

突破制造业关键核心技术： 创新主体、社会条件与主攻方向

谢富胜，王松

[关键词] 以企业为主体；创新驱动发展；干中学；关键核心部件开发平台

[摘要] 促进科技创新与经济社会发展深度融合，要坚持以企业为主体，直面社会需求，推进制造业关键核心技术创新。创新过程具有不确定性、累积性和集体性，要求企业适应创新的特征和社会条件，始终坚持创新战略，保证资金持续投入，组织协调人力资源。企业要抓住当代制造业技术创新的重点，以关键核心部件创新为主攻方向，建立关键核心部件开发平台。通过系统性持续性的研发活动，积累知识和经验，培育符合创新发展要求的人才队伍，切实提高技术创新能力，从而突破关键核心技术，推动制造业高质量发展，真正实现创新驱动发展。

[作者简介] 谢富胜，中国人民大学经济学院、中国特色社会主义经济建设协同创新中心教授；王松，中国人民大学经济学院博士研究生（北京 100872）。

当前，以人工智能、大数据、云计算、物联网等为代表的新一轮科技革命和产业变革孕育兴起，与我国加快转变经济发展方式形成历史性交汇。我国既面临赶超跨越的难得历史机遇，也面临差距拉大的严峻挑战，经济社会发展对科技创新的需求从未像今天这样迫切。习近平总书记多次强调，科技创新要面向国民经济主战场，把满足人民对美好生活的向往作为科技创新的落脚点，要矢志不移自主创新，切实提高关键核心技术创新能力。这要求深入实施创新驱动发展战略，加快制造业关键核心技术攻关突破，大力推动科技成果转移转化，着力引领产业向中高端迈进，用科技创新为经济发展注入新动力，更好地服务经济社会发展和广大人民群众。

然而，我国科技研发与经济社会发展联系不够紧密的问题是多年来的一大痼疾，科研和经济仍然存在“两张皮”现象。针对这一问题，经济学界从不同视角出发做了大量研究。很多经济学者从经验上分析了市场结构、要素配置、所有制、规制政策等对技术创新的影响，马克思主义经济学者则充分阐述了自主创新的重要性和意义。这些研究深化了我们对科技创新的认识，但都绕开了创新过程的“黑箱”，并没有抓住问题的要害。对此，应当在认识经济与科技互动发展规律的基础上，明确新时代创新的主体，阐明推动创新的社会条件，聚焦创新的主攻方向。我们认为制造业科技创新要以企业为主体，适应企业创新过程的特征和条件，通过打造关键核心部件开发平台不断增强自主创新能力，以关键核心部件创新引领产品创新，增加高质量、低成本的有效供给。这样才能使科技创新的经济潜能

释放出来,促进制造业转型升级,支撑和引领我国经济实现高质量发展。

一、科技创新应当以企业为主体

我国长期重视发展科学技术,取得许多举世瞩目的伟大成就。特别是党的十八大以来,深入实施创新驱动发展战略,出台了一系列相关改革措施和政策法规。全国科技经费投入逐年提高,2017年投入1.76万亿元,较2012年增长71%,平均增速高达14%。^①科技创新取得诸多突破性进展,在一些重要领域方向跻身世界前列,某些前沿方向开始进入并行、领跑阶段。但是,我国科技研发整体水平仍处于“大而不强、多而不优”的局面,^②与发达国家相比还有较大差距,关键核心技术受制于人的格局没有从根本上改变。2018年初发生的“美国制裁中兴”事件再次警示:我国的自主创新能力还不够强,尤其是缺乏制造业关键核心部件的自主创新能力,已经成为制约产业升级的短板。这些情况不禁令人反思,作为研发投入的三大主体,企业、科研院所、高等院校究竟应该发挥怎样的作用?谁才是科技创新的主导者?是企业,还是高校、科研院所?实际上,科研院所、高等院校在其中发挥了重要的基础性作用,并且培养了一大批科研人员和工程师。但在研发资源配置、技术成果转化、生产工艺改进等科技创新的关键环节,真正发挥主导作用的则是企业。

经济社会发展和科技发展互动关系的一般规律表明,科技创新要适应和满足社会需要才能取得重大突破,才能在经济发展中充分发挥支撑引领作用。正如恩格斯所言,“社会一旦有技术上的需要,这种需要就会比十所大学更能把科学推向前进。”^③高校、科研院所的教学科研工作往往与市场需求相去甚远,对市场需求变化的响应不够灵活。而企业作为经济活动的微观主体,最能在激烈的市场竞争中敏锐察觉消费者需求的变化,做到以需求特征为牵引,把科学知识和技术成果积极转化为满足社会需要的产品。在产品开发过程中,企业能够直面生产中遇到的各类难题,通过“干中学”积累实践经验,改进和完善各项工艺设备,不断涌现出新发明新技术。而企业之间的竞争和模仿会促进新发明新技术的扩散和传播,引致技术、组织、金融等多方面的创新。^④由此促进全面创新,将科技转化为推动经济社会发展的现实动力。

