ^② MES: 200万~2000万元不等 WMS: 5万~200万元不等 OA: 5万~50万元不等 CRM: 5万~500万元不等 SRM: 5万~800万元不等	国内: 浪潮/金蝶/用友/鼎捷/诺力/天准/富勒/泛微 国外: SAP/西门子/Rockwell/施耐德/霍尼韦尔

注: ① 按照每个产线100个站点高速自动线进行计算。

② 标的金额的差异取决于供应商的选择、客户端厂区实体的个数和管理层级的深度。

感知系统:通过采集、处理和理解生产过程中涉及的物理量(光学、位置、质量、速度、压力等)与化学量(湿度、酸碱度、离子浓度、电化学气体等)信息,为制造系统提供实时的数据和反馈,及时发现和解决问题,提高生产效率和品质。

信息传输:依赖于工业以太网、现场总线、无线通信等通信技术,实现设备、传感器和控制器之间的实时高效信息传输,达到协调工作的目的。智能制造系统还需要与外部系统进行信息传输,如企业资源计划(ERP)系统、供应链管理(SCM)系统等,实现生产计划、物料采购、库存管理等业务的自动化管理。

决策系统:利用先进的求解技术,对生产/物流/销售过程中的各种数据和信息进行分析,以做出最优的决策。一个优良的决策系统可以帮助企业降低成本,提高效率,改善产品质量,更好地服务市场,最后达到增强企业竞争力的目的。

执行系统:是一种用于实时监控、即时协调和及时管理制造过程的软件系统。该系统与生产现场和配套支持密切相关,主要功能包括物料配送、生产调度、设备管理、质量控制及工艺流程管理等。执行系统通过相应的工业软件、控制系统和硬件设备精确地执行决策,实现对生产过程感知、传输、决策、执行的闭环控制。

如表1所示,数智技术的成本不低,百万级的投入通常只是一个基础门槛。因此,企业需要以具体问题为导向,认真分析投入产出,切不可为了智能化而智能化。

六、管理创新

数字化转型是一个十分广义的概念，泛指企业或任何组织通过现代数字技术的应用，来达到降本增效、转型升级的目的。每一个企业都有各自的转型之路，需要结合实际，把技术和业务深度融合起来，获得管理经营的改善。数字化转型的基础是数字生态的打造，然后在这个生态基础之上，去不断寻找为企业创造价值的机会点，从小生态到大生态，从自动化到智能化，逐级发展。

数字化转型的本质是管理创新。数智技术可以赋能企业的地方有很多，小到设备的维护、工艺的改进，大到流程再造、平台建设、商业模式创新等，但不管怎样，技术带来的变化通常都跟管理有关，都是通过技术的角度，重新审视管理，去发现新的管理办法（包括工作方式）。而管理的本质一直都是发现问题、解决问题，因此数字化转型的关键任务就是充分发挥数智技术的力量，去更好地发现问题、解决问题。

在管理创新的路上，企业必须坚持守正创新，在变与不变之间，找

到正确的方向。在智造企业调研中，我们不断地发现，许多核心的管理理念并没有变，变的是这些理念落地的方法。精益生产就是这样一个不变的理念，许多标杆企业都把它作为数字化转型的起点。

20 世纪七八十年代，日本丰田汽车提出的“丰田生产系统”，后被总结为“精益生产系统”，是一个非常完整的管理体系，从目标到办法，再到制度和企业文化等，各个方面都有详细的阐述。我认为精益生产真正抓住了管理的本质。例如，它对“浪费”的认识就十分深刻、系统，如一位员工的流程改进想法没有及时得到重视和实施，这就是一种浪费；再如供需没有做到完美匹配，这也是一种浪费，它的一个主要表现形式就是库存，这是准时生产（justintime, JIT）背后的核心思想等。精益生产把所有浪费看成是“头号敌人”，而这些浪费背后的问题都必须各个击破。精益生产也十分重视问题的及时发现，如“安灯”就是一种让任何问题没有藏身之地的装置，一旦问题出现，立即把信息传递给相关人员，便于其及时采取行动，任何的拖延都是浪费。当然，精益生产也为问题的解决提供了许多工作机制甚至是文化上的安排，如“人人都是科学家”“持续追问五个问题”“问题攻关小组”“终身聘用关系”等。可以说，精益生产就是做好“问题”“发现”“解决”这三篇大文章。

