

平行工业时代：移动智造

文 / 王飞跃 王晓 袁勇 程长建

《工业 4.0》一书的出版使“德国工业 4.0”品牌在中国一夜成名，各媒体均对其进行了深度报道，希望“工业 4.0”的提出能够全面解决当前工业生产中的一切问题。其实，“工业 4.0”是自我实现的“默顿定律”之典型：其命题证明的过程即为命题构造的过程；就科技发展的趋势而言，其愿景必将成为现实。然而，“工业 4.0”一旦实现，必将深深刻上德国的烙印，其他国家便只能扮演其配角或品牌消费者的角色。中国作为一个制造业大国，何不坚持创新自己的理念、技术和体系，提出自己的工业愿景，树立自己的工业品牌？

新一轮制造业革命正在发生

3D 打印、机器人、人工智能、机器学习等技术的普及为制造业的振兴注入了新的活力，信息产业的迅猛发展正在催生新一轮的制造业革命。在德国“工业 4.0”和美国工业互联网的冲击下，中国制造业正在面临整体转型升级的重大历史机遇和挑战。一定程度上，制造业的变革就是利用网络世界无限的信息和智力资源，突破物理世界资源的约束和时空的限制，利用智能技术，真正将“人”纳入整个生产周期和管理体系之内。

CPSS：迈向工业 5.0

“工业 4.0”可视为信息和通信技术（Information and Communications Technology, ICT）在信息物理系统（Cyber-Physical Systems, CPS）中的应用，其作为技术核心的各种元素早在 2009 年完成的《创新 2050：科技革命与中国的未来》一书中悉数概括，只是表述方式略有不同。

近年来，随着科技的进步及社会的发展，工业系统愈加复杂：同时涉及工程复杂性、系统复杂性和社会复杂性，并呈现出高度动态化、高度开放化和高度交互化等特征，主要原因在于各种新兴移动服务的发展及移动终端设备的普及已使“人”成为最为敏感的“社会传感器”。一方面，人可实时、动态、灵活地参与工业制造的各个方面，促进其流程管理与系统执行；另一方面，人类心理的复杂性、行为的不确定性以及社会关系在系统中的延伸，极大地增加了工业系统中的交互复杂性。在此情境下，融合人-机-物于一体的社会信息物理系统（Social-Cyber-Physical Systems, CPSS）将成为实现未来工业体系中智能企业和智慧管理的基础，成为在联通的复杂世界中整合各种资源和价值的有效手段，成为迈向平行化、透明化、扁平化的移动智能制造的切实途径。

当前时代，网络化的虚拟空间已然成为与现实化的物理空间平行的另一空间，社会

进入虚实交互的平行时代。如果说，工业 1.0 的特征是机械化，工业 2.0 的特征是电气化，工业 3.0 的特征是信息化，工业 4.0 的特征是网络化，那么，虚实交互、闭环反馈、动态执行的平行化，将是工业 5.0 的最大特征。因此，工业 5.0 亦为平行工业 1.0。简单来讲，工业 5.0 的体系结构包括：一个系统基础，即 CPSS；一个核心方法，即 ACP（Artificial Societies + Computational Experiments + Parallel execution，人工社会 + 计算实验 + 平行执行）方法；二个体系，即智能企业和智慧管理；三个主题，即软件定义系统，平行计算，知识自动化；四个主要特征，即虚实互动的全生命周期管理、扁平化的综合工业

网络结构、众包的社会制造服务、人在其中的实时闭环反馈执行。

本质上，CPSS 是一类默顿系统：遵循默顿的“自我实现预言”（Merton's Self-Fulfilling Prophecy Laws），无法对其直接控制，只能间接影响。由于“人”对工业生产制造流程的实时参与，很多情况下“人”要“证实”的命题，其实最后是“人”影响甚至改变、构成、实现的命题，非自然科学中的因果控制关系，而是心理学上的因果驱动关系。简言之，命题改变行为，意念干涉现实，进而成真（A statement could alter actions and therefore come true）。因此，平行工业时代，如何面向 Cyberspace，寻找并发现隐含其中

