

【国民经济】

“第三次工业革命”与中国经济发展战略调整

——技术经济范式转变的视角

黄群慧, 贺俊

(中国社会科学院工业经济研究所, 北京 100836)

[摘要] 以智能化、数字化、信息化技术的发展为基础,以现代基础制造技术对大规模流水线和柔性制造系统的改造为主要内容,以基于可重构生产系统的个性化制造和快速市场反应为特点的“第三次工业革命”,是一场嵌入在技术、管理和制度系统中的技术经济范式的深刻变革。随着这场工业革命的不断深化,制造和制造业的经济功能可能被重新定义,国家和企业竞争力所依赖的资源基础和要素结构、从而全球产业竞争格局可能被重构,过去刻画价值链经济特征的“微笑曲线”可能变成“沉默曲线”、甚至“悲伤曲线”,传统“雁阵理论”所预言的后发国家产业赶超路径可能被封堵,不利于发展中国家的“中心—外围”世界分工体系可能被进一步固化,国家间产业竞争范式将由企业间竞争和供应链间竞争转向产业生态系统间的竞争,系统的适应性和动态能力成为一国获得产业长期竞争力的关键。为了迎接“第三次工业革命”以及未来与发达工业国家在价值链各环节的“全面竞争”的挑战,未来中国需要在转型升级战略、全球竞争战略、技术创新战略、产业发展战略、国家信息战略等多方面进行适时调整。

[关键词] 先进制造技术; 第三次工业革命; 技术经济范式; 经济发展战略

[中图分类号]F124.1 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1006-480X(2013)01-0005-14

一、引言

未来学者对技术发展趋势的概念化,加之新闻媒体的积极传播,使得“第三次工业革命”问题引起了社会的广泛关注。然而,经济学家对“第三次工业革命”似乎还缺乏足够的热情,这突出表现在恰当运用理论工具对该问题进行系统、严谨分析的经济学成果还不多见。Jewkes et al.(1960)曾给出为什么经济学家对技术变革赞同多、但深入研究少的三个原因:一是经济学家对自然科学技术知识的缺乏;二是经济学家将更多的研究热情投向贸易周期和就业等在经济学框架下更容易分析的问题;三是缺少对技术变革问题进行实证研究所必需的历史资料和统计数据。Jewkes等学者的观点也可以在一定程度上解释当前中国经济学界对“第三次工业革命”缺少深入研究的原因。当前中国正处于经济发展方式转变的攻坚期,有众多的现实经济问题亟待深入研究,许多经济学家无暇顾及在他们看来也许仅仅是为了吸引眼球的“第三次工业革命”。但是,不可否认的是,20世纪70年代以

[收稿日期] 2012-11-01

[基金项目] 中国社会科学院工业经济研究所重点课题(2012)“‘第三次工业革命’对中国工业的影响”。

[作者简介] 黄群慧(1966—),男,河北石家庄人,中国社会科学院工业经济研究所党委书记,副所长,研究员,博士生导师;贺俊(1976—),男,山西太原人,中国社会科学院工业经济研究所副研究员。

来,随着信息通信技术、纳米技术、新材料、新能源和生物电子等新技术的迅速发展和推广应用,人工智能、数字制造、工业机器人、添加制造等现代制造技术不断突破,市场逐步成熟,加之 2008 年国际金融危机以后主要工业化国家推出的一系列旨在通过发展先进制造技术复兴或加强其制造业的战略和政策安排,全球工业发展模式正发生着巨大的变革。这场变革以智能化、数字化、信息化技术的发展为基础,以现代基础制造技术对大规模生产流水线和柔性制造系统的改造为主要内容,以基于可重构生产系统的个性化制造和快速市场反应为特点,将从根本上解决传统制造系统下新产品开发周期、产能利用率、生产成本、产品质量、个性化需求等主要产业竞争要素之间的冲突,实现生产制造的综合优化和运营效率的大幅提升。相对于能够提供新功能、满足新需求、开辟新市场的突破性产品创新,发生在车间现场的制造技术创新更不容易为一般消费者和非专业人员观察或体验到,因此,这场以先进制造技术突破为核心的工业变革更像是一场静悄悄的革命;此外,由于先进制造技术的突破和完善是在实际生产应用过程中持续学习和改进的过程,且突破性制造技术和制造系统的应用往往涉及到整个企业管理系统和员工能力结构的转变,因此,“第三次工业革命”同时也是一场影响深远且历时长久的革命。

历史上每一次制造技术和制造系统的革命都会重塑全球产业竞争格局,如大规模生产成就了美国工业强国的地位,柔性制造实现了日本制造业的赶超。对于经济总量世界第二、正面临转型升级重大任务的中国而言,无论是否同意“第三次工业革命”这种提法,都要对这种工业发展变革趋势的本质特征及其可能产生的影响进行深入研究,以未雨绸缪地提出未来中国经济发展战略调整的方向,做好前瞻性的战略部署和政策准备,保证中国经济的长期健康可持续发展。

二、“第三次工业革命”的驱动因素与技术特征

工业和工业革命是多层次、多维度的概念。遵从理论概念应当服从于有利于问题界定和分析的方法论要求,我们认为,从当前及今后对经济发展和产业竞争格局可能产生更重大影响的角度看,从制造技术视角定义的“第三次工业革命”更具有理论分析价值和现实指导意义。

1. “三次工业革命”的划分

现实的工业发展是多种因素协同作用且常常互为因果的系统变迁过程。这就决定了,由于不同的研究者对工业发展史的关注点和观察视角不同,其对工业发展阶段的划分也会存在差异。但无论如何,对工业革命的界定至少应当符合以下三个方面的概念要求:一是对不同阶段的划分应当遵循相同的标准,从而能够逻辑一致地刻画工业发展的脉络;二是所指的工业革命应当以“重大的”技术范式转变为基础,这种突破性的转变应能够开辟巨大的技术机会和广泛的应用前景;三是工业革命应能够对产业结构和产业竞争格局产生深远的影响。基于这样的理解,既有的研究或论述中,有两类观点值得关注。一是传统工业史研究提出的以工业“通用技术”的突破为依据来界定工业发展阶段的理论。按照这种观点,第一次工业革命肇始于 18 世纪 60 年代蒸汽机的改良和应用,标志着工业社会步入“蒸汽时代”,19 世纪下半叶发生的第二次工业革命开创了工业社会的“电气时代”,“第三次工业革命”则是二战以后开启了“信息时代”的计算机的发明以及随后几十年 ICT 技术的快速发展。定义工业革命的另一个维度是工业的主导性动力来源和通信方式的根本性变革。按照这种观点,第一次工业革命的核心内容是由于蒸汽机的出现和推广,以煤炭为主体的能源结构和以印刷品交流为主的信息系统的形成,第二次工业革命是电子通信技术发展和以石油为燃料的内燃机大规模应用催生的产物,而正在发展中的“第三次工业革命”则是基于互联网的通信技术和可再生能源系统融合发展的结果(Rifkin, 2011)。有别于既有的研究,本文从工业生产所依赖的主导性制造系统的技术经济特征的角度来界定三次工业革命,即:第一次工业革命是 18 世纪中后期以后由于蒸汽机的改良和大规模应用形成的机械化生产方式,第二次工业革命是 20 世纪早期出现的以“福特制”为代表的流水线生产方式。而当前方兴未艾的“第三次工业革命”,是由于人工智能、数字制造和工