20 世纪七八十年代日本的崛起，在很大程度上是因为日本制造业的崛起，而日制产品特别是电器和汽车，之所以价廉物美，这里面有“丰田生产系统”或精益生产理

念很大的功劳。这是一次巨大的管理创新，它极大地增强了“企业脑力”，为生产力的提

升注入了一股强劲的力量。在那个年代访问过丰田工厂的人们都记得，其实工厂里的硬件设备都是非常普通的，甚至是简陋的，而这样的条件却能输出如此强大的生产力，其原因就是管理“脑力”。这是生产力二元论的又一有力印证，“体力”和“脑力”缺一不可，它们都是生产力发展的重要源泉。

在当下的数智时代，管理的本质并没有发生变化，还是发现问题、解决问题，只是我们发现问题的手段越来越先进了，解决问题的能力越来越强了，因此，我们能够解决的问题也就越来越多样了。

（一）发现问题的手段越来越先进

人发现问题的手段可谓高明，我们有六感，即视觉、听觉、触觉、味觉、嗅觉、直觉，以此收集八方信息，再通过神经网络，把信息传递到大脑。当然，人类的感知系统有很大的局限性，我们能够感知到的只是世界的很小一部分，还有一个巨大的未知空间。但这些缺憾正在被现代数字技术所弥补，我们可以把各类传感器安装在平常很难触及的地方，通过它们来捕捉温度、湿度、震动、图像、声音、语言等信息，而互联网则起到了神经网络的作用，把从千里之外收集到的信息传递到数据/监测/决策中心。总之，现代数字技术极大地提高了人类的感知力，也因此增强了我们发现问题的能力。在“灯塔工厂”调研中，我们看到许许多多感知技术的应用。

1. 博世无锡工厂

中国是博世全球最大的单体市场，占全球销售额的 20% 左右。博世目前在中国共建有 34 个生产基地、26 个技术中心，汽车与智能交通是最重要的业务板块，占总份额的 60%。中国全年生产大约 2300 万辆汽车，其中电动车有约 600 万辆，几乎所有车辆中都有博世生产的元器件。

博世无锡工厂成立于 1999 年，于 2021 年获评“灯塔工厂”，主要生产共轨喷油器和废气后处理系统组件等产品。在博世无锡工厂，我们看到了机器视觉技术在产品质量检测中的应用。通过微米级的连续拍照和高精度的人工智能判断，把零件照片与标准件照片进行对比，实时开展智能化诊断，解决了以往肉眼目测的疲劳和不精确问题，并且将原本生产后的批量化抽检，提前至生产过程中的 100% 实时监测。在博世无锡工厂，我们还看到一个有趣的机器视觉应用，即所谓的“智纹保”防伪标签。由于钢制器件在研磨抛光过程中都会产生一些随机性纹路，而这个“天然指纹”可以被机器视觉技术拍摄并记录下来，再结合系统自动生成的加密二维码，一个“智能指纹”便生成了。比起传统的防伪系统，“智能指纹”具有低成本、高门槛、可鉴别、可追溯的优势。

2.成都富士康

成都富士康于 2010 年 10 月建成投产，是一个以大型平板电脑、光电显示制造为主营业务的电子信息产业基地，同时也涉及软件开发、精密模具生产、现代物流等业务。公司于 2021 年 3 月获评“灯塔工厂”。2022 年，员工数量为 12.5 万人。