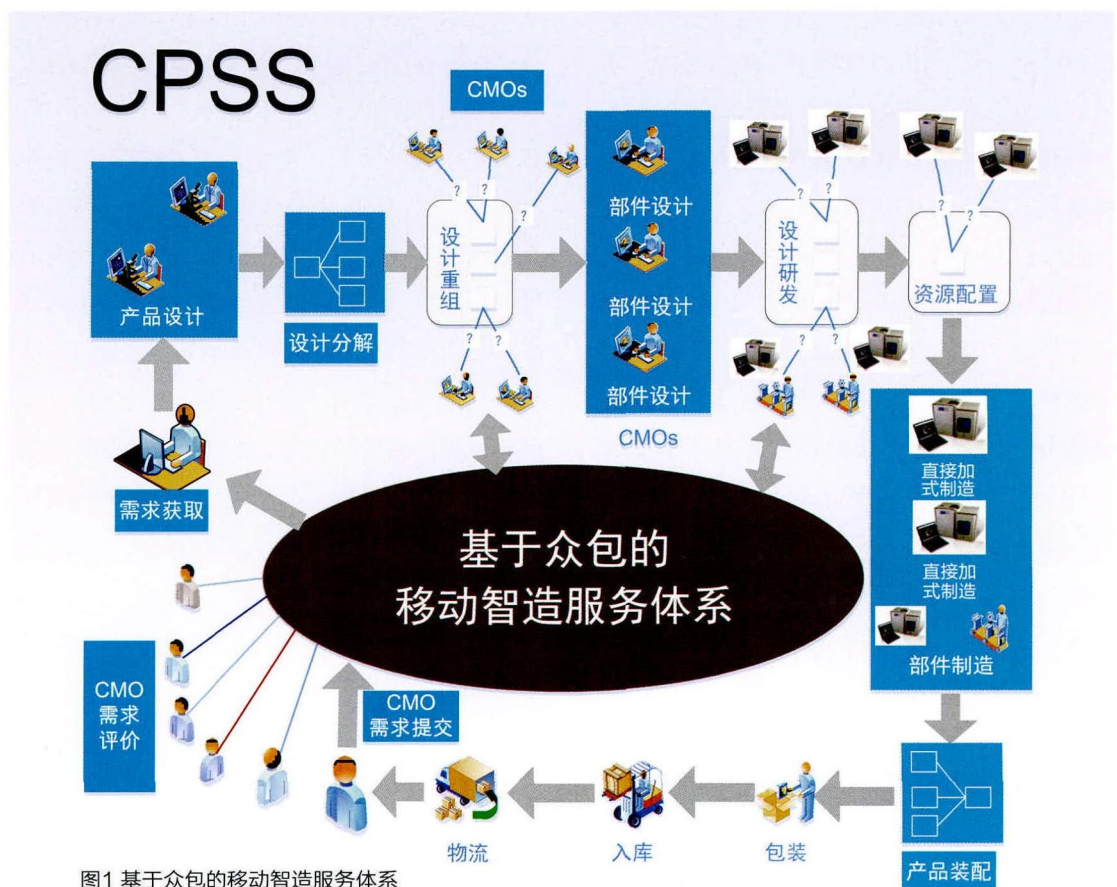


图1 基于众包的移动智造服务体系

的“默顿定律”,进而利用“默顿定律”建模“默顿系统”,成为创新工业制造系统及企业流程管理的首要任务。

使用大数据发现默顿定律

西方管理学界有两句名言:其一为现代管理科学的重要奠基人戴明(W. Edwards Deming)所说:“除了上帝,其他任何人都必须用数据说话”;其二为提出“知识工人(Knowledge Worker)”和“信息社会”概念的现代管理之父彼得·德鲁克(Peter F. Drucker)所说:“预测未来最好的方法,就是去创造未来”。

大数据的出现,既为“默顿定律”的发现提供了可追踪、可计算、可实现的途径,也对虚实互动的复杂工业系统建模提出了严峻的挑战。首先,尽管数据采集、解析、预测的深度及广度都获得了前所未有的提高,但所获数据可能存在量大却针对性不强、组织杂乱、联系微弱且稀疏的情况,导致有效信息往往隐藏在大量的噪声之中,而易在数据挖掘过程中被丢弃。其次,人对系统的闭环且动态的参与方式及线上线下的实时交互方式极大增加了系统中人员行为及其组织管理的复杂性。前者从数据管理的角度,对Cyberspace中工业社会情报及社会制造需求的有效、动态、实时监测与分析提出了新的要求;后者从行为组织的角度,对平行时代“平行人”的行为及其组织演化对于整个制造流程的闭环参与进行了重新审视。

智能企业的智慧管理

软件定义系统的构建和使用,为企业管理和决策提供了真实可靠的科学依据。在企业内

部,构建与之互动演化、反馈执行、协同发展的人工流程、人工工厂及人工企业,可针对流程执行管理、资源分配调度及企业生产制造进行建模计算、生产优化以及监控预警。在企业外部,针对特定问题,将各种各样的相关网站、博客、论坛、微博、微信及其组合视为观察和获取社会制造需求的“信源频道”和“传感网络”,可获取目标定位的工业情报和制造需求信号。基于知识自动化技术对需求信号进行计算和解析,社会情报系统可输出社会化、个性化、大规模的制造需求,并为企业生产和制造平台提供有效、准确、灵活的输入。

动态网群组织(Cyber Movement Organizations, CMOs)是社会信号获取、社会需求定位的关键。对于移动智造体系而言,CMOs可直接定义为客户运动组织(Customer Movement Organizations)。近年来,众包、众筹等概念已广为大众所知。众包源于中国的“人肉搜索”现象,可以被认为是工程化的“人肉搜索”,而“人肉搜索”则是社会化的众包。两者可认为是CMOs从不同角度的理解和认识。更为直白地说,网民可通过“人肉搜索”的独立方式寻求满足自己需求的制造企业;而企业则可以通过众包的方式集合“草根智慧”,高效地完成从创意提出到产品设计、生产、评价及营销等整个生产周期过程。因此,未来智能制造环境下,一个企业是否成功,一定程度上取决于其掌控CMOs的手段和能力。