近代人类社会的科技史表明,以企业为主体能够有效推动科技创新。从发达国家技术革新历程来看,在企业主导下进行“有组织的创新”是19世纪末以来德国、美国科技发展的显著特征。^⑤通过企业的有组织创新,有力推动了基础研究到产品开发的转化,实现技术商业化从而取得经济效益。^⑥德国的化工企业最先设立内部实验室,倡导有组织的工业研究,促进有机化学技术的商品化。在美国,公立大学培养的科技人才大都受雇于各类工业企业,主要研究如何将科学技术转化为最终产品。企业大约2/3的研发投入都用于产品设计和制造过程中的试验、再试验与改进。这使科技进步不再是独立的知识创新,而是内生于生产过程中具体问题的解决,极大激发了高校和企业实验室中的科研工作。^⑦据统计,

① 根据国家统计局、科学技术部、财政部联合发布的2012—2017年《科技经费投入统计公报》计算。

② 张翼:《我国科技研发经费投入强度再创新高》,《光明日报》2018年10月10日。

③ 《马克思恩格斯文集》,第10卷,人民出版社,2009年,第668页。

④ 约瑟夫·熊彼特:《经济发展理论》,何畏、易家详译,商务印书馆,2009年,第66-108页。

⑤⑦ 莫韦里、罗森柏格:《革新之路——美国20世纪的技术革新》,王宏宇、贺天同译,四川人民出版社,2002年,第1-119页。

⑥ S. C. 柯拉尔、E. 弗朗汉姆、S. J. 佩里、E. M. 亨特:《有组织的创新:美国繁荣复兴之蓝图》,陈劲、尹西明译,清华大学出版社,2017年。

20世纪50年代之初,美国企业研发成果占申请专利的60%,^①这一比例在随后几十年中始终保持增长趋势。^②纵观三次科技革命,同样不难发现企业对科技创新的重要影响。瓦特的改良蒸汽机研发得到罗巴克、博尔顿等工业家的资助、应用和推广;^③发电机的发明和改进是在联盟公司、西门子公司、格拉姆公司等企业的努力下实现的,催生了电力工业的兴起;^④晶体管最初由美国贝尔电话实验室发明,在得克萨斯仪表公司的努力下取得商业成功,才带来了半导体产业的发展。^⑤

以科技创新推动经济高质量发展,加快建设制造强国,要进一步突出企业的主体地位。突破制造业关键核心技术,应当通过企业“干中学”不断积累技术研发的知识和经验,在企业主导下整合高校、科研院所的研发资源,以问题导向刺激相关领域科技创新,使教学科研中培养的科研人员、劳动者的知识和技能符合社会生产过程的要求。^⑥应当建立以企业为主体,市场为导向,产学研深度融合的技术创新体系。通过企业这一创新主体,推进产业化创新,尽快形成一批带动产业发展的关键核心技术。使科技创新同国家需要、人民要求、市场需求相结合,完成从科学研究、实验开发、推广应用的三级跳,创造新的经济增长点,真正实现创新价值、实现创新驱动发展。

二、企业创新的社会条件

深入实施创新驱动发展战略,应当深刻认识创新过程的特征、推进创新需要满足哪些社会条件。拉佐尼克和奥沙丽文从动态演化的视角对此进行了深入分析,^⑦他们研究了企业创新过程中内外部关系的互动变化和20世纪西方主要发达国家企业的创新活动指出,创新具有不确定性、累积性和集体性的特点,在此基础上提出“创新企业的社会条件”,即战略控制、财务承诺、组织建构。^{⑧⑨}

(一) 创新活动的特征

企业的创新活动是内生能力与外部环境交互作用的社会化生产过程,受到市场、组织和制度等内外部条件的影响。奥沙丽文对相关研究进行总结概括,提炼出创新过程的典型特征是不确定性、累积性和集体性。^{⑩⑪}

1. 不确定性:创新意味着对原有知识的完善甚至替代,需要解决许多未知的问题,其结果也无

① Schmookler J., “Inventors Past and Present”, *The Review of Economics and Statistics*, 1957, 39 (3): 321-333.

② Griliches Z., Nordhaus W. D., Scherer F. M., “Recent Patent Trends and Puzzles”, *Brookings Papers on Economic Activity: Microeconomics*, Vol. 1989, (1989): 291-330.

③ 查尔斯·辛格、E. J. 霍姆亚德、A. R. 霍尔、特雷弗·I·威廉斯:《技术史》,第4卷,辛元欧译,上海科技教育出版社,2004年,第124-128页。

④ 查尔斯·辛格、E. J. 霍姆亚德、A. R. 霍尔、特雷弗·I. 威廉斯:《技术史》,第5卷,远德玉、丁云龙译,上海科技教育出版社,2004年,第121-141页。

⑤ 莫韦里、罗森柏格:《革新之路——美国20世纪的技术革新》,第142-156页。

⑥ 谢富胜、李安:《人力资本理论与劳动力价值》,《马克思主义研究》2008年第8期。

⑦ Lazonick W., “Innovative Enterprise and the Theory of the Firm”, *The Political Quarterly*, 2015, 86 (S1): 77-97.

⑧ Lazonick W., O’ Sullivan M., “Finance and Industrial Development, Part 1: the United States and the United Kingdom”, *Financial History Review*, 1997, (4): 7-29.

⑨ Lazonick W. & O’ Sullivan M., “Finance and Industrial Development, Part 2: Germany and Japan”, *Financial History Review*, 1997, (4): 117-138.