业机器人等基础技术的成熟和成本下降，以数字制造和智能制造为代表的现代制造技术对既有制造范式的改造以及基于现代制造技术的新型制造范式的出现，其核心特征是制造的“数字化”、“智能化”和“个性化”。

2. “第三次工业革命”的驱动力量

“第三次工业革命”的发生和发展是外生的技术进步和内生的国家政策安排共同驱动、协同作用的结果。“第三次工业革命”首先是外生的技术积累和技术创新进入特定周期和阶段的必然结果。作为现代制造技术系统中最底层技术的信息技术的快速进步使得信息存储、传输和处理的成本呈几何级数下降。1992—2010年，1M数据的平均传输成本从222美元大幅下降到0.13美元；1G数据存储的成本从569美元大幅下降到0.06美元。信息的工业服务能力提升和使用成本下降，大大推动了基于ICT的人工智能、数字制造和工业机器人等基础制造技术的成熟，基础制造技术的成熟和成本下降又进一步促进了这些前沿制造技术在大规模流水线和柔性制造系统中的应用，并通过与新材料、新能源、光电等外围技术的融合催生了可重构生产系统和3D打印等新型制造系统的出现，这种多层次、多领域的技术创新和互动共同构成了“第三次工业革命”技术演进的基本脉络。需要说明的是，之所以在今天需要强调“第三次工业革命”的这个概念，并不是因为这些基础制造技术刚刚出现（事实上，这些基础制造技术的发明和工业应用大多已经经历了几十年的时间），而是由于经过了长期的科学探索和技术积累，这些基础技术的技术成熟度和经济成本已经达到了使其在制造领域进行较大规模应用和推广的水平（Wadhwa, 2012）。

促进“第三次工业革命”不断深入的根本性技术驱动力量在于数字制造、人工智能、工业机器人和添加制造（Additive Manufacturing）等基础制造技术的创新和突破。近些年，这4项关键基础技术的技术路线、技术创新速度和应用广度都发生了重要的变化，从而分别在不同程度上替代或补充了传统工业生产方式下的实物制造、劳动技能、简单劳动和减材制造（Reductive Manufacturing）：①数字制造在保证产品设计能够达到性能要求的同时，也保证了产品制造能够达到设计上的要求。近年来，数字制造的工业应用飞速发展，一方面，数字制造与产品设计和产品制造融合渗透，促进工业生产朝着全数字化制造的方向发展；另一方面，数字制造不断被应用到更加复杂的产品设计和开发中。目前，美国最大的50家制造业企业已经全部应用了高效能运算技术，福特汽车公司使高效能运算和计算机辅助工程成为产品开发过程的基础性技术驱动力，卡特彼勒利用计算机辅助设计技术将重型推土机的设计周期从原来的6到9个月缩短到不到1个月（美国竞争力委员会，2011）。②人工智能是分布式人工智能与多智能主体系统、人工思维模型、知识系统、知识发现与数据挖掘、遗传与演化计算等多知识领域的交叉技术，人工智能在工业领域的快速应用使得新的工业制造系统具备了自行决策、自行维护、自行学习、甚至自行组织的能力。而随着高效能运算、云计算和超级宽带等信息技术的发展，人工智能技术以数据挖掘和智能决策为主的工业应用能力大幅提升。③传统的工业机器人在工业生产的作用主要是替代人工做单调、频繁和重复的长时间作业以及危险、恶劣环境下的作业，例如，在冲压、压力铸造、热处理、焊接和简单装配等工序，以及在原子能工业中完成对人体有害物料的搬运或工艺操作。近年来，工业机器人正朝着具有多种感知能力以及对作业环境具有自适应能力的方向发展，现代工业机器人集精密化、柔性化、智能化、软件应用开发等先进制造技术于一体，可以对生产过程进行检测、控制、优化、调度、管理和决策，成为工业自动化水平的最高体现。④通过利用3D打印设备的逐层添加工艺“打印”实物产品，一次成型而不再需要像传统制造工艺那样先制造零部件再拼接组装。添加制造技术使得工业生产能够在产品性能、制造成本和加工时间等方面同时满足生产的经济性和灵活性。例如，在传统的减材制造工艺下，超声设备中超声探头的制造需要长时间的切割和打磨，这使得超声探头成为超声设备中最昂贵、劳动最密集的部件，而最近GE通过运用新型添加制造工艺一次“打印”成形超声探头使其成本大幅下降。近年来，添加制造的应用领域不断拓展。据统计，截至2011年，全球通过添加制造生产的产品市场规模已经达到

12 亿美元,添加制造和服务本身的市场规模达到 6 亿美元(美国竞争力委员会,2011)。

技术创新和制度演进从来都是工业发展过程中两条并行的主线。除了技术的外生驱动,“第三次工业革命”的不断深化同时也是主要工业化国家体现其战略意图的制度安排和政策设计内生诱致、拉动的结果。金融危机过程中,作为始终强调实体经济发展的德国经济的稳定表现和具有全球最快制造业增长速度的中国经济的快速恢复,与多数欧美国家的经济疲软、甚至债务危机形成了鲜明的对比。这样的事实促使主要工业化国家反思制造和制造业在其国家创新系统和产业体系中的经济功能和战略意义。权威经济学家的宏观研究和管理学家的微观论述为欧美复兴制造业的政策主张提供了强有力的证据。来自哈佛大学和 MIT 的 Hausmann et al.(2011)发表的一项研究显示,在过去 60 多年间,由工业产品复杂性所反映的一国制造业能力是所有预测性经济指标中能够最好地解释国家长期增长前景的指标,国家间的制造业能力差异能够解释国家间收入差异的至少 70%。这种从能力视角解释制造业经济功能的发现意味着,虽然制造业在发达市场经济国家经济总量中的比重不断下降,但制造业本身所蕴含的生产能力和知识积累却是关系一国经济长期发展绩效的关键。因此,制造业对于国民经济的意义,不仅仅在于该部门直接创造了多少经济价值,更体现在它对于国民经济长期增长的驱动作用。2012 年 3 月,《哈佛商业评论》邀请了一大批学界泰斗和业界领袖辟专刊讨论重塑美国制造业的问题。他们提出,对先进制造能力、本地供应链网络和员工技能的投资不足已经成为美国经济发展中最大的隐患(Porter, Rivkin, 2012);制造能力的弱化已经严重制约了美国高新技术的产业化,美国在平板显示、光电子、机床、新能源电池等高新技术领域竞争力的丧失是由于制造能力的弱化侵蚀了这些产业的产品创新能力(Pisano, Shih, 2012)。重振制造业和实体经济,逐渐成为金融危机以后欧美经济社会的共识。而把握先进制造技术快速发展提供的机会窗口、通过发展和应用现代制造技术和制造系统恢复和加强其制造业优势,几乎成为金融危机以后欧美最有力、最鲜明的产业政策主张。例如,美国的《制造业行动计划》提出,要通过技术创新和智能制造实现下一代生产率;加快部署新的制造工具和技术的创新和实施,应用计算机建模和模拟技术促进美国高效能运算能力达到超大规模级,促进建模和模拟技术的工业应用,加强科学、技术、工程和数学教育,并促进这些学科与工厂的结合。欧洲的《未来工厂计划》则提出,要加大对现代制造技术的研发投资和政府企业间合作,加快发展可持续的绿色制造、ICT 智能制造、高效能制造和基于新材料的制造。

