

从信息技术的发展态势看新经济*



李国杰 徐志伟

中国科学院计算技术研究所 北京 100190

摘要 在实现经济转型和产业升级的过程中，新技术能否形成新动能，新动能能否带动新经济，已成为政府部门、产业界和学术界普遍关心的问题。文章从信息技术发展态势的角度判断新经济的前景和风险，指出信息技术是未来15—20年发展新经济的主要动力；人机物融合的智能技术是最有引领性的新技术；对于培育经济新动能，技术积累与技术创新同等重要。我国工业控制领域技术积累薄弱，国家应增加智能工控领域的科技投入，大力培养工控领域的科技人才。

关键词 信息技术，人机物智能，技术积累，工业控制

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2017.03.003

近几年来，新经济的蓬勃发展给人们带来希望。在全球十大平台经济体中，中国占据了三席（阿里、腾讯、百度）。2016年，中国服务业对国民经济增长的贡献率达到58.2%，比第二产业高出20.8个百分点。另一方面，2016年高技术产业增加值占规模以上工业比重只有12.4%，以传统产业为主的工业结构没有根本改变，新经济的增量还不能抵消传统经济向下调整的减量。面对喜忧交加的形势，不少人对新技术能否形成新动能，新动能能否带动新经济还心存疑虑，我们究竟应怎样认识发展新经济的机遇和风险？

我们认为，新技术是发展新经济的第一动力，从信息技术的发展态势可以对新经济的前景做出较为理性的判断。未来10—15年实现产业升级主要靠什么技术？人机物融合的智能技术为什么能推动经济转型？自主开发的新技术如何才能真正成为经济发展的新动能？要正确理解新经济，需要对这些问题做出回答。

1 信息技术是未来15—20年发展新经济的主要动力

鉴于摩尔定律接近尾声、通信技术逼近香农极限，加上世纪之交的互联网泡沫，21世纪初许多学者预测信息技术已基本完成驱动经济发展的历史使命，21世纪上半叶将是生物科技的世纪。但近10来年云计算、物联网、大数据、人工智能技术一浪接一浪，信息技术

*资助项目：中科院战略性先导科技专项（XDA06010403），国家自然科学基金委重点课题（61532016），科技部云计算与大数据重点专项（2016YFB1000200）

修改稿收到日期：2017年3月5日

不断展现出旺盛的活力，继续引领世界经济的发展。

1.1 信息技术将继续唱主角

根据麦肯锡公司2013年发布的技术预测，到2025年可能形成5万亿—10万亿美元经济效益的还是移动互联网、智能软件系统、云计算和物联网等信息产业，生物领域只有下一代基因组产业有可能做到1万亿美元规模，先进材料不到0.5万亿美元，可再生能源不到0.3万亿美元^[1]。其实，不只是麦肯锡公司做这样的判断，我们和许多科技人员、经济学家都有同样的看法：信息技术的潜力尚未充分发挥，而基因生物和纳米等技术还在孕育之中，未来15年甚至更长的时间内仍然是信息技术唱主角。

要理解信息技术对经济和社会的影响，需要承认技术进步不是以线性方式而是以指数方式发展的历史事实。国际上将这一规律称为技术进化的加速回报定律，所谓加速回报是指技术对经济的驱动力加速提升。石器时代经历了数万年的演进，印刷术的推广耗费了一个世纪的时间，而移动网络上微信的普及只需几年的时间。数字化信息技术是几十年前发明的技术，因此，它的推广速度和影响力必然大于几百年前发明的电力、冶炼等传统技术。

为什么信息技术有这么大的威力，这要从经济和信息的本源来认识。美国著名物理学家和经济学家塞萨尔·依达尔戈在《增长的本质》一书中指出，经济增长的本质是信息的增长，即物理秩序的增长^[2]。就拥有的质量和能量而言，在浩瀚的宇宙中地球是一颗十分渺小的星球，但我们居住的星球是宇宙中十分罕见的信息聚集地。信息技术在物理世界和人类社会之外增加一个Cyberspace（这个单词的原意是“控制域”，本文翻译成“信息空间”），使得人类社会和物理世界成为可控的世界。