⑩ Pavitt K., “Key Characteristics of Large Innovating Firms”, in Dodgson M and Rothwell R. (eds.), *The Handbook of Industrial Innovation*, Edward Elgar, 1994.

⑪ O’ Sullivan M., *Contests for Corporate Control: Corporate Governance and Economic Performance in the United States and Germany*, Oxford University Press, 2000.

法提前预知。^① 市场和技术前沿瞬息万变，企业的创新过程具有高度不确定性。在研发中，技术攻关会遇到各种难题，需要投入大量人财物资源，而技术成果又可能难以转化为现实生产能力，存在开发失败或无法量产的风险。大量投资无法及时收回，将推高企业运营成本，带来巨大的财务压力。在竞争中，创新的速度和创新产品的市场接受度至关重要。企业开发新产品的速度可能跟不上市场需求变化的速度，即便成功开发出质量更高、成本更低的产品也未必适销对路。而且竞争对手的创新速度可能更快。这导致企业无法在市场竞争中获得足够的经济收益，难以形成竞争优势。

2. 累积性：创新本质上是对科技知识、研发经验进行学习和转化的过程，这一过程具有连续性、互动性，要长期累积知识和经验。马克思曾指出，“因为总是有好几代工人同时在一起生活，在同一手工工场内共同劳动，因此，这样获得的技术上的诀窍就能巩固、积累并迅速地传下去。”^② 在持续推进的创新过程中，企业需要长期关注前沿动态，协调内外部关系，不断积累创新经验。而经验累积能够增加创意存量，创意作为非竞争性的公共品将进一步增加员工的知识和技能，^③ 促进企业发掘新的创新机会。对共同经验的积累和创造性转化，构成了企业创新的基础。这会逐渐塑造企业的认知水平、决策模式，以及内生的组织能力和创新能力。

3. 集体性：作为社会化生产过程，创新是一种集体性现象，^④ 包括集体学习、集体创造以及由此形成的共同经验。在集体学习过程中，个体之间会相互影响，能产生压力使学习的效率更高，激发学习的活力，可能催生新的集体性知识。这些知识和技能是组织内部人员在生产生活中逐渐累积、创造和习得的，能够促进知识的创造、传播和转化。正如芒图所言：“发明不仅是发明家的历史，而且也是集体经验的历史，因为集体经验逐渐解决集体需要解决的问题。”^⑤ 创新的集体学习过程专属于该生产组织，个人独立工作无法获得这种学习机会和经验，组织外的人员更无法掌握和模仿。这会形成企业的独特优势，这是竞争对手单凭资源投入根本无法复制的。

（二）企业创新的社会条件

适应创新的特征，企业创新要满足战略控制、财务承诺、组织建构等社会条件。在创新过程中，企业要制定创新战略，积极推进集体学习，合理调配和开发利用内外部资源，保证为学习过程提供持续的资金投入。

1. 战略控制：企业创新战略具有不确定性，在研发过程和经济收益上都存在失败风险，而小规模的、偶然的创新成果又很难保证企业持续获得正的经济利润。在竞争压力和市场逐利性的驱使下，企业将创新纳入生产组织和财务预算中，日益内化为生产过程的一个环节，使其成为一种有序的、可控的常态化活动。^⑥ 企业在制定创新战略时，要充分考虑技术上和经济上存在的不确定性，对集体学习和资金投入做出战略安排，控制创新流程，管理创新成果。但是，从投入创新到取得成果，再到产生收益，具有一定的时滞性。当创新的经济回报不足时，企业要增强创新自信，以长远战略眼光时刻注意市场和技术条件变化，把握创新方向，坚持推进创新战略。对于创新成果，要根据市场需求和竞

^① Kline S. Rosenberg N., “An Overview of Innovation”, in Landau R. Rosenberg N. (eds.), *The Positive Sum Strategy: Harnessing Technology for Economic Growth*, National Academic Press, 1986.

^② 马克思：《资本论》，第1卷，人民出版社，2004年，第394页。

^③ 查尔斯·琼斯、保罗·罗默：《新卡尔多事实：创意、制度、人口和人力资本》，马少强译，《比较》2009年第6期。

^④ Howells J., “Innovation Collaboration and Networking: a European Perspective”, in *Science Policy Support Group, European Research, Technology and Development: Issues for competitive future*, London, 2000.

^⑤ 保尔·芒图：《十八世纪产业革命》，商务印书馆，1997年，第160页。

^⑥ Baumol W. J., *Entrepreneurship, Management, and the Structure of Payoffs*, MIT Press, 1993, p. 114.