成都富士康为员工打造了一个线上健康管理平台，把感知技术应用于健康管理中，提高了发现员工健康问题的效率。他们利用自主研发的检测设备“小域精灵”来检测心率、血氧、尿酸等 8 个指标，再通过大数据分析等技术，为员工提供个性化的健康建议和预防措施。生理和心理健康有助于员工有效应对工作压力，有利于发挥员工的积极性与创造力。所有这些既维护了生产的效率与稳定，降低了安全风险，也体现了企业的社会责任。

（二）解决问题的能力越来越强

从企业管理的角度来看，我们解决问题的能力主要表现在两个方面，问题的复杂度和决策优化的程度，复杂度和优化程度越高，能力就越强。在数智技术的推动下，企业可以解决越来越复杂的问题，而且可以把问题解决得越来越到位，即解决方案可以做到越来越接近最优解。这主要是因为算力和算法的飞速发展，如高端芯片、计算中心、求解器、软件系统等不断迭代和完善。我们可以把这里的算力理解为“体力”，把算法理解为“脑力”，两者的进步使得我们可以快速地分析、处理海量的数据，并在巨大的变量空间中找到最优或接近最优的答案。当然，所有这些的前提是数据，只有有了大量可用的数据之后，我们才可能建立有效的模型，并以此去开发算法，才可能实现管理决策的最优化，亦即科学管理。

1.博世长沙工厂

博世长沙工厂是博世在中国中部地区成立的第一家工厂，于 2004 年投产。它是继博世无锡工厂、博世苏州工厂之后，博世在中国的第三家“灯塔工厂”（2022 年），其主营业务领域包括汽车电子驱动和起动机/发电机。

在博世长沙工厂，我们看到一个全厂范围的生产能源管理系统。该系统的目标是在保生产、保订单的前提下，尽量减少能耗。该厂有 100 多条产线，每天面临上百种客户需求，因此排产的难度可想而知，再加上减少能耗的目标，问题就更加复杂了。为此，工厂研发了一个生产能耗预测模型，结合多项业务数据（客户需求和设备能耗信息等）与环境数据（天气状况和温、湿度等），滚动给出未来 7 天内产线级的生产排产及其能源预测（误差低于 3.2%）。与此同时，该系统还能提供优化的停机管理和精确的能耗异常监测，让节能减排深入生产制造的各个环节，如在新设备能耗比较低且空闲时，对其进行优先使用。这套管理办法为企业从容应对复杂的能源环境，如夏季突发限电等，作出了积极贡献。

2. 青岛啤酒

青岛啤酒披露年报显示，2022 年，青岛啤酒实现营收 321.72 亿元，啤酒产量达 782 万千升。每年生产 300 多个品种。2021 年 3 月，青岛啤酒获评“灯塔工厂”。2022 年，研发投入为 6295.5 万元。公司研发人员数量占公司总人数的 2.37%。

在青岛啤酒，我们看到了数字技术在产品研发中的应用。啤酒中的各种风味物质成分数量是很高的，有 500 多种（白酒只有 200 种），不同的配比带来不同的口味。可想而知，通过不同的配比可以设计出无穷无尽的不同口味的啤酒。为了更好地服务消费者的个性化需求，青岛啤酒通过风味图谱解码技术，实现了口味、风味物质、工艺技术的数字化。例如，消费者口味指数包括醇酯比、麦香、酒花香、果香、花香等；产品典型风味物质包括醇类、酯类、有机酸类物质等；工艺技术方面，包括酵母菌种、原料标准、配方标准及发酵工艺标准等。数字化驱动的风味图谱解码技术让青岛啤酒的研发效率提高了 3 倍，口味更加精准，可以快速满足消费者个性化需求，实现市场引领。