1.2 信息技术发展的深度和广度

判断信息技术的发展态势至少需要考虑两个维度，一是技术的深度，另一个是技术的广度。从深度上看，

“二战”以后，支撑世界经济发展长波的基础性技术发明是电子数字计算机、晶体管、集成电路、光纤通信、无线通信、互联网和万维网。自万维网（WWW）以后，信息领域虽然不断出现新名词，如云计算、物联网、大数据等，但尚未再出现与上述技术可比拟的基础发明。类脑计算、量子计算等新技术短期内还不能形成支撑经济的新动能。从基础发明到产生重大经济影响一般需要20—30年，下一轮更高涨的经济长波也许要到20年以后，今后20年很可能是经济长波的周期性衰退期，按照历史的规律，也应该是基础性发明的密集出现期。由于历史上只有4—5个经济长波的样本数据，经济学中的长波理论未必能作为预测经济发展趋势的依据，但世界经济周期性发展的判断应该是可靠的。

从广度上看，历史上蒸汽机、内燃机、交流电等重大基础发明都是经过较长时间的技术改进和扩散之后才开始产生巨大经济效益，信息技术也不应例外。万维网等信息技术已经有20多年以上的技术扩散和储备，21世纪上半叶应该是信息技术提高生产率的黄金时期。重大技术应用的S曲线往往有相继的两条，第二条S曲线的生命周期更长，对经济的驱动力更强^[3]。目前的信息技术在今后20年内大多会遵循第二条S曲线的发展态势，技术的改进和广泛的渗透将是主要特点。也就是说，今后10—20年，对经济贡献最大的可能不是新发明的重大技术，而是信息技术融入各个产业的新产品、按需提供个性化产品和服务的新业态、产业链跨界融合的新模式。对信息时代而言，信息技术普及渗透还有很远的要走，现在的信息技术应用只相当于工业革命的蒸汽机时代。

1.3 新经济本质上是工业经济向信息经济（数字经济）过渡

不少人将新经济等同于战略性新兴产业，认为只有纳入国家划定的战略性新兴产业范围的产业才算新经济，这是一种误解，新经济有更广泛的内涵，包括用信息技术提升、改造传统产业。美国“国家新经济指数”将农场主应用互联网开展农业经营的比重，作为衡量新

经济发展状况的 25 个指标之一。2016 年世界经济论坛的数字化转型倡议指出：2016—2025 年的 10 年内，各行业的数字化转型有望带来 100 万亿美元的社会与企业价值（主要是社会价值），其中汽车、消费品、电力、物流四大行业的数字化转型的潜在累积价值将超过 20 万亿美元^[4]。数字技术提升传统产业的前景十分光明。

中国有 1.5 亿名制造业工人，美国只有 1 400 万，日本为 900 万。中国的机械供应商超过 14 万家，相当于日本的 5 倍，中国制造业升级的意义非同寻常。制造业高技术化本质上是信息技术与制造技术的深入融合。过去制造的产品叫机器或电器，今后制造的产品大多数是“网器”。所谓智能制造不仅仅是制造过程信息化，更重要的是制造业出来的产品要实现网络化、数据化和智能化。沈阳机床集团引领全世界智能制造的 i5 智能机床就是很好的范例。

新经济本质上是工业经济向信息经济（数字经济）过渡，目前采用的 GDP 统计不能正确反映数字经济的发展。数字经济倡导的共享、用户体验带来的消费者盈余、免费的开源软件、用户到用户的交易等都不统计在 GDP 中。国外不少机构与学者已在探讨更适合数字经济的统计方法。国内流行的说法是中国经济发展的新常态是 L 型，未来十几年将保持 6% 左右的平稳增长。这是沿用工业经济的思维，因为即使是保持 6% 甚至更低的 GDP 增长速度，数字经济的实际内涵已经发生很大的变化。

2 重点发展人机物融合的智能技术

推动新经济的新技术很多，我们认为最有引领性的新技术是人机物融合的智能技术，简称人机物智能，也称为人机物三元计算。它始于 2010 年左右，其主要特征是智能万物互联，即物与物之间、物与人之间能够互联，将智能融入万物，实现信息化与工业化无缝对接。传统的人工智能是让计算机具备人的智能，智能计算过程局限在信息空间，是一元计算。人机物智能将计算过程从信息空间

拓展到包含人类社会（人）、信息空间（机）、物理世界（物）的三元世界。智能计算过程发生在人机物三元世界中，是三元计算。物理世界与人类社会既是智能计算过程的对象，也是智能计算过程的执行体。