争的情况进行挑选,决定使用的时机和方式。^①通过战略控制能够最大限度地降低创新的不确定性,保证企业长期持续获得切实可行的新技术新产品。

2. 财务承诺:创新是持续学习和技术知识累积的结果。面对市场环境和前沿的变化,企业需要投入大量资源,长期关注、学习和积累相关知识,还要不间断地开发利用这些知识资源,才能始终保持自身在该领域的创新力和竞争力。但是,创新又具有高度不确定性。长期大规模投入会占用大量资金,短期内无法产生回报,市场反应和未来收益尚不明确。在学习过程中,人们的认识还会随时发生变化,会因遇到困难而退出学习或撤出资金,导致创新项目流产。实际上,困难未必说明创新战略存在失误,反而可能表示资源投入量和时间还不够,需要继续保持资金投入。这些情况表明创新需要财务承诺,企业要融通财务部门、金融机构、政府财政等渠道的资金,为学习过程和开发试验提供持续性资金投入,直到新产品、新技术产生收益。

3. 组织建构:创新的集体性、累积性表明,企业的创新过程要通过集体学习,不断积累共同经验和知识,进行创造性转化。企业内部关于分工和整合的组织建构条件能够影响知识创造的形式、传播范围和转化效果。创新的关键就在于构建成功的集体学习过程。学习过程是开放的,包括内部和外部两方面。在内部,各部门员工直接控制创新过程,要激励他们参与到互动学习过程中,整合其专门知识和技能。员工在创新经历中得到的能力提升会塑造企业的认知水平、行为方式和决策模式。使企业在这一过程中形成独特的资源利用方式,获得持续的竞争优势。^②在外部,要与客户、科研院所、金融机构、政府部门及各类其他企业建立和保持良性互动关系,整合外部资源、市场、创新能力等。通过组织协调内外部关系,累积两方面的知识和经验,提升员工的技能,激发内外部积极性和创造力,形成合力以实现创新目标。

(三) 我国企业进行创新的着力点

我国企业的创新存在战略眼光缺乏、资金投入不足、组织建构缺失等问题。以企业为主体进行产业化创新,应当直面这些问题,适应创新过程的特征,根据创新的社会条件合理配置科研资源。这样才能实现政府、高校、企业三者的角色转变和职能转换,切实营造实施创新驱动发展战略的体制机制和良好环境,加快突破关键核心技术,推动制造业高质量发展。

1. 增强创新自信 始终坚持技术创新。

我国企业的技术水平整体上相对落后,对许多技术领域的研发起步较晚,前期知识积累不足,研发人员缺乏相关技能和经验,创新能力与国际领先企业的差距较大。因而许多企业将研发精力集中于门槛较低、较为落后的技术领域,或满足于低端加工制造环节带来的经济回报。相较之下,推行超越式创新战略的难度较大,且经济效益不确定。这种短视的决策模式,导致企业缺乏关键核心技术创新的动力和信心,创新意愿不强。但是,长此以往不会有根本出路,企业应当具备长远的战略眼光,自主制定创新战略,将创新能力提升视作面向未来收益的战略投资,要有坚定的战略定力,增强创新自信,始终坚持推进创新战略,加强对创新过程的战略控制,实现技术创新常态化。近年来,我国企业华为在竞争激烈的信息通讯产业中快速崛起,正是因为始终坚持技术创新战略。该公司每年研发投入占收入的10%以上,2018年的投入更是超过1000亿元人民币,^③连续六年高于净利润。而实际上,

^① Scherer F. M., *Industrial Market Structure and Economic Performance*, Rand McNally Publishing Co., 1980, pp. 408-410.

^② Lazonick W., *Business Organization and the Myth of Market Economy*, Cambridge University Press, 1991, pp. 77-84.

^③ 华为投资控股有限公司:《2018年年度报告》,2019年,第3页。

研发成功率不足50%，但持续性研发活动培养了一大批战略决策者和研发人员，^①大大提升了创新能力。截至2018年底，华为公司累计获得专利授权87805项。^②特别是在芯片研发上，华为公司于2004年组建海思半导体公司开始进行自主研发，不断探索和改进关键核心技术。2018年底到2019年初，华为公司相继发布麒麟980、昇腾910、鲲鹏920、天罡、巴龙5000等高端芯片，在AI芯片、5G基站及基带芯片等领域达到世界领先水平。^③

2. 保证资金投入的持续性。

创新过程需要长期的大量的资金投入，但由于未来收益不确定，且囿于资金实力限制，许多企业难以维持大规模的技术研发活动。在创新过程中，不能完全按利润标准来衡量成败得失，企业应当将实施创新战略纳入财务预算，在预算约束下尽可能地推进技术研发和集体学习，但要保证持续性。财务承诺条件还要求企业千方百计地为创新过程筹措资金，除企业自有资金积累外，还包括外部社会资本融通、国家财政补贴或资助等。创新是一个系统工程，创新链、产业链、资金链、政策链相互交织、相互支撑。政府应当建立健全科技创新导向的资金支持体系：第一，建立包含风险投资的金融体系，引导金融机构加强和改善对企业技术创新的金融服务。例如，设立国有资本风险投资基金，用于支持创新型企业，尤其是科技型小微企业。开设“科创板”股票交易市场，拓宽科技型企业融资渠道，加大资本市场支持力度。第二，实行有针对性的创新优惠政策，激励企业开展创新活动，促进自主技术、自主品牌、自主标准的成果优先使用。如研发经费抵税、政府优先采购、知识产权保护等政策措施。第三，加快建设产学研协同创新平台，优化配置人财物资源。比如，布局一批国家实验室创新基础平台，依靠跨学科、综合集成和高强度支持并组织具有重大引领作用的协同攻关，形成协同创新新格局。