3. “第三次工业革命”的技术特征

新的基础制造技术和制造系统使得“第三次工业革命”背景下的工业生产正逐步呈现出一系列新的技术特征:①生产系统控制的一体化。在新的生产系统中,每台设备都成为生产系统中的一个模块,这些模块与材料传输系统共同构成完整的生产系统。设备控制不仅在每台设备本身,同时被集成到整个工厂,从而在“工厂”层次、而不是“单台设备”的层次实现了系统性的控制。②制造过程的智能性。智能制造通过综合运用控制技术、统计和信息处理技术,不仅可以在生产过程中全程检测不合格的部件和产品,而且可以对生产系统本身进行检测和诊断,即具备了生产系统的自检性。智能制造通过将工厂和企业的数据库系统化来实现制造成本、安全性和环境影响的大幅改善,通过计算机模拟、建模和数据处理的结合提高制造的柔性、生产速度和产品定制化程度。③制造系统的微型化。未来制造技术将能够生产具有复杂内部结构和梯度材料结构的、三维拓扑优化的部件。工业产品、生产工具和一体化生产系统的微型化将成为制造系统设计的关键。快速微制造技术、三维微部件的生产、具有自调节能力的微型机床和机器人,以及微型制造系统和微型工厂都将在工业生产体系中扮演越来越重要的角色。④全生命周期产品的制造能力。随着产品的市场生命周期越来越短,过去单一产品生产系统的高额固定成本、缺乏弹性的产能逐渐失去了经济合理性。为了适应高度动态的市场环境,新的具有更强适应性和灵活性的生产系统能够根据产品功能的变化不断调整自己的功能,从而实现全生命周期产品、而不是单一产品的生产。例如,一条最初针对产品 A 建设的

生产线,可以根据市场需求的变化调整为可以同时生产产品 A 和新产品 B,未来还可以根据新的市场需求同时生产产品 B 和更新的产品 C,如此等等,保证生产制造与市场需求的动态匹配。⑤友好的人机关系。新的制造系统所反映的工业关系不仅体现在制造的资源节约和环境友好,更体现在以人为核心的生产系统设计中。工人的生产环境不仅是安全、健康的,而且人机工作界面是非常友好的,人机合作可以通过人的自然语言、甚至动作就可以实现,生产系统可以最大程度地利用人的技能和知识,而不是简单、重复的机械操作。人在工业生产中的作用,不是用单调、重复的手工劳动“替代”机械生产,也不是用经验式的技能“补充”机械生产,而是利用自己的知识创造性地“主导”生产过程。

三、技术经济范式转变与“第三次工业革命”的影响

“第三次工业革命”源于制造技术突破,但其对工业经济发生作用的机理和影响效果却绝不局限于制造技术本身。“第三次工业革命”背景下先进制造技术、制造系统和制造范式对传统制造方式的替代与革新,将导致作为工业企业最核心的“生产性资产”的功能和性质的根本变化——制造不仅决定生产成本,而且直接影响到企业的产品创新能力和动态效率,知识相对于设备和一般劳动在制造系统中的重要性进一步突显。工业技术发展的历史表明,与新的技术、经济条件相适应的新的制造范式的出现,不仅伴随着制造技术的发展,更伴随着新的人力资本投入、调整了的企业战略方向和投资结构,以及新的产业组织形态的出现。因此,“第三次工业革命”将是一场技术经济范式(Perez, 1998)意义上的技术、管理、制度和政策的全面协同变革,这场变革终将带来工业组织结构、产业竞争范式和全球工业竞争格局的重大调整。

1. 制造技术进步与技术经济范式转变

要准确理解工业革命的本质特征,必须首先了解工业发展过程中先后出现的各种制造范式、各种制造范式所对应的制造系统,以及各制造系统所依赖的基础制造技术的变迁规律。自人类进入工业社会以来,具有主导性的制造范式大致经历了从单件小批生产到大规模生产、到大规模定制、再到全球化个性制造的三次转变(见表 1)。回顾工业发展过程中制造技术和制造系统变迁的历史,我们可以发现,每一次新的制造范式的出现都是特定的社会制度和经济因素发挥作用的产物,反过来新的制造范式又会改变社会资源配置的激励结构,并对既有的制度和管理方式提出新的要求,从而推进微观企业管理模式、中观产业组织方式和宏观制度环境的变革。因此,制造范式的更迭不仅是制造技术的变革,更是与这些技术相适应的企业管理方式和社会制度基础的变革。

单件小批制造是工业生产发展的起点。单件小批制造范式的特点是生产完全按照不同客户的个性化要求进行,技术工人使用通用机械每次生产只能完成一件或几件非标准化的产品。19 世纪末期这种制造范式的应用范围和技术复杂度达到顶峰。当时欧洲和美国大量的马车生产商开始转向汽车的生产。由于零部件的生产高度依赖于工匠个人的技能,因此汽车零部件的生产、车体制造和组装都大量分散在配备了通用机床的手工作坊中。在这种制造范式下,厂商的基本商业模式是,首先提供拟向客户提供的汽车设计概念,客户选择设计概念后与厂商签订订单,然后厂商根据设计概念和客户要求进行详细的产品设计,最后根据产品设计生产并提供产品。由于销售、设计和生产的各个环节都是高度个性化的,因此手工生产的产量非常有限。到 19 世纪末期,整个欧洲每年的汽车产量也仅有约 1000 台。由于工业生产高度依赖于个人的技能、而不是机器的规模经济,因此产业组织处于高度分散化的状态,当时欧洲和美国存在数百家利用手工方式生产汽车的制造商。直到今天,手工生产方式仍然有其适用性,在跑车和定制家具等少数领域这种生产方式仍然在被使用。伴随着“第一次工业革命”的成果不断普及,单件小批生产范式发展到后期,由于蒸汽机的改良和推广,由轧棉机的发明者 Whitney 开创、由 Clot、Evans、Singer 等人不断改进的所谓“美国制造系统”在技术上不断完善,以专业化机械、可更换零部件、组织化的工厂、科学管理的工序为特点的批量生产

方式日益普及,成为后来大规模生产的雏形。

大规模生产是推进工业社会发展最重要的加速器之一,是“第二次工业革命”的成果,其核心内容是利用由专业化设备组成的流水线来大批大量生产标准化的产品。大规模生产的专业化和标准化,不仅充分利用了生产的规模经济,从而显著降低了生产成本,同时也大大提高了产品的精度。大规模生产的强大经济生命力在于,它通过降低生产成本扩大了市场需求,扩大的市场需求反过来又为大规模生产提供了更大的空间,从而形成市场需求和生产规模相互增强的机制。大规模生产方式的特点是“大规模、少品种”。例如,在福特推出流水线生产方式后的13年里,其产量迅速由4万辆增长到200万辆;截至1955年,通用、福特和克莱斯勒的仅6款车型的产量就占到了全美汽车销量的80%。大规模生产大大提高了劳动生产率。通过用流水线替代过去的并行生产方式,福特公司将平均单个工人花在一辆车上的直接劳动时间由9小时降到了2.3分钟。从福特的T型车流水线出现直到20世纪80年代,大规模生产始终是主导的工业生产方式。为了提高生产效率,减少人工带来的精度和可靠性损失,大规模生产方式尽可能用机器来替代人工。因此,相对于单件小批生产和其他的生产方式,大规模生产对工人技能的要求是最低的。实现这种替代的技术基础主要在于高质量的、可更换的零部件的出现和应用,这种技术进步和产品架构的变化使得生产设备的专业化、从而产品的标准化程度大大提高。而在大规模生产出现以前,整个生产过程都涉及到异常精细且耗时的人工劳动。与单件制造生产方式不同,大规模制造范式下的商业模式具有典型的生产驱动特征,即企业首先设计出可以通过大规模生产方式制造出来的产品,假定所有生产的产品都有市场,最后将产品尽可能销售给顾客。由于大规模生产提高了生产的规模经济性以及工作标准化带来的管理的规模经济性,工业社会开始步入大企业主导的时代。