（三）能够解决的问题越来越多样

数智技术增强了我们发现问题、解决问题的能力，也因此使得我们所能解决的问题变得越来越多样。以前我们解决的问题通常都是已经出现的问题，现在我们可能在问题还没有发生之前就把它消灭在萌芽之中。众所周知，任何问题其实都有一个发展、成熟的过程。在工厂调研中，我们看到一些企业已经开始着手解决那些“不成熟的问题”，换句话说，管理已经走到了“问题链”的上游，去消除问题的根源，去改变问题发展的轨迹，这就好比中医说的“治未病”。由于技术的赋能，我们还可以在更大的范围内去解决管理问题，或者去解决一些更加深层次的管理问题，例如供应链上下游的协同问题、基于产业生态系统的风险管理问题、组织变革、组织文化、考核激励系统等。在企业调研中，我们发现管理的覆盖面越来越大，管理者正在着手解决一些问题的“新物种”，从而进一步在降本、增效、提质方面为企业创造价值。

1. 博世长沙工厂

在博世长沙工厂，我们看到了一个典型的“治未病”案例，即设备的预测性维护。工厂 90% 的生产线实现了互联，智能传感器、可视化装置实时捕捉振动、扭矩、电压和电流等一系列过程参数，能毫秒级别了解设备的动态。在这个数字生态的基础之上，数据团队使用深度学习算法，建立数据模型，并通过自我学习和训练来不断强化模型。该系统可以自动监测设备的异常及其原因，对设备 24 小时内的健康情况进行预测，并给出预警，帮助维修和生产人员提前准备和快速响应，减少了紧急维修工单的产生，保障了生产的稳定性。

2.美的集团

美的集团现有九大事业部：家用空调、厨房电器、洗衣机、冰箱、中央空调、生活电器、热水器、环境电器、部品。公司过去五年研发投入近 500 亿元，拥有约 200 家子公司、35 个研发中心和 35 个主要生产基地，业务覆盖 200 多个国家和地区，每年为全球超过 4 亿用户提供产品和服务。截至 2024 年 8 月，美的旗下共有 5 家“灯塔工厂”，这在全球都是名列前茅的。它们分别是美的家用空调广州工厂、微波炉顺德工厂、洗衣机合肥工厂、冰箱荆州工厂、美的厨热顺德工厂。

我们走访了美的集团在合肥和顺德的 3 家“灯塔工厂”。传统的分销渠道都是由许许多多的供需节点组成的，如分销商、代理商、零售商等。每个节点都扮演着一个供需平衡的角色，补货量不能太多，也不能太少，太多了会造成库存积压，太少了会造成缺货和顾客满意度下降。所有节点的经营管理水平决定了整个供应链的效率和成本。供应链管理最大的挑战就是信息不透明和决策不协调，因为每一个节点都是一个独立的商业主体，有各自的信息系统、决策机制和决策目标，互不相通、互不兼容。信息流的不畅通造成了决策困难，各自的商业利益也可能引发上下游矛盾，不利于供应链整体效率的提升。在这方面，美的的“一盘货”实践取得了良好的效果。所谓“一盘货”，就是对传统分销渠道进行了“去中介化”改革，把“货权”和“销权”分离开来，代理商和分销商只有“销权”，而“货权”则收回到集团，库存集中在集团的中心仓，并由中心仓来完成配送，实现全渠道“一盘货”统筹。这样的改革有效解决了前述的信息不透明和决策不协同的问题，因为集团和各个供应链节点的连接更加紧密了，能更好地掌握每个节点的信息，并以此来优化全系统的配送决策。并且，库存的集中管理可以在不增加库存总量的前提下，有效降低供需不匹配的风险，提高资源的利用率。最后，因为有了全渠道联网，美的可以更加全面地捕捉市场信息，更加精准地预测需求，而这对改善生产计划是很有帮助的。

这个案例说明，有了新一代数智技术，企业可以考虑解决一些“端到端”的问题，进一步挖掘管理的潜力，这在以前是很难做到的。

3.酷特智能

酷特智能是山东青岛的一家智能制造企业，有以生产西装、衬衣和西裤为主的 3 个专业工厂，在大规模个性化定制领域做了许多有益的探索。旗下“酷特云蓝”是一个全球个性化定制服装品牌，而“红领”则是中国驰名商标。2021 年，酷特智能入选商务部第一批全国供应链创新与应用示范企业名单。