3. 组织协调内外部人力资源。

企业组织是企业统筹内外部条件的重要载体，重大技术突破往往离不开组织建构的有力支持。我国企业创新能力不足的一个重要原因就是组织协调机制缺失。许多企业组织仍延续科层制形式，缺乏信息及时沟通和快速响应的机制，而且对员工经验技能开发不够重视，难以组织起有效的集体学习。应当从组织建构条件出发，加强对内外部关系的组织协调，激发内外部创造力。对于组织形式，应当探索建立扁平化、平台化企业组织，提供高效、畅通的信息传递渠道，及时响应内外部条件的变化。在企业内部，首先要重视集体学习，战略决策中应规定集体学习的方向和结构，着力培育和开发员工的多元化知识和技能。积极探索完善的激励机制引导各部门员工参与学习过程，开展互动合作，分享知识、技能和经验，如轮岗制度、例会组会、学习小组、民主管理、收益共享等。员工的劳动积极性越高，付出的劳动质量和效率就越高，就越能发展出高质量的知识和技能，从而创造出更多更好的工艺和技术。^④对于外部关系，主要是积极开展校企合作，共建产学研创新实体，资助高校、科研院所进行基础研究和工艺教学，使其服务于企业生产过程，不断为企业创新提供新理论、新知识，培养研发人员、工程师和技术工人。加强组织协调能够保证创新战略落实，提升组织能力、学习能力和创新

① 任正非：《励精图治，十年振兴——任总在Fellow及部分欧研所座谈会上的讲话》，2018年7月3日，http://xinsheng.huawei.com/cn/index.php?app=forum&mod=Detail&act=index&id=3926491&search__result=1。

② 华为投资控股有限公司：《2018年年度报告》，2019年，第3页。

③ 徐文伟：《“鲲鹏凌云，泰山聚势”把数据中心带入众核异构的多样性计算时代——徐文伟在华为鲲鹏芯片、服务器发布会上的发言实录》，2019年1月10日，<http://xinsheng.huawei.com/cn/index.php?app=forum&mod=Detail&act=index&id=4144213>。

④ 威廉·拉佐尼克：《车间的竞争优势》，徐华、黄虹译，中国人民大学出版社，2007年，第366页。

能力。这些组织内生能力是企业发展动力及竞争力的真正来源。^①

三、企业应以关键核心部件创新为主攻方向

以企业为主体突破制造业关键核心技术，要确定主攻方向，找准着力点。不同时代条件下创新过程的重点有所不同，那么当代科技创新应以什么为着重点呢？通过深入分析不同时期产品结构和产业链的特征，可以明确当代科技创新的重点在于关键部件、核心部件的创新，这是制造业关键核心技术的主要体现形式。我国企业应当构建关键核心部件开发平台，在创新经历中不断增强自主创新能力。

（一）不同时期科技创新的着重点

深入实施创新驱动发展战略，提升自主创新能力，要抓住创新的重点。由于不同时代的技术条件不同，产品结构及其技术知识体系各不相同，产业链的结构也各具特点。因而每个时期制造业技术创新的重点并不一致。

18世纪后半段到19世纪中期的第一次工业革命中，技术创新主要是对原有机器体系的改进，重点在于机器零部件、工序的发明创造。这一时期出现的新发明新技术大都是基于生产经验的改进，是对已知知识体系的更新和完善。许多发明家都是工匠或技术工人，他们在长期观察和手工劳动中积累了大量经验，熟练掌握各类机器及零部件的相关知识。由于产品结构相对简单，在市场需求发生变化时，发明家能很快做出反应，改进机器零部件、生产工艺和流程，促进产品创新。典型代表就是纺纱机、织布机的改进。例如，1733年钟表匠凯伊发明了飞梭，在普通梭子上安装了滑轮和弹簧，可以来回飞速穿梭，大大提高了织布效率，织出的布面更宽。这使棉纱出现短缺，纱价急剧上涨，刺激了许多工匠投身纺纱机改进。他们改进了动力机械、锭轨、假捻管、曲柄等零部件，相继发明了手摇纺纱机（1764年）、水力纺纱机（1769年）、走锭纺纱机（1779年）等效率更高的纺纱机。这推动了棉纺织业主要工序的机械化，促进了各阶段工序的技术创新。^②

19世纪末20世纪初第二次工业革命时期，技术创新的重点转向产品系统开发，是包括产品、工艺、机器等整个生产技术体系的全面革新。这一时期电气和重化工业兴起，产品开发面对的大都是未知领域，开始大量应用科学技术知识，产品复杂程度较上一时期大幅提高。产品生产流程各环节的技术知识有所不同，需要采用专门化程度更高的工具、零部件和机器设备。这推高了生产成本，必须大批量生产才能获益。可互换零部件技术和标准化生产流水线为此创造了条件。产品可由标准化可互换零部件集成组装，各部件之间连接方式统一不变，生产效率大大提高。在最终产品厂商即总装厂的主导下，与标准化零部件和机器生产厂商构成垂直化专业分工的产业链结构。因此，产品系统开发成为创新的重点。当产品系统设计发生变化时，意味着对原有产品的技术知识体系的替换，要求建立符合新标准的专用生产线，引致整个生产工艺、零部件、机器甚至产业的革新。例如，代表性部门——汽车工业。20世纪30年代，汽车结构设计发生重大变化，出现整体结构的车身与底盘组合方式。雪铁龙公司率先在新车型中采用整体结构车身，门柱、车顶、底架等板块都是复杂的焊接结构。虽然加工成本较高，但材料成本更低，非常适合大规模生产。这替代了过去车身制造和装配的工艺流程，导致配套零部件、专用生产线随之改变。随后，通用、林肯、雷诺、劳斯莱斯等公司纷纷效仿，使汽车制