大规模定制是20世纪80年代由信息技术与制造技术融合而催生的一场生产方式变革,是“第三次工业革命”孕育阶段的产物。大规模生产使工业产能和供给能力爆发式增长,“买方市场”成为市场经济的常态。当大部分传统工业的市场趋于饱和时,消费者对产品差异性的要求变得越来越高。为了适应这种社会性的需要,企业必须能够提供更加丰富的产品选择,大规模定制生产方式应运而生。大规模定制的基本思想是通过产品架构和制造流程的重构,运用现代化的信息、新材料、柔性制造等新技术,把产品的定制生产问题全部或者部分转化为批量生产,为小批量、多品种市场提供低成本的产品。产品模块化是大规模定制之所以能够以足够低的价格向消费者提供丰富的产品选择的重要技术基础。产品模块化设计,一方面可以通过不同模块的替代和匹配形成多样化的产品组合;另一方面,虽然产品种类增加,因而无法像大规模生产那样在产品层次实现规模经济,但由于多样化的产品共用大部分的模块,因此可以在模块层次利用生产的规模经济,从而很好地解决了大规模生产范式下规模经济和产品差异化之间的矛盾。与大规模定制对应的一般商业模式是,企业根据对客户需求的理解进行产品设计,然后按照设计方案提供可能的产品组合,最后由消费者进行产品选择。可见,这种商业模式兼具生产推动和需求拉动的特点。由于大规模定制强调产品的多样性,因此整个供应链的效率和灵活性成为决定产品和企业竞争力的关键,产业的垂直组织结构、而不是大规模制造范式下以市场集中度为主要度量的产业水平组织结构,成为决定产业整体效率和竞争力的主要因素。

由美国密歇根大学Koren(2008)提出的全球化个性化制造范式是全球化浪潮下企业为适应日益激烈的跨国竞争而发展起来的一种新兴生产范式,其核心特征是制造对全球的个性化市场需求的快速反应,可以认为是“第三次工业革命”取得突破和深入发展后的结果。全球化使得市场的国家间边界变得越来越模糊。因而,一方面,由于全球企业参与全球市场的争夺,过去稳定的市场结构变得不再稳定,每个企业的剩余需求都变得难以预测,制造和产能的灵活性在竞争中的重要性突出出来;另一方面,越来越挑剔的消费者和更加激烈的企业间竞争共同推动了消费需求由规模化向小众化、甚至个性化发展,即企业生产的产品不仅要能够满足细分市场上具有相似偏好的消费者,而

且要能够以消费者能够承担的价格满足其独特需要。可重构生产系统和添加制造技术的快速发展大大提升了工业满足这些新的市场要求的能力,是实现全球化制造范式的最主要的技术支撑。按照Ulrich(1995)提出的产品架构理论,个性化产品包括两种类型,一种是模块化产品,这种产品以机械电子产品为代表,另一种是非模块化的一体化产品,这种产品以服装和鞋等个人消费品为代表。对于前一种个性化产品,产品创新的关键是根据产品功能的要求设计包含模块序列和界面标准在内的开放架构,然后由消费者根据自己的偏好选择由独特的模块组合构成的个性化产品。模块化个性产品所依赖的主要生产系统是可重构生产系统。可重构生产系统的技术要点在于,生产系统本身、而不是被生产的产品被模块化,被模块化的生产系统可以通过基于不同界面的模块重组来生产差异化的产品,并实现产能的灵活调节。相对于大规模生产,柔性制造系统较好地解决了产品差异化和生产成本之间的矛盾。但和大规模生产一样,大规模定制所依赖的柔性生产系统的产能很难进行调整,因此这种制造范式更适于消费者需求比较稳定的市场环境。相比之下,可重构生产系统可以在柔性生产系统的基础上进一步解决了生产成本、产品多样性、产能和生产周期等多目标之间的冲突,因而能够更好地适应全球化时期消费者需求千差万别且快速变动的市场环境。以3D打印机为代表的添加制造技术是生产一体化个性产品的主导技术范式,对于这类非模块化的产品,在产品阶段就要充分体现消费者的个性需求,产品制造是根据个性化的设计进行的。也就是说,虽然模块化个性产品和一体化个性产品都满足了消费者的个性需求,但模块化个性产品设计的开放架构是统一的,而非模块化个性产品在设计阶段就是个性化的、非标准的。生产方式的改变同时也伴随着企业市场竞争行为的转变:大规模定制范式提供的丰富产品选择吸引了更多的细分市场消费者,但同时也增加了生产的成本和复杂性,因此大规模定制范式下企业战略决策的关键变量是提供的产品选择的数量;而在全球化制造范式下,产品架构、能够兼容各种模块的技术界面以及个性化产品的类型和功能等要素,都必须纳入企业的战略决策。全球化制造范式对产业组织的影响,不仅促进了市场结构由线性向网络和生态化的转变,而且超越了传统产业的边界,重新定义了供给和需求、厂商和消费者之间的关系。例如,在以3D打印为代表的个性化制造系统中,消费者不再被动接受或仅仅从企业给出的产品清单中选择自己喜爱的产品,而是亲身参与产品的设计过程,并直接成为产品生产者。

2. “第三次工业革命”与全球产业竞争格局重构

“第三次工业革命”之所以可以称之为“工业革命”,而非一般的“科技革命”,是因为其影响不仅仅囿于科技的范畴,而是在产业或经济的层面使得市场竞争的资源基础、产业竞争范式以及国家间产业竞争格局发生了深刻的变革。

“第三次工业革命”将改变企业核心竞争力所依赖的资源基础。一方面,制造的战略功能被重新定义。在传统的创新系统中,产品生产的一般模式是“产品设计—产品开发—产品制造”,所谓的产品创新主要指的是实验室的产品设计和开发,制造仅仅是“实现”创新的一个环节。而随着全过程数字制造技术的成熟,“设计、开发和制造”的一体化产品发展将使传统的“线性”创新过程变为一体化的“并行”创新过程,制造直接成为创新的一部分,现场像实验室一样成为创新的场所,制造资产成为企业创新系统的一部分(Pisano, Shih, 2012)。在这种情况下,以前技术领先企业所采用的“产品创新+制造外包”的经典商业模式就会损害企业的核心竞争力。通过发展现代制造技术和制造系统来加强企业的产品创新能力,同时保证足够低的生产成本,将成为技术领先企业的战略方向。另一方面,制造企业的关键人力资源基础将由操作型员工和技能型员工向知识型员工转变。像大规模生产一样,“第三次工业革命”背景下的机械化和自动化必然会导致机器和系统对人的替代。但由此得出大规模生产和“第三次工业革命”都使人在生产中的重要性下降的推论却是错误的。在机器与人的关系方面,大规模生产与“第三次工业革命”的根本区别在于,在前一种制造技术范式下,劳动是重复性的机械式劳动,劳动是成本,最优的制造决策是如何尽可能节约劳动、降低人工成本;而在“第