人机物智能的本质是：通过信息变换优化物理世界的物质运动和能量运动以及人类社会的生产消费活动，提供更高品质的产品和服务，使得生产过程和消费过程更加高效，更加智能，从而促进经济社会的数字化转型。

人机物三元计算是中科院在 2009 年总结出的信息技术大趋势^[5]。相关概念包括万物互联网（Internet of Everything, IoE）^[6]、无缝智能（Seamless Intelligence）^[7]、信息物理系统（Cyber-Physical Systems）^[8]，“互联网+”等。人机物智能可以理解为万物互联网之上的无缝智能计算技术，需要发展新的核心技术与生态系统。

2.1 人机物智能将延续和增强互联网发展动能，加速产业升级转型

过去 15 年来，信息产业是促进我国经济社会发展的主要动力。从福布斯全球企业 2 000 强排名看，2007 年，联想、阿里巴巴、腾讯三家公司分别位于第 1338、1863、1905 名，都在靠后或垫底的位置。在 2016 年的 2 000 强排名中，这三家公司分别提升到第 840、174、201 名，在发展移动互联网的浪潮中，9 年内中国公司进步显著。人机物智能的基础是移动互联网，其发展将延续和增强我国过去十几年形成的强大动能。

2016 年中国信息产业有 16 家公司进入全球上市公司 2 000 强，加上华为公司（华为不是上市公司），这 17 家公司实现了 4 317 亿美元的销售额和 506 亿美元的利润。美国有 74 家公司进入全球 2 000 强，实现了 15 821 亿美元的销售额和 2 113 亿美元的利润（表 1）。中国信息产业公司的平均利润率为 11.73%，高于全球 2 000 强中全部中国公司的平均利润率（10.19%），低于美国信息产业公司（13.36%）。中国公司产生的利润只有美国公司的 24%，远小于中美 GDP 比例（61%）。设想 15 年以后，中美信息产业的利润比例能与中美 GDP 比例同

步，或中国信息产业公司2030年的销售收入达到美国公司2016年的水平，我们还有3—4倍的成长空间。

表1 “福布斯全球企业2000强”中美信息产业领域比较（单位：10亿美元）

		销售收入	利润	利润率
中国	总计	431.7	50.6	11.73%
	服务	295.2	43.3	14.66%
	软件	0.0	0.0	0.00%
	硬件	136.5	7.4	5.40%
美国	总计	1582.1	211.3	13.36%
	服务	760.3	82.3	10.82%
	软件	174.1	24.4	14.00%
	硬件	647.7	104.7	16.16%

这些数据也部分反映了中国信息产业的短板。第一是“头重脚轻”。我国信息服务业发展不错，但软件和硬件还很弱。第二是消费侧强供给侧弱。我国近年来业绩不错的公司充分利用了我国移动互联网用户多的“网民红利”，实现了快速增长，但针对供给者或生产者（企业）的硬件、软件和服务则增长缓慢。第三是核心技术缺失。在全球2000强名单中，美国有14家芯片公司与14家软件公司，中国尚无一家。

今后15年，我们面临从移动互联网向智能万物互联网转型的演变，应当高度重视人机物智能的新兴市场。根据业界的各种估计，到2030年，全球将有千亿到万亿传感器，数百亿个物端设备，每个设备都需要新型的处理芯片、操作系统、开发环境软件以及新的使用模式。智能万物互联网尚未形成垄断，我国发展人机物智能，不但在产品和服务方面能延续和增强互联网发展动能，而且在硬件与软件核心技术方面能补齐我国信息产业的短板。

2.2 人机物智能的5个内涵

发展人机物智能需要整合云计算、大数据、移动互联网、物联网等现有技术，突破新的科技挑战，实现使用模式与商业模式创新。下面列举5个科技要点。

（1）**人机物智能的计算机科学**。将传统的局限于信息空间的计算机科学拓展到人机物三元世界，包括人机

物可计算性理论，人机物智能系统的模块化体系结构，用户体验的复杂度刻画、无缝智能的科学表征，易用的自然交互界面等。

（2）**物端计算生态系统**。桌面互联网和移动互联网的产业生态已经成型，桌面互联网由x86+Windows+Linux生态主导，移动互联网由ARM+Android+iOS生态主导。物端计算系统尚未出现主导的生态，更未定型，发展出支持亿级设备的物端计算生态系统，是一大挑战。