^① 小艾尔弗雷德·钱德勒：《规模与范围：工业资本主义的原动力》，张逸人、陆钦炎、徐振东、罗仲伟译，华夏出版社，2006年，第693-704页。

^② 谢富胜：《分工、技术与生产组织变迁——资本主义生产组织演变的马克思主义经济学阐释》，经济科学出版社，2005年，第162-166页。

造业发生系统性变革。^①

20世纪中叶以来,第三次科技革命兴起,技术创新的重点兼具零部件改进和产品系统革新,特别是关键核心部件的创新往往会带来整个产品系统的变化,甚至引发产业变革。这一时期,人们的基本需求趋于饱和,消费出现个性化多样化特征,对功能多元、品质优良的产品需求增加。产品功能特性的改进意味着产品结构会更加复杂,内部包含的子系统、元器件等越来越多,分层结构和连接方式也越来越复杂。为降低产品多样化带来的成本,产品开发及生产过程须具备可重构性,模块化技术为其提供了技术基础。^②产品由标准化通用模块和个性化定制专用模块集成,接口标准统一,模块功能多样,可以根据需求做出灵活调整。在模块型产品中,各个模块的接口要符合关键核心部件的标准。因而关键核心部件开发成为这一时期技术创新的重中之重。一些掌握产品或关键核心部件设计规则的企业,将生产流程进行模块化分解,保留核心模块业务,将非核心模块外包出去,使产业链向“中心—外围”式生产网络转变。特别是具备关键核心部件自主研发能力的中心企业,可以根据自己的技术标准来设计模块规则,^③引导外围的模块化厂商开发零部件、最终品、补足品等,从而在引领行业发展中持续获利。^④这一时期最先采用模块化技术的是电子产品,例如,计算机及其处理器的发明与改进。计算机的核心部件是执行逻辑运算的处理器。后者所用关键元器件经历了从电子管到真空管,再到晶体管的变换。晶体管的生产和研发则催生出半导体产业。一些半导体制造厂商将晶体管、电阻、电容组合在硅片上,发明了集成电路,即芯片。这使处理器内部结构及其与计算机其他部件的连接方式发生了极大变化,而且体积和成本都大大缩减,推动了计算机小型化,给计算机产业带来了巨大变革。^⑤

(二) 我国企业应着力推进关键核心部件创新

制造业的产品工序和零部件众多,其关键核心技术的范围较广,涉及诸多领域和环节。作为当代制造业产品及其产业链的中心环节,关键零部件是制造业的核心技术之一,其开发水平代表着关键核心技术创新能力。我国企业要具有创新思维和战略眼光,全面研判世界科技创新和产业变革大势,认清市场供求两端的现状,主攻关键核心部件创新,加快突破制造业关键核心技术。

以关键核心部件创新引领产品创新,增加有效供给,能够更好地适应我国居民需求结构的升级。当前,我国市场特征正在发生深刻的变化,个性化、多样化消费渐成主流。企业要快速做出反应,对准细分市场进行产品创新。这就要求产品具备可重构性,须采用模块化生产技术。产品功能与组件模块之间是一一对应关系,包括基础组件和差异化组件。前者为产品提供一般通用性功能,后者使产品可以灵活调整外观、性能等,能够大大降低产品设计和制造的成本。我国居民消费升级还表现为对产品质量和安全的要求更高。因而供给结构也要不断升级,要求整个生产过程各环节及其相关部门随之发生变化。这种系统性变化中最重要的就是产品开发中关键核心部件的创新。^⑥关键核心部件的接口标准和连接方式的确立是模块型产品开发的前提。如果关键核心部件出现突破性创新,设计规则就会发生改变,其他部件的连接方式也随之改变。这会促使产品设计、技术工艺和机器设备发生变化,引致供给结构的系统性革新。