众所周知，标准化产品的大规模生产是历次工业革命的一条主线，其中最著名的案例应

该是一百多年前的福特汽车生产线。因为生产的是标准化产品，生产方式可以高度专业化，所有的设备和工序都是为了一个特定的制造目标而设计的，因此效率很高。但这种模式最大的弊端就是供需无法做到完美的匹配，所以就有了“顾客要的东西，没有；而有的东西，却没人要”的尴尬局面。解决这个问题的办法是定制化生产，顾客先下单，体现顾客的个性化需求，工厂再接单生产。在服装领域，酷特智能做到了定制化生产，而且是流水线式的大规模定制。为此，酷特智能打造了一个从消费者到生产者（customerto-manufacturer, C2M）平台，把生产商、供应商、服务商连接起来，实现了合作方之间的信息实时共享。顾客可以通过 App 端口，采集衣服尺寸，再做其他的个性化选择。在接到一个个性化订单之后，系统立即生成一个相应的生产计划，包括一系列具体的工作任务，再把任务信息直接传递到产线的每一个工位，员工只要按照屏幕上的指示进行生产即可。当然，如果该订单同时引发了一个采购需求，那么相应的采购指令也会同步发送到供应商那里。因此，C2M 平台建立起了一个高度连接的产业生态，以顾客需求为原点，并以此来驱动供应链上下游所有的运营活动。由于信息系统的互联互通，酷特智能成功消除了科层结构，打造了一个无边界组织，提高了效率。我们还注意到，在这个生态里，员工不再有“老板”，他们直接听令于信息平台，增强了幸福感，似乎人们不希望有其他人管着他们，但由机器来管，就容易接受。在基层，员工不是没有组织，而是以一种叫作“细胞单元组织”的形式运行。一个“细胞单元”是指一个团队，由具有相似工作能力的员工自发形成，这些员工再推举出一位有一定领导力的同事作为“细胞核”，对组织内的工作进行协调管理。酷特智能，通过数字化转型，重构了公司的组织架构，减少了管理层级，降低了管理成本。他们把节省下来的成本用于补贴员工福利，继而增强员工的获得感、幸福感，形成了良性循环。

通过这个案例，我们看到，因为有了数智技术，企业可以开始攻克一些深层次的管理问题，例如，如何生产、如何组织、如何管人等问题。在这些方面，酷特智能做了许多有意义的探索，他们的经验值得我们借鉴。

七、思考与展望

（一）智能制造的未来发展趋势

制造业是关乎国计民生的大事，在创造财富和提供就业方面发挥着举足轻重的作用，而智能制造则是制造业全面提升的一次大好机会。过去的一年多时间里，我们走访了一些优秀的制造企业，他们是行业实践的模范，为企业数字化转型树立了标杆。虽然数智技术日新月异，令人眼花缭乱，但管理的本质并没有变，还是不断地发现问题、解决问题。管理有多高

明，就看企业发现问题的手段有多先进，解决问题的能力有多强。我们还发现精益生产的理念一点都没有过时，优秀企业都把精益生产理念作为智能制造的基石。当然，数智技术为精益生产插上了翅膀，把一个传统（但不过时）的管理理念推上了一个新的高度。未来，笔者相信企业发现问题的手段会不断进步，解决问题的能力会不断提升，我们所能解决的问题也会越来越多样。例如，数字孪生技术，顾名思义，为我们开辟了一个平行于现实世界的虚拟世界。在这个虚拟世界里，我们可以做各种各样的模拟试验，可以提前看到“未来”，由此我们获得了“治未病”的能力。有了这样的技术，我们有望到达“无忧工厂”，即任何问题都可以被消灭在萌芽之中。再如，数智技术将大大增强我们解决问题的能力，特别是人工智能技术的飞速发展将极大地增强人类的“脑力”，使人类在收集整合信息、数据分析、优化决策等方面都将有飞跃式的发展。总之，现代数智技术的广泛应用将大大提高管理的科学性，而科学管理又将在推动生产力发展中大显身手。