（3）**节能高效的智能计算平台**。与今天的系统相比，人机物智能需要提升计算能力上千倍，同时能耗不增加。学习自然界，通过自适应和可重构等新技术整合专用部件与通用部件，是构造节能高效智能计算平台的可行路线。一个例子是中科院先导专项支持研制的寒武纪深度学习处理器，与通用处理器相比实现了性能功耗比的千倍提升。

（4）**信任互联网**。由于人机物智能更加直接地涉及人类社会和物理世界，网络信息安全变得更加迫切和重要。我们要研究发展出这样一种智能万物互联网：它鼓励开放和分享，同时保障信息安全和用户隐私，又能接受政府依法监管。满足这5个条件的和谐人机物环境称为信任互联网。近年来兴起的区块链技术是构建信任互联网的基础技术之一，值得高度重视^[9]。

（5）**身份联邦**。智能万物互联网会产生许多需要命名的实体，涵盖人（如用户）、机（信息空间中的设备、数据与服务）、物（物理世界中的各个物体）。如何让用户通过一个身份就可以方便地使用所有设备和所有智能服务，是一个新挑战。现在是强制用户身份绑定在某一个厂商的账号平台上，理想的场景是每个用户拥有一个“国民信息账户”，可在任何时间、任何地点访问任何授权服务。

3 培育新动能必须坚持自主创新和科技积累

新技术不会自动转化为生产力。由知识转化为现实生产力一般要经过4个环节：（1）通过科学研究发现新

知识；（2）通过发明将知识转化为满足应用需求的新技术；（3）通过技术创新将技术变成新产品和服务，开始投入市场；（4）在应用中不断改进、提高产品和服务的市场竞争力。从科学知识到技术，从技术到产品，从产品到市场，每一步都要经过“死亡之谷”。越过死亡之谷没有捷径，只能靠自主创新的能力。人们常说核心技术是买不到的，其实真正买不到的是自主创新能力。支撑新经济的核心技术只有通过提高自主创新能力才能获得。

创新驱动已上升为国家发展战略，我们在贯彻这一战略时往往不提要重视技术积累，其实技术积累与技术创新同等重要。经济增长的重要因素之一是知识存量的增长，不论是对一个企业还是个人，知识的增长要靠创新实践不断沉淀的技术积累。中国高铁的成功被誉为“引进消化吸收再创新”的榜样，但我们不应忘记，从20世纪50年代开始中国一直在从事铁路机车研制，通过“中华之星”等科研项目的锤炼，南车、北车集团已有坚实的技术储备。

我国的战略性新兴产业有些发展快，有些发展慢，其中一个原因是不同行业的技术积累有差别。铁路机车制造的技术积累较扎实，但工业控制领域（包括高铁、航空的运行控制）的技术积累十分薄弱。据工信部2014年统计，我国22个行业900套大型工业控制系统大部分由国外厂商提供产品，特别是可编程逻辑控制器（PLC），外商占据了94%以上的份额。由于工控领域国内企业仿制国外产品都难以做到，国外企业不需要在中国申请专利保护其产品销售，国外企业在华申请专利数长期维持在此领域中国专利总量的10%左右（通信和计算机领域国外企业的专利占到43%）。在国家大力支持智能制造、“互联网+”的形势下，在实现智能万物互联网的进程中，加大工控领域的研发投入，夯实工控领域的技术积累显得尤为重要。夯实技术积累要从教育抓起，我国工控领域的人才培养远远满足不了市场需求，几乎没有一个大学开设过与PLC技术有关的课程，装备制造制造业所需的信息技术人才还未列入许多省市的紧缺人

才需求目录。

积累技术跨越死亡之谷同时培养创新人才的一条路径是，积极参与国际上开放标准、开放软件和硬件源码的社区，努力发起并主导数个核心技术与平台生态的开源社区。我们要争取未来几年内培育出2000名社区核心志愿者，即得到全球同行认可与信任、对社区标准文档和软件硬件源码具有写权限的工程师。我国有近千万名软件工程师，应该制定有针对性的人才政策，鼓励他们为全球社区多作贡献。