表 1

工业社会四种制造范式的技术经济特征比较

制造范式	特点	典型案例	竞争的关键资源	技术基础	战略决策的关键维度	产业组织特点
单件小批生产范式	丰富的产品多样性;单件或者小批生产;客户拉动型的商业模式;通用机械;高技能的工人;“第一次工业革命”的结果	19世纪末出现以手工方式生产汽车	技能工人、通用机床	1876年磨床的出现;1882年电站的开发	客户喜好	技术能力主要体现为个人技能,大量小规模的手工作坊
大规模生产范式	有限的产品种类;大批量的产品数量;生产推动型的商业模式;尽可能用机器替代人工;标准化的设备和流水线;相对低技能但高熟练度的工人;“第二次工业革命”的结果	福特T型车的流水线生产	大规模的流水线	可更换的、高质量的零部件	成本、产能和主导的消费需求	产业资本不断向大企业集中;高度一体化
大规模定制范式	丰富的产品组合;相对低价;商业模式兼具生产推动和需求拉动的特点;生产管理的作用和复杂程度提高;用人员的技能弥补机器本身的不足;“第三次工业革命”孕育阶段的产物	DELL的大规模定制	柔性制造系统;运营管理能力;工人技能	模块化设计;计算机和信息技术的广泛应用	产品组合和细分市场、质量	产业链逆向分解,非核心模块和制造环节大量外包;产业链合作变得更加重要
全球个性化制造范式	满足个性需求;进一步解决了产量和生产成本之间的矛盾;生产系统本身可以进行重构,从而满足产能和产品功能的任意调整;“产品—工艺—商业模式”一体化;“第三次工业革命”取得突破和深入发展后的产物	3D打印在航空和汽车制造业的应用	可重构生产系统;技术平台;人的技能和知识	基于模块的开放架构;人工智能、数字制造、工业机器人、添加制造技术	对多样化、多变市场需求的快速反应	产业组织向网络化和生态化发展;研发、设计的社会化参与

资料来源:作者根据相关资料整理。

三次工业革命的制造范式下,劳动者的核心人力资源不再是大规模生产模式下的简单的机械操作能力,也不仅仅是传统大规模定制范式和丰田精益生产方式所要求的掌握了多种机械工作原理、熟悉机械操作诀窍的能力,而是兼具能够准确理解市场需求和产品架构并能直接参与产品设计和生产的创造能力和执行能力。这种具有稀缺性和差异性的创造性劳动不仅是经营成本,更是企业竞争的战略资产。

“第三次工业革命”将重塑国际产业分工格局,后发国家必须寻求新的产业赶超路径。“第三次工业革命”背景下现代制造技术和生产设备大规模应用的过程,就是“现代机械和知识型员工”对“传统机械和简单劳动”逐步进行替代的过程。这种替代的经济合理性,不仅在于现代制造提高了劳动的边际生产率,更在于现代制造体系生产出的产品具有更好的性能、更强的功能和更短的产品开发周期。现代制造降低了工业对简单劳动的依赖,同时赋予产品更加丰富的竞争要素。因此,制造的价值创造能力、从而在产业价值链上的战略地位将变得与研发和营销同等重要,甚至超越其他价值创造环节,过去描述价值链各环节价值创造能力差异的“微笑曲线”有可能变成“沉默曲线”、甚至“悲伤曲线”。发达工业国家不仅可以通过发展工业机器人、高端数控机床、柔性制造系统等现代装备制造控制新的产业制高点,而且可以通过运用现代制造技术和制造系统装备传统产业来提高传统产业的生产效率,通过装备新兴产业来强化新兴技术的工程化和产业化能力,同时,由于现代制造系统与服务业的深度融合(典型如开放的软件社区和工业设计社区),发达国家在高端服务业形成的领先优势也可能被进一步强化。“第三次工业革命”不仅会削弱发展中国家的传统比较优势,

而且有利于发达国家形成新的竞争优势。如果后发国家不能充分利用现代制造技术创造的技术和市场机会,“第三次工业革命”将使不利于发展中国家的“中心—外围”世界分工体系被进一步固化。“第三次工业革命”为发达工业国家重塑制造业和实体经济优势提供了机遇,曾经为寻找更低成本要素而从发达国家转出的生产活动有可能向发达国家回溯,导致制造业重心再次向发达国家偏移。传统“雁阵理论”所预言的后发国家产业赶超路径可能被封堵。在基于传统制造技术的国际分工体系下,后发国家凭借比较优势通过承接产业转移在劳动密集型产业和技术密集型、资本密集型产业的劳动密集环节形成初步的制造基础,然后通过制造工艺的改良提高产品的性价比和国际竞争力,在制造能力的基础上进一步通过产品的模仿性创新和原始创新实现技术和产业赶超(Kim, 1997)。但随着现代制造技术和制造系统的大规模应用,则发达工业国家不仅可以在产品创新和品牌方面抑制后发国家,甚至能够利用具有更高生产效率的制造直击后发国家的初始优势,后发国家的工业赶超将面临来自发达国家的全方位抑制。

“第三次工业革命”将促进国家间产业竞争范式由企业间竞争和供应链间竞争向生态系统间的竞争转变。现代制造技术发展对产业组织结构的影响可能是二元的:一方面,由于前沿制造技术的开发和应用仍然需要大规模的研发投入和前期投入,因此只有那些具有多元的产品线和足够高市场份额的大企业才有动力率先投入和使用先进制造技术和制造系统;与此同时,设计、开发和制造的一体化也会一定程度上逆转过去几十年发生的由外包导致的全球价值链逆向分离趋势,制造与研发的协同效应可能加强一体化大企业的竞争优势,从而推进生产性资源的集中。另一方面,新兴制造技术也可能提高小型化、分散化经营的经济性。例如,以3D打印机为代表的个性化制造和网络开放社区的发展将大大促进以个人和家庭为单位的“微制造”和“个人创业”等极端分散组织方式的发展。又如,云计算使得企业可以将信息处理功能更多地外包给提供信息服务的第三方企业,加之数据挖掘技术的快速进步和服务模式创新,即便是地理上远离提供信息服务企业的小微企业也能够以足够低的成本获得更强的数据存储和计算能力。产业组织结构多元化的背后,是产业组织形式的生态化。制造业的“软化”和服务化,制造技术的融合,将使得企业之间的“需求—供应”关系变得越来越开放,企业的同一个产品或服务可能供应完全不同的行业、而不仅是同一行业的不同企业,不同产业链相互交织,形成开放的、多维的、复杂网络结构。虽然通常情况下平台企业掌握产业竞争的关键资源,但平台自身的竞争力常常是脆弱的,而且往往是多个企业共同支撑一个平台,或者同一个产品涉及到多个平台(例如数字制造同时涉及到超级运算和超级宽带等平台),因此很难识别决定产业长期竞争力的核心资源的“位置”在哪里。不是某个核心技术或某个企业决定产业的竞争力,而是整个系统的质量决定了产业的生命力。如果说开始于美国的大规模生产使得具有技术和市场投资能力的大企业成为蕴含一国产业核心竞争资源的主体,发端于日本的柔性制造使得紧密合作的供应链成为体现一国产业竞争力的组织形式,现代制造技术则使得一国的整个创新生态系统的适应性和动态能力,以及本国企业在全局创新生态中的“位置”成为获得产业长期竞争力的关键。