平行工业时代,一方面,企业可以借助虚实系统的平行演化及闭环反馈,协同优化管理系统内部流程执行、生产制造以及资源调度。另一方面,基于知识自动化技术,社会情报服务系统实时将数据转化为客户需求,快速响应市场变化,同时通过任务分解、快速重组、众

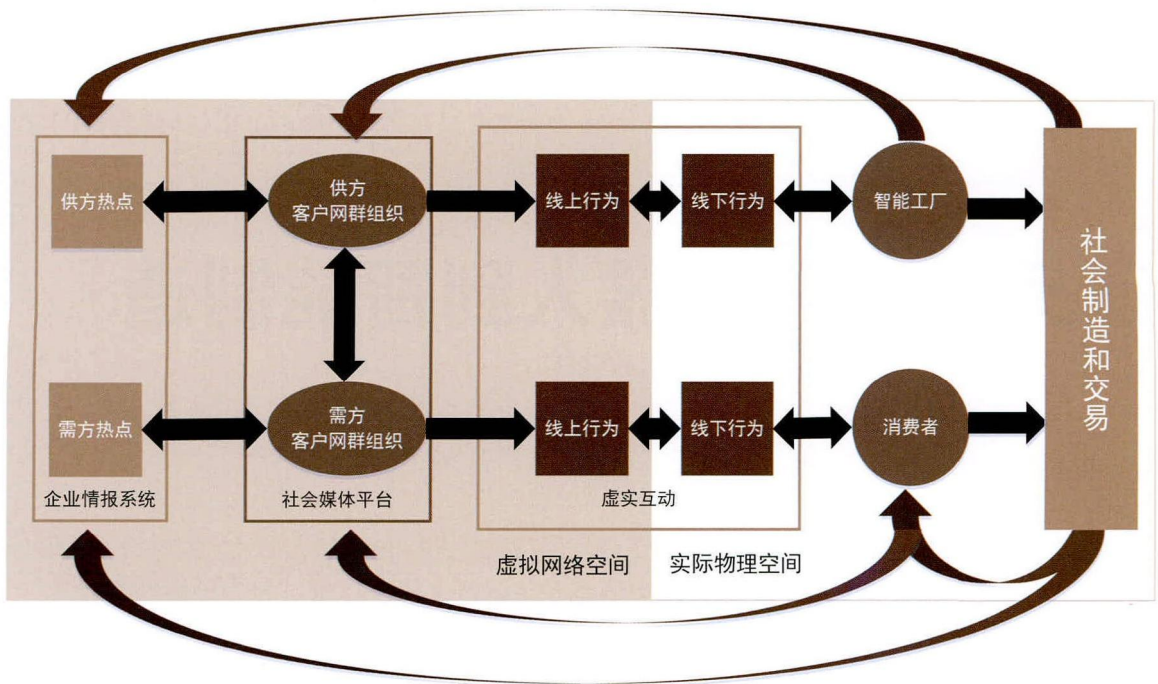


图2 “社会需求”与“社会生产力”的无缝结合

包等方式集合小微创新和群体智慧来创造产品，从而减少投放时间、增加市场份额。同时，网民借助物联网、互联网、移动互联网的无缝连接，表达自身个性化需求及创意，可全面参与产品创新的整个生产制造流程，实现实时化、个性化、大规模的“灵敏”移动“智造”。

展望

一定程度上，新一轮工业革命中的智能制造就是综合利用搜索技术、先进的生产制造技术、社会服务应用（社会媒体）及泛在的移动终端设备，通过众包等方式让社会民众充分参与产品的全生命周期生产制造过程，实现实时化、个性化、大规模创新和“敏捷移动智造”，或称社会智造。

基于 CPSS，以“互联网+”为途径，以平行方法，深度开发虚拟空间并充分利用其数据资源，是中国制造走向“中国智造”的必由之路。借助泛在的移动终端设备与各种社会媒体服务，消费者、企业、商家甚至

媒体可通过 Cyberspace 随时随地参与到产品的创意提出、设计、生产、制造、营销等全生命周期过程中，将“社会需求”与“社会生产力”融于一体（见图 2）。“想法到产品”，“需求就是搜索，搜索就是制造，制造就是消费”将成为现实。

从社会的角度来看，智能制造的“智慧之源”来自于社会微观个体的协同创新，来自于人工智能、先进制造、机器学习等技术的广泛使用，来自于 CPSS 资源的深度开发和充分利用，来自于虚实平行互动、实时反馈、移动可视化的工业管理体系的切实应用。不久的将来，一个企业的竞争力和实力，很大程度上可能并不取决于其外在规模与资产的大小，而取决于其掌控 CMOs 的手段和能力，取决于其对虚实互动的认识、实践和效率，取决于与其伴生的人工企业之规模和深度。工业化和信息化的深度融合必将是平行工厂、平行企业、平行制造的应用和普及！

作者单位：中国科学院自动化研究所