参考文献

- 1 Manyika J, et al. Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. Report of McKinsey Global Institute, May 2015. Available at: <http://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/disruptive-technologies>
- 2 塞萨尔·伊达尔戈. 增长的本质. 北京: 中信出版集团, 2015.
- 3 傅瑶, 孙玉涛, 刘凤朝. 美国主要技术领域发展轨迹及生命周期研究——基于S曲线的分析. 科学学研究, 2013, 31(2): 209-216.
- 4 World Economic Forum. Introducing the Digital Transformation Initiative, 2016. available at: <http://reports.weforum.org/digital-transformation/>
- 5 中国科学院信息领域战略研究组. 中国至2050年信息科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.
- 6 Bradley J, et al. Internet of Everything (IoE) Value Index, White Paper of Cisco, 2013, available at: <http://ioeassessment.cisco.com/zh-hans>
- 7 Alkhatib H, et al. What Will 2022 Look Like? The IEEE CS 2022 Report, IEEE Computer, 2015, 48(3): 68-76.
- 8 Rajkumar R, Lee I, Sha L, et al. Cyber-physical systems: The next computing revolution. IEEE Design Automation Conference, Anaheim, CA, 2010: 731-736.
- 9 唐·塔普斯科特. 区块链革命. 北京: 中信出版集团, 2016.

Judging New Economy from Perspective of Information Technology Trend

Li Guojie Xu Zhiwei

(Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract In the process of economic transformation and industrial upgrading, whether the new technology can form new driving force and further promote the new economy has become the common concern of government, industry, and academia. This paper analyzes the prospects and risks of the new economy from the perspective of information technology trend, and points out that the information technology is the main driving force of the new economy in the next 15–20 years; Human-Cyber-Physical ternary intelligence is the most leading technology; for the cultivation of new driving force, technology accumulation and innovation are equally important. Technology accumulation is quite weak in China's industrial control field, government should increase R&D investment, vigorously educate science and technology talents in the field of intelligent control.

Keywords information technology, Human-Cyber-Physical ternary intelligence, technology accumulation, industrial control

李国杰 中国工程院院士、发展中国家科学院 (TWAS) 院士。中科院计算技术所原所长, 研究员, 兼任中科院科技战略咨询院科技智库特聘研究员。1943年出生于湖南, 1985年在美国 Purdue 大学获得博士学位。主要从事并行算法、高性能计算机、互联网、人工智能等领域的研究, 发表了150余篇学术论文, 出版《创新求索录》个人文集。主持研制曙光-1000 等计算机, 获国家科技进步奖一等奖等奖励。E-mail: lig@ict.ac.cn

Li Guojie Born in 1943, received his Ph.D. in 1985 at Purdue University in US. He was the director of the Institute of Computing Technology, Chinese Academy of sciences (CAS), and now is a professor of this institute and a specially-appointed research fellow of the Science and Technology Think Tanks in the CAS Institutes of Science and Development (CASISD). He mainly engaged in researches on parallel algorithm, high performance computer, Internet, and artificial intelligence. He has published more than 150 academic papers, directed a series of projects such as building Dawning-1000 computer, and won the First Prize of National Science and Technology Progress Award. He is a member of Chinese Academy of Engineering and a fellow of The World Academy of Sciences for the advancement of science in developing countries (TWAS). E-mail: lig@ict.ac.cn

徐志伟 男, 中科院计算技术所研究员、学术委员会主任。曾获电子科技大学学士学位, 美国普渡大学硕士学位, 美国南加州大学博士学位。主要研究方向是高性能计算机体系结构与分布式系统, 承担的研究项目: 中科院新一代信息技术先导专项“海云计算系统”课题, 国家自然科学基金委“面向大数据内存计算的计算机体系结构”重点课题, 科技部云计算与大数据重点专项“软件定义云计算”项目。E-mail: zxu@ict.ac.cn

Xu Zhiwei Male, Holds BS degree from Electronic University of Science and Technology of China, MS degree from Purdue University, and Ph.D. from University of Southern California. Now, he is professor and CTO of Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences. His research areas include high-performance computer architecture and distributed systems, supported in part by the CAS Strategic Priority Program, the National Natural Science Foundation of China, and the MOST Cloud Computing and Big Data Program. E-mail: zxu@ict.ac.cn