四、应对“第三次工业革命”的战略与政策调整

“第三次工业革命”突出了发达工业国家更具比较优势的知识和技术在生产制造中的重要性,因而可能对中国基于劳动成本优势的制造业发展构成严峻的挑战。但另一方面,制造技术、特别是制造技术应用所具有的特殊的技術特点决定了,“第三次工业革命”也可能为中国由“工业大国”向“工业强国”跨越提供宝贵的机会窗口。对于中国这样的后发国家而言,参与全球竞争最突出的优势是已经形成了完备的工业体系和庞大的制造基础。“第三次工业革命”对工业产生作用和影响的过程不是一蹴而就的,而是不断试错和学习、逐步演进的过程,这就为中国利用制造基础优势不断吸收现代制造技术、形成动态比较优势提供了机会。20世纪日本制造业的振兴为今天中国利用先进制造技术加速工业发展提供了很好的模板。20世纪70年代,日本在钢铁、纺织等劳动密集型和资

本密集型行业实现了对美国的赶超,当时美国的主流观点认为是日本的“低工资”促成其在这些产业的比较优势。在这种背景下,美国将自己的工业重新定位于高技术产业。到了70年末、80年代初,美国在半导体、计算机和高端装备等高技术产业也被日本赶超,美国国内的主流观点将其归咎于日本政府的贸易和投资保护。日本工业的全面崛起促使美国学术界、商界和政界都开始反思过去对日本产业竞争力来源的判断。以哈佛大学 Skinner 教授为代表的学者系统研究和比较了美日制造业的生产效率差距,并提出美国制造业衰落、日本制造业振兴的根本原因不在于相对要素价格和政策差别,而在于日本对制造技术的持续创新(Skinner, 1986)。尽管数控机床和柔性制造系统都发源于美国,但日本通过精细的生产管理和持续的制造技术改良形成了更有竞争力的制造能力。也就是说,虽然领先工业国家率先掌握了前沿制造技术,但由于现代制造技术和制造系统转化为现实产业竞争力是一个不断应用、持续改进的过程,后发国家完全可以凭借积极的组织学习和“互补性资产”的培育从技术进步中获取更大的利益。

“第三次工业革命”将是嵌入在整个技术经济社会系统中的多维度的变革,因此,迎接这场革命的战略准备不能狭隘地停留于前沿制造技术的突破:一是制造技术嵌入在更大的技术创新系统中。“第三次工业革命”是将包括数字、电子和材料在内的基础技术以及模拟、数字建模、机器人、人工智能、过程控制传感器、测度等技术工具向设计、开发、制造、配送和服务的各个环节应用和渗透的过程。因此,一国先进制造技术的突破必须打破传统、静态的技术和产业边界,或者形成独立的创新能力,或者具备接入和利用全球创新资源的能力,通过培育、整合各领域的技术能力才能形成具有竞争优势的现代制造能力。二是制造技术嵌入在企业的管理系统中。新一代制造技术的应用和执行过程从来都是制造技术与企业战略、营销和基础管理工作的系统性协调变革(Lester, 1998)。对美国柔性制造系统的一项调研发现,20世纪90年代初期其采用的柔性制造系统中高达20%的设备并没有实际投入使用,而制约这些设备使用效果的主要原因就是企业管理和员工能力没有与新的设备匹配(Koren, 2008)。可以预见,“第三次工业革命”必然伴随着产品创新、管理、商业模式等方面的变革,发生在工厂的制造革命是企业总体战略变迁的一部分。全球领先制造企业在加大先进制造技术投资的同时从来没有忽视对互补性资产和能力的投资。例如,GE 总裁在论及美国重拾制造业优势的策略时,就强调除了发展先进制造技术和材料工艺,还要加大人力资本创新,包括通过资本与工会的谈判形成更加灵活的用工制度,培养具备高技能和现代知识的员工,等等。三是制造系统嵌入在企业的治理结构和组织结构中。无论是传统大规模生产方式下的操作型员工,还是柔性生产方式下的技能型员工,他们作为资本家和管理者的代理人其基本任务都是贯彻执行管理者的指令。而在新的生产方式下,员工不仅要执行指令,还要在现场决策,现场工人成为能够参与产品设计和调整生产过程的知识型员工。员工知识在生产系统中的重要性和在契约网络中的投资专用性都大幅提高。信息、能力的重新配置要求与之相适应的产权的重新配置。与新的生产方式相匹配的公司治理结构要能够激发知识型员工的积极性。这种情况下,更能体现员工利益诉求和决策参与的共同治理结构和机制将变得更加重要。制造技术和制造系统的“嵌入性”意味着,在通过加大制造技术的研发,促进现代制造技术和制造系统的突破和应用的同时,更要注重与现代制造技术和制造系统具有战略互补关系(Milgrom, 1990)的配套技术、现代生产管理方法、知识型员工培养、企业组织结构和运行机制的完善。只有在发展现代制造技术的同时,加强互补性能力的培育和提升,才能将现代制造技术转化为现实的产品、企业和产业竞争力。

“第三次工业革命”的“演进性”和“嵌入性”对于思考中国“第三次工业革命”背景下的发展战略、产业政策调整具有极其重要的含义。与这种“演进性”和“嵌入性”相适应,未来中国工业发展战略计划和政策设计必须充分体现视野的长期性和部署的系统性。“第三次工业革命”对中国的经济发展既是挑战、也是机会,对于“第三次工业革命”,既要有紧迫感,也要有信心。这种紧迫感不同于2007年中国应对国际金融危机所需要的那种“应急反应”意义上的紧迫感,而是加快制定长期发展

战略并有计划、分阶段稳步推进的紧迫感;而信心则来自于在对“第三次工业革命”科学认识基础上的及时正确的战略调整。要在总体战略部署的指导下,通过加强前沿制造技术突破和制造系统优化,抢占“第三次工业革命”的技术制高点;通过完善适宜现代制造培育、发展的生态系统,加强先进制造在优势产业和新兴产业的推广应用,构筑中国制造业新的竞争优势。具体来说,一是在加强前沿制造技术突破和储备的同时,要加快适用性现代制造技术的应用,以应用导向的技术开发推动制造技术的持续改进和不断完善,促进局部制造技术优势向制造技术能力的转化;二是在加强现代制造技术突破和应用的同时,积极促进适用性先进制造技术的扩散和推广,形成制造技术群体性突破和创新的生态,促进个别企业技术能力向整个工业技术能力的转化;三是在技术突破和推广的同时,加强与现代制造技术相适应的现代生产管理、组织管理理念、方法的总结和传播,将制造技术竞争力转化为现实的产业竞争力和经济效益;四是促进先进制造技术在传统产业应用的同时,加快推进现代制造技术在战略性新兴产业发展过程中的新产品开发、工程化、产业化中的融合应用,最终形成先进制造技术发展与创新过程实现、价值链优化和产业结构转型的贯通衔接。在这种长期性、系统性战略观的指导下,为全面迎接“第三次工业革命”带来的挑战,未来中国发展战略和产业政策调整的要点是:

1. 转型升级战略调整

重新诠释经济转型升级的内涵,从“承接制造+产品创新”向“产品创新+过程创新”的模式转型。从产业层面看,过去我们讲转型升级主要是两层含义,一是从产业结构的角度提高高技术行业的比重;二是从全球价值链的角度从加工制造环节向微笑曲线的两端升级。而受到“第三次工业革命”冲击的恰恰首先是劳动密集型的产业和价值链环节。按照既有的产业政策思路,针对以劳动密集型为主的传统产业,转型升级的主要任务是“技术改造”,即既定制造系统(主要是大规模流水线生产)下的技术改进和设备更新。但如果新的制造技术和制造系统真的在这些行业实现对既有制造系统的替代,则中国传统产业下一步发展需要解决的就不仅仅是技术改造的问题,而是制造系统的重新选择以及与新的要素投入结构相适应的整个制造系统的优化。因此,未来的工业转型升级不仅仅是改造传统产业、发展高技术产业和高附加值环节的问题,还要包含如何利用现代制造技术赋予传统产业和制造环节新的竞争优势的问题。从企业层面看,过去三十多年中国制造企业的成长基本遵循了“承接制造能力—市场开拓—改进型创新—自主创新”的路径。按照这样的路径,当中国本土企业已经掌握了足够规模和足够水平的制造能力时,资源投入的重点就应当从生产转向产品创新,或者从工厂转向实验室。在这种背景下,有学者提出“自主产品开发是中国企业自主创新的关键”(路风,2006)。在这种理论的指导下,近年来中国的科技资源不断向产品创新倾斜。然而,在“第三次工业革命”的背景下,中国的产业赶超必须从“承接制造+产品创新”向“产品创新+过程创新”的模式转型:一是中国工业参与国际分工的形式不能仅仅停留于“组装和搭配”标准化的模块化架构产品。中国缺乏竞争力的领域不仅体现在高技术产业和价值链环节,还体现在需要制造能力和技术诀窍的一体化架构产品领域(Fujimoto,2008)。对高技能和多技能要求更高的一体化架构产品优势的形成需要中国企业在产品创新和工艺创新两个方面进行高强度的学习和赶超。二是产品技术和工艺技术融合发展的技术趋势决定了中国必须坚持产品创新和工艺创新同时推进的全面自主创新道路。现代制造要求在产品阶段就能够充分体现产品稳定性、可靠性和可制造性等工艺要求,在这种情况下,产品设计和生产工艺之间的互动变动越来越重要。当生产过程特殊或不易于理解时,产品设计所需要的决策参数就不容易形成,这时,不掌握足够工艺制造能力的企业或国家不仅无法完成后续工程化和产业化,连产品设计本身都无法顺利完成(Ulrich,2011)。三是人口大国的基本国情决定了中国必须坚持产品创新和工艺创新同时推进的全面自主创新道路。对于中国这样的一个人口众多、将长期面临巨大就业压力的国家来说,工艺创新具有尤为重要的经济社会意义。相对而言,产品创新强调正式研发和实验室的作用,强调科学家和研发人员等少数技术精英;而过程创新是涉及所

有劳动者的集体性能力提升,除了生产装备现代化和现场管理方式的优化外,过程创新还要求将现场工人由简单劳动者转化为技能和知识型员工,因而是一种更加普惠性、包容性的创新。生产设备可以外购获得,但制造能力的形成却必须是自主培育的。大规模定制在日本企业成功应用的一个重要原因,就是日本企业建立大规模定制制造系统的过程,不是向大多数美国企业那样完全从外部采购设备和系统,而是加强企业与设备供应商的合作,加强零部件和系统的内部研发,使制造技术成为自身的专有技术和独特竞争优势(Kotha,1995)。更多体现为隐含知识和组织能力的制造能力,更需要以我为主的自主创新。

2. 全球竞争战略调整

促进由个别要素优势向形成综合成本优势和新的竞争优势转变。在机械替代劳动的压力下,未来发达工业国家向发展中国家的制造业国际直接投资增速可能逐渐放缓,甚至出现回流。在这种情况下,中国如果希望继续通过吸引国际投资来引进技术和管理,就必须提高基于综合成本的区位优势。制造的区位优势不仅仅由劳动力成本决定,而是由包括劳动力、税收、管制、贸易条件、知识产权保护、土地、资本、能源、交通、商业信誉、物流等因素在内的综合成本决定。以美国为例,过去10年间,其对外直接投资的最大经济体不是中国,而是劳动力成本相对高但综合成本更低的欧洲国家,其中仅对爱尔兰一国的直接投资总额就是对中国直接投资总额的3倍多。因此,未来中国加强比较优势的思路,不是一味抑制传统低价格要素的成本上涨,而是通过降低制度性的经营成本,形成综合成本比较优势。在加强综合成本优势的基础上,要进一步通过促进先进制造技术的应用促进形成中国工业新的竞争优势。加强政策引导和环境建设,促进精细制造“从上而下”地贯穿于企业的整个管理过程,使生产管理成为企业管理者和员工的基本管理理念和基本工作理念。将产品质量、新产品制造周期等生产管理目标提升到企业的战略管理层面,并将这些目标纳入到包括总裁在内的高层管理者、技术人员和现场工人的绩效评价体系中。针对现代制造技术对技能和知识提出的新要求,加强对员工的生产管理培训,使其与高层管理者、中层管理者和工程技术人员共同形成完整的生产管理循环。

3. 产业发展战略调整

在加快产品技术创新的同时,协同推进战略性新兴产业与先进制造技术融合发展。一方面,先进制造技术的突破离不开战略性新兴产业的支撑,例如云计算、云储存、新材料等新技术和新产品是现代制造技术和制造系统的基础技术,这些领域的技术突破常常成为制造技术突破的瓶颈。另一方面,战略性新兴产业的发展离不开现代制造技术的推动:一是多数战略性新兴产业仍然处于实验室的概念化和初步设计阶段,以数字制造为代表的现代制造技术可以大幅提高新产品设计的可制造性,缩短产品原型的开发成本和制造时间,从而缩短战略性新兴产业的工程化、产业化周期,有利于抢占战略性新兴产业发展的先机。美国生物产业发展的经验表明,没有与产品技术相适应的制造技术和工艺的支撑,没有有效的制造、研发一体化组织,大量的生物技术只能停留于实验室的概念研发和以技术交叉许可为主的技术交易,频繁的技术市场内部交易并不能转化为现实的产业利益(Pisano,2006)。二是在新兴产业市场化的初期,通常都具有主导设计不明确、需求多样、细分市场规模小的技术经济特点(Geroski,2003),传统的大规模生产并不适用于这种市场容量小、高度细分的市场结构。在这种情况下,可重构生产系统和添加制造等个性化制造就能够充分发挥其多品种、小批量、低成本的优势。因此,战略性新兴产业的发展必须与现代制造技术的研发、应用结合起来协调推进,通过战略性新兴产业发展为先进制造技术突破提供应用场所和市场支撑,通过先进制造技术的发展为战略性新兴产业的工程化、产业化提供工艺保障。

4. 技术创新战略调整

在加强前沿制造技术突破的同时,更要注重适用性先进制造技术的攻关、应用和扩散。制造技术的复杂性和先进性并不能决定工业生产的有效性。20世纪80年代初期美国制造业企业应用柔