^{①⑤} 特雷弗·I. 威廉斯:《技术史》,第7卷,刘则渊、孙希忠译,上海科技教育出版社,2004年,第13-29、321-351页。

^② 约拉姆·科伦:《全球化制造革命》,倪军等译,机械工业出版社,2014年,第58-79页。

^③ 卡丽斯·鲍德温、金·克拉克:《设计规则——模块化的力量》,张传良等译,中信出版社,2006年,第58-80页。

^④ 安娜贝拉·加威尔、迈克尔·库苏麦诺:《平台领导——英特尔、微软和思科如何推动行业创新》,袁申国、刘兰凤译,广东经济出版社,2007年,第5-12页。

^⑥ 谢富胜:《如何理解中国特色社会主义新时代社会主要矛盾的转化》,《教学与研究》2018年第9期。

推进关键核心部件创新, 补足自主研发能力有限的短板, 是我国制造业转型升级的迫切需要。目前, 我国制造业在产品系统和模块生产方面的技术已较为成熟, 制约因素在于关键部件、核心部件的自主创新能力比较薄弱。在模块化全球生产网络中, 我国企业大都处于外围, 主要从事产品、零部件非核心模块的加工制造, 大部分利润都被发达国家中心企业拿走。加工制造环节使企业增进了对产品系统架构和关键核心部件相关知识的理解。一些企业按照模块设计规则自主开发产品, 关键核心部件则依靠进口。为此必须支付巨额专利使用费, 自身所获利润十分微薄。还会遇到知识产权保护的技术壁垒, 常常受制于人。关键核心部件长期依赖进口, 使我国企业始终跟跑, 难以向价值链高端攀升, 极大地制约了产业升级。如果现在仍采用这种思路, 不仅差距会越拉越大, 还将被长期锁定在产业分工格局的低端。在全球制造业竞争中, 关键核心部件不断革新, 产品更新周期随之加快, 使市场结构呈现出“动态不完全竞争”的演变过程。即便是过去领先的企业若不能及时跟进, 其竞争优势也会很快消逝。对于我国制造业来说, 技术进步路径一旦被锁定, 将始终处于落后境地, 甚至面临被淘汰的危险。

我国制造业企业完全可以面向规模巨大的国内市场, 超前规划布局, 加大投入力度, 着力攻克关键核心部件。根据自主研发的关键核心部件接口标准和模块型产品设计规则, 建立由我国企业主导的生产网络。以此引领全产业链的产品创新, 开发出高质量、低成本、多样化、安全可靠的产品, 不断满足人民日益增长的美好生活需要。这将促进我国产业结构优化升级, 推动制造业高质量发展, 乃至引领全球产业变革, 在全球科技竞争和制造业竞争中占得先机。

(三) 构建关键核心部件开发平台

我国企业应如何推进关键核心部件研发呢? 持续提升自主创新能力的现实路径是什么? 技术能力和研发活动的互动关系规律表明, 企业应当构建关键核心部件开发平台, 在系统性持续性的创新活动中不断增强关键核心部件的创新能力。

1. 技术能力成长与持续研发实践的互动关系。

技术创新能力生成与研发实践是一个相互作用的动态演化过程。从科学原理到技术成果的转化必须通过持续试验、改进、再试验, 不断学习并累积技术知识和经验, 才能最终取得突破性重大创新。这是一个从量的积累到质的飞跃的过程。新的技术突破又将反过来推动创新实践向前发展。在下一轮创新中, 研发对象序列、研发人员知识和技能、对零部件和设备供应商的选择标准等发生的改变, 反映了技术创新能力和水平的变化。因此, 企业要整合人财物研发资源, 建构集体学习过程, 形成系统性持续性研发活动, 才能奠定技术创新能力持续成长的基础。正如路风所提出的, 企业应当以自主开发的产品为平台, 通过产品开发与技术进步的耦合, 持续推进产品创新, 逐渐提升技术能力。^① 这为我国企业指明了技术知识学习和创新能力成长的方法。但是, 产品创新要以关键核心部件建构为前提。为突破制造业关键核心技术, 仅仅通过产品开发获得的能力提升是远远不够的。我国企业应当聚焦于产品开发中关键核心部件的研发, 打造关键核心部件开发平台。

2. 关键核心部件研发能力生成机制。

关键核心部件通常是复杂系统, 内部由大量子系统、元器件等模块组成, 连接规则非常复杂, 某一单元的细小改动就会导致内部结构的巨大改变。对关键核心部件创新来说, 核心模块的定制方法、各模块之间的连接方式、内部结构层次等问题往往属于未知领域。因而研发难度大, 需耗费大量时间和资源, 存在诸多不确定性。这需要在研发过程中不断试错, 逐步积累知识和经验, 才能逐渐掌握内部连接方式和接口标准的相关技术。例如, 我国龙芯公司自主研发的龙芯3号系列处理器, 设计采用

^① 路风:《论产品开发平台》,《管理世界》2018年第8期。

Hyper Transport (HT) 接口、可伸缩的 mesh 网络互连结构和基于目录的多核 Cache 一致性协议。在研制首款处理器 3A1000 的过程中,就遇到了回填数据被冲、互连网络死锁、HT 互连异步握手等问题,原因就在于对 HT 接口、Cache 一致性协议的数据传输具体情况不了解。通过不断探索和改进,3A1000 研制过程攻克了多核 CPU 的片内互连、片间多路互连、Cache 一致性等技术难关,为后续 3A/B/C 序列处理器研制积累了大量经验。通过研制龙芯 3 号,龙芯公司自主掌握了 CPU 核、内存控制器、互连网络、HT 控制器等复杂核心模块的 IP,技术能力达到高端通用 CPU 的第一个性能门槛,为进一步研制专用 CPU、16 核处理器打下了坚实的基础。^① 由此获得的这些经验知识和技术研发能力,对外购买根本无法获得。

这充分证明:像芯片这样的超复杂系统,只能在自主研发的长期实践中,将每一代研发成果都作为一个平台,不断探索、试错和改进,逐渐掌握相关知识和技术,一步步提升系统性能,这一过程不可或缺。企业技术创新能力的成长就表现为对知识经验的累积和利用,以及部件性能和接口标准的改进。

3. 构建关键核心部件开发平台。

关键核心部件开发平台就是企业以关键核心部件为研发对象,组织系统性持续性的开发活动。构建关键核心部件开发平台,可以根据企业创新的社会条件,整合影响技术能力成长的资源。