（二）制造业生态建设的重要性

截至 2024 年 8 月，我们走访的企业都是头部企业，但这并不表明我们只需关注金字塔的顶端；相反，笔者认为整个制造业生态的健康发展是绝对重要的，道理很简单，因为没有塔基就没有塔尖。我们经常听到的一个说法是，企业之间的竞争其实就是供应链链条之间的竞争，这说明供应链很重要。或许更好的说法是，企业之间的竞争其实是产业生态之间的竞争。一个企业的竞争力不仅取决于自身的作为，也很大程度上取决于其所在的产业生态是否健康。中国有全球最多的“灯塔工厂”，一个很重要的原因就是改革开放这么多年来我们积累下的产业家底，即优质的产业生态。我们要好好地保护这个生态，并帮助它不断地、健康地成长。在这点上，我们可以从美国的产业生态演变中吸取一点教训。大家知道，20 世纪八九十年代，美国制造业掀起了“外包（outsourcing）”浪潮，把劳动密集型的工厂全都搬到低劳动力成本的国家，特别是中国。这次浪潮严重影响了美国的制造业生态，不仅造成了大面积的失业，而且还引发了后续的诸多政治问题和社会问题，当然也为日后中美的紧张关系埋下了一颗种子。因此，我们的产业政策不能只关注“高精尖”，而是要面向整个生态，保护“物种”的多样性，努力打造一个健康、宽广、生机勃勃的产业生态。制造业是国家竞争力的基石，又是就业大户，因此，健康的制造业生态是实现中国式现代化，特别是人口规模巨大的现代化的重要一步。我们应该群策群力，让智能制造的春风吹遍中国整个制造业生态。

（三）安泰行业研究在路上

智能制造是各制造大国的必争之地，因为它代表着第四次工业革命中最先进的制造技术。许多国家都把制造业的发展作为国家战略，中国当然也不例外。中国是世界制造大国，而智

能制造则是中国制造业从大到强的必由之路。在企业调研中，我们看到一些先进企业已经朝着智能制造的方向阔步前行了，它们通过数智技术的创新应用为企业创造了价值，赢得了竞争力。我们要让数智技术惠及更多的企业，不断地提高它们的竞争力。先进企业的数字化转型经验值得其他企业学习、借鉴。我们非常欣喜地看到，许多头部企业已经在输出自己的成功经验，如联想、美的、博世、酷特智能等。我想商学院也理应在这方面有所作为，这也是我们在安泰开展行业研究的一个初衷。我们的企业调研才刚刚开始。未来，我们将扩大调研范围，密切关注产业生态发展，梳理成功与失败的经验，研究不同类型、不同发展阶段的企业的数字化转型之路，最终希望能够总结形成中国特色的管理理论，一方面服务中国制造企业，另一方面也为全球制造业的发展贡献中国智慧。

【作者介绍】

陈方若，上海交通大学光启讲席教授，现任上海交通大学安泰经济与管理学院院长、行业研究院院长、中银科技金融学院院长、深圳研究院院长、21 世纪跨国企业战略研究院院长，兼任全国 MBA 教育指导委员会副主任委员、AMBA&BGA 国际管理委员会理事。

1985 年毕业于上海交通大学，随后分别在美国宾夕法尼亚大学摩尔工学院和沃顿商学院获得硕士、博士学位。陈方若教授多年来从事运营管理、供应链管理，以及运营与营销交叉学科等领域的研究。在国际著名学术刊物上发表过大量论文，曾在 Management Science, Operations Research 等国际顶级期刊担任领域主编。陈方若教授也曾获美国国家科学基金会 CAREER 奖，是多项中国国家级人才计划项目的获得者。陈方若教授在 2018 年加盟交大安泰之前，曾任美国哥伦比亚大学商学院终身讲席教授。