性制造系统失败的一个重要原因,不是这些企业购置的设备不够先进,恰恰相反,当时美国企业的柔性制造系统的开发时间通常为 2.5 至 3 年,系统开发的平均人力投入为 25000 人工作时间;而日本企业柔性制造系统的平均开发时间为 1.25 至 1.75 年,系统开发的平均人力投入为 6000 人工作时间。然而更大的系统开发投资反而成为美国企业制造系统的“祸根”;由于更大的投入,美国企业的制造系统较日本企业更加复杂,但过度复杂的系统设计和冗余技术也导致生产运营中出现更多的缺陷。因此,中国的制造技术战略不应是放弃目前主导的大规模生产方式,并简单用高度信息化、自动化、数字化的大规模定制系统和个性化制造系统取而代之。事实上,在同一间工厂,甚至同一条生产线在不同的领域合理地组合运用大规模生产和大规模定制,恰恰可以达到更好的制造绩效(Kotha, 1995)。在未来相当长的时期内,适用性的、多技术路径的、持续改进型的制造技术创新和发展模式对于中国的制造能力提升更有意义。此外,发展先进制造要综合考虑目前中国企业的技术应用能力,在加强前沿制造技术开发的同时,集中资源促进适用型的现代制造技术在广大企业、特别是中小企业的推广和应用,不仅将制造技术转化为企业竞争力,而且要通过适用技术的扩散将企业竞争力转化为产业竞争力。在技术开发和推广过程中,要注重加强中央政府、地方政府、企业、消费者、社会性组织、研究型大学、公共研究机构以及企业内部的管理者、研发人员、工程师与工人等利益相关者的积极协作,将技术突破过程与技术示范、应用过程结合起来,在克服技术壁垒的同时,注重克服制造技术转化为生产效率和创新能力的各类管理因素和社会制度因素,使制造技术真正转化为竞争力。

5. 国家信息战略调整

加强信息基础设施建设和国家工程数据库建设。由于人工智能、数字制造等都是基于 ICT 发展起来的基础制造技术,因此信息技术成为现代制造技术体系中最底层的技术,信息存储、传输和处理能力成为决定先进制造技术和制造系统的技术成熟度和应用效果的关键因素,工业信息的计算和处理能力已经成为新的影响制造业竞争力的战略性资产。美国竞争力委员会(2011)甚至提出将高效能运算定义为“改变全球制造业游戏规则的工具”,并建议通过积极的政府企业合作来推进美国“计算资源”的协调和整合,将美国的前沿计算能力转化为制造业竞争力。而德国和日本等工业强国也纷纷出台计划和政策加大对高效能运算的研发和应用支持。例如,德国在斯图加特大学设立了专门的高效能运算中心,为德国的企业应用和学术研究提供高效能运算服务。面对发达工业国家针对现代制造技术发展的要求在信息基础设施领域的积极部署,中国应当通过建立国家高效能运算研发中心和高效能运算服务中心,在加快高效能运算前沿技术突破的同时,重点加快促进既有的高效能运算技术储备转化为商业应用和公共服务。制约中国现代制造技术发展和精细制造水平提升的原因,除了现代信息基础设施的缺失外,还有作为生产管理质量持续改善基础的工程数据库的缺失。针对目前中国制造业企业的质量管理缺乏系统工程数据支撑的问题,建议加快推进国家级工程数据库的建设。工程数据库建设可以采取政府出资、独立非盈利性社会组织运营的组织方式,数据库数据采取会员企业自愿提供、共同分享的工作方法,形成持续投入、有效运营的可持续发展机制,通过基础技术进步促进中国工业产品质量和性能的大幅提升。

[参考文献]

- [1]Jewkes, J., Sawers, D., and Stillerman, R. The Sources of Invention[M]. London, Macmillan,1960.
- [2]Rifkin, Jeremy. The Third Industrial Revolution: How Lateral Power is Transforming Energy, the Economy, and the World[M]. Palgrave Macmillan,2011.
- [3]Wadhwa, Vivek. Why It's China's Turn to Worry about Manufacturing[N]. Washington Post,2012-01-11.
- [4]Council on Competitiveness. “Make”, An American Manufacturing Movement [EB/OL]. <http://www.compete.org/publications/detail/2064/make/>,2011
- [5]Hausmann, R., Hidalgo, C.A. et al. The Atlas of Economic Complexity: Mapping Paths to Prosperity[EB/OL].

- <http://www.cid.harvard.edu/documents/complexityatlas.pdf>,2011
- [6]Porter, Michael, Rivkin Jan. The Looming Challenge to U.S. Competitiveness [J]. Harvard Business Review, March,2012.
- [7]Pisano,Gary, Shih, Willy. Does America Really Need Manufacturing[J]. Harvard Business Review,2012(March).
- [8]Perez, Carlota. Technological Revolutions, Paradigm Shifts and Socio-institutional Change [A]. E.Reinert, ed. Globalization, Economic Development and Inequality, An Alternative Perspective[C]. Edward Elgar, Cheltenham, 2004.
- [9]Koren, Yoram. The Global Manufacturing Revolution[M]. John Wiley & Sons,2008.
- [10]Ulrich, Karl. The Role of Product Architecture in the Manufacturing Firm[J]. Research Policy,1995,(24).
- [11]Kim, Linsu. Imitation to Innovation[M]. Harvard Business School Press,1997.
- [12]Skinner, Wickham. The Productivity Paradox[J]. Harvard Business Review,1986(July).
- [13]Lester, Richard. The Productive Edge: How U.S. Industries Are Pointing the Way to a New Era of Economic Growth[M]. Norton, 1998.
- [14]Milgrom, Paul, and Roberts, John. The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization[J]. American Economic Review,1990,(3).
- [15]Fujimoto, Takahiro. Architecture-based Comparative Advantage in Japan and Asia, in Manufacturing Systems and Technologies for the New Frontier[M]. Springer,2008.
- [16]Ulrich, Karl. Product Design and Development[M]. McGraw Hill Higher Education, 2011.
- [17]Kotha, Suresh. Mass Customization: Implementing the Emerging Paradigm for Competitive Advantage [J]. Strategic Management Journal, Summer Special Issue,1995,(16).
- [18]Pisano, Gary. Science Business[M]. Harvard Business Press, 2006.
- [19]Geroski, Paul. The Evolution of New Markets[M]. Oxford University Press, 2003.
- [20]路风. 走向自主创新[M]. 广西:广西师范大学出版社,2006.

Transformation of the Techno-Economic Paradigm: “The Third Industrial Revolution” and the Adjustment of China’s Industrial Strategy

HUANG Qun-hui, HE Jun

(Institute of Industrial Economics CASS, Beijing 100836, China)

Abstract: The technological maturation and cost reducing of the fundamental manufacturing technologies, together with the institutional rearrangement and policy adjustment by major industrialized economies in the post-crisis era, are arousing the “third industrial revolution” (TIR), which is featured with emerging personalized manufacturing and restructured mass-production and flexible production. With the far fetching shift in techno-economic paradigms, TIR will lead to the re-definition of the manufacturing’s economic function, re-interpretation of the industrial competitiveness, and the rebuilding of the resource base. With the increasing profitability of manufacturing, the “smiling curve” may be changed to the “silent curve”, or even the “sorrow curve”. The later-comers” path of industrial catch-up, as predicted by the classical “flying-geese” model, could be cut off, and the “center-periphery” scheme of global division of labor would be strengthened. Meanwhile, inter-nation industrial competition paradigm would shift from inter-firm and supply-chain competition to the competition between industrial ecological systems, whose adaptability and dynamic capability would be crucial for a country to gain long-term competitiveness. For the preparation of the TIR and overwhelming competition with advanced industrialized countries at each part of the value-chain in the future, China’s industrial development strategy must be re-oriented.

Key Words: advanced manufacturing technology; the third industrial revolution; techno-economic paradigm; industrial strategy

[责任编辑:高粮]