第一,明确研发对象,提供技术研发必备条件。以关键核心部件开发为起点,明确研发序列,一轮一轮持续推进。开发过程要持续投入人财物资源,包括专业科研团队、试制和检测设备、充足的资金保障等。要始终坚持推进研发,重点关注技术能力的成长。

第二,建构积累和利用经验知识的组织机制。技术研发和改进除了理论知识外,还需要不断积累实践经验知识。这些知识包括生产和研发的“干中学”过程中累积的经验,研发成果实际使用过程中出现的问题及信息反馈渠道,团队协作中产生的惯例、文化和经验传授方式等。企业可以通过编写操作指南与规范、建立数据库、召集组会例会、共建团队文化等方法推动组织学习,及时总结积累经验。为有效开发利用经验知识,企业组织要向扁平化、平台化结构转型,打破精细分工和部门分割的状态,保证研发、应用、反馈流程的信息通畅,使企业能够灵活反应。

第三,整合外部资源和技术知识。在设定关键核心部件的连接规则时,需广泛搜集和了解外部供应商生产的模块组件的接口参数。随着系统性能改善,内部结构和连接方式可能日趋复杂,企业要支持和引导供应商坚持创新,根据新标准不断推进相应模块和最终产品的升级换代。研发过程的深入还会对基础研究提出更大需求,企业要以问题为导向,将高校、科研院所的科教资源整合起来,进行有组织的创新,加快技术攻关突破的进程。

四、结 论

创新是引领发展的第一动力。在新时代,我国经济社会发展对科技创新的需要更加迫切,要深入实施创新驱动发展战略,加快制造业关键核心技术攻关突破,不断满足人民日益增长的美好生活需要。科技研发与经济社会发展互动关系的一般规律表明,创新要以企业为主体,直面市场需求,充分发挥企业的积极性和创造性。创新过程的特点是不确定性、累积性和集体性,企业必须始终坚持创新战略,保证资金持续投入,组织协调人力资源。创新要把握正确的方向,应当认识到我国居民消费升级的要求,提升供给体系的质量,但关键核心技术创新能力欠缺对此形成极大的制约。习近平总书记强

^① 胡伟武:《龙芯 15 周年胡伟武披露龙芯 3 号开发历程》,2016 年 10 月 25 日, https://www.guancha.cn/huweiwu/2016_10_25_378268.shtml。

调,“实践反复告诉我们,关键核心技术是要不来、买不来、讨不来的。”^① 关键核心部件是制造业关键核心技术的直接体现,在当代制造业技术创新中至关重要,能够引领模块型产品结构和模块化全球生产网络的革新。我国企业应当建立关键核心部件开发平台,组织系统性连续性的研发活动,不断探索和试错,通过“干中学”积累知识和经验,切实提高关键核心技术创新能力。在自身技术优势和我国市场规模优势的基础上,建立主导性的关键核心部件设计及其标准,引领产品创新,为消费者提供高质量、低成本、多样化的产品。这样才能使科技创新服务于经济社会发展,服务于人民群众生活的改善,发挥科技创新的支撑引领作用,真正实现创新驱动发展。

突破关键核心技术,关键在于组织成功的集体学习过程。要特别重视企业全体员工的能力提升,尊重劳动者的主人翁地位和首创精神,形成符合创新发展要求的人才队伍。这是企业创新的内生动力,要在创新过程中激发全员活力。发达国家的历史经验表明,在企业创新成果中,研发人员的创造大约占 2/3,还有 1/3 的创新则来自管理人员、工人等一线员工以及科学家。^② 作为创新的组织者和推动者,企业家要充分发挥才能,把握创新方向、凝聚创新人才、筹措创新投入、创造新组织。要在企业内部构建新型劳动关系,充分调动一线员工的主动性和积极性,让他们参与工艺改进和产品设计,使他们的创新才智充分涌动。

Breaking Through the Key Core Technologies of Manufacturing: Innovation Subject, Social Conditions and Main Direction

Xie Fusheng, Wang Song

(School of Economics, Renmin University of China, Beijing 100872)

[Key words] enterprise as the main body; innovation-driven development; learning by doing; key core component development platform

[Abstract] To promote the deep integration of scientific and technological innovation and economic and social development, we must adhere to the enterprise as the main body, face the needs of the society, and promote the key core technological innovation of the manufacturing industry. The innovation process is uncertain, cumulative and collective. It requires enterprises to adapt to the characteristics of innovation and social conditions, always adhere to the innovation strategy, ensure the continued investment of funds, and organize and coordinate human resources. Enterprises should seize the focus of contemporary manufacturing technology innovation, focus on key core component innovations, and establish key core component development platforms. Enterprises must cultivate a talent team that meets the requirements of innovation and development, and effectively improve their technological innovation capabilities, thereby breaking through key core technologies, promoting high-quality development of manufacturing industries, and truly achieving innovation-driven development.

[责任编辑 陈翔云]

^① 习近平:《瞄准世界科技前沿 引领科技发展方向 抢占先机 迎难而上 建设世界科技强国》,《人民日报》2018年5月29日。

^② Schmookler J., “Inventors Past and Present”, *The Review of Economics and Statistics*, 1957, 39 (3): 321-333.