

对技术融合趋势的思考

Thoughts on Tendency of Technology Convergence

赵俊杰

(中国科技信息研究所, 副研究员 北京 100038)

一、“合久必分, 分久必合”, 融合是当代科学技术发展的一大趋势

500年前的文艺复兴在比以前更坚实的基础上重建了科学, 此后技术进步不断加速。这次复兴的标志是它的整体性, 复兴的领导者们如达·芬奇、勃鲁列乃斯基等同时是几个领域的大师。然而, 几个世纪以后, 复兴的整体性已经被专门化和智力分裂取代, 科学技术出现了越来越多、越来越细的分支领域, 每个人只能掌握人类的一小部分创造力。最近几十年科学技术的发展向我们展示了自然组织更深层次的根本统一趋向, 这预示着一个新的复兴即将到来。这个复兴必定基于科学技术的整体观。“合久必分, 分久必合”看来也是科学技术的发展规律。今天, 一个科学技术领域要想取得突破, 必须利用其他领域技术的进步; 一个科学家只懂得自己所处领域的知识, 而不与其他领域科学家进行合作, 很难取得显著的成效。只有多种技术的融合才能使科学技术获得飞速的发展。

日本通产省早在1985年为日本产业结构调整所写的一份报告中就提出了技术融合的概念。其含义是指两种或两种以上不同技术之间互相渗透、互相融为一体而又形成一种新技术的现象。

我们知道, 研究开发不外乎有两种基本方式: 一种是在现有的技术上寻求突破, 产生新的技术替代原有的技术, 我们称之为“技术突破”方式; 另一种是将多种现有技术或改良技术融合在一起, 产生杂交技术, 这称之为“技术融合”方式。而技术本身发展到一定程度, 很难有突破性进展时, 就需要引进别的技术, 采用技术融合的方式来取得突破。融合后的技术功能和优越性是单一技术无法比拟的。20世纪70年代, 机械技术与电子技术融合而导致机电一体化复合技术的兴起, 是技术融合最典型的一例。在齿轮的转速达到了前所未有的快速、超大规模集成电路所集成的电子元件也几乎不可能再增加时, 也即这两个过去并无关系的技术都达到了各自的发展极限时, 却被有机地结合在一起而形成了机电一体化技术, 带来了数控机床和自动化机床的问世, 使机械加工工业提升到了一个新的高度。80年代又开始了光学技术与电子技术的融合, 导致光电一体化复合技术的诞生; 90年代后, 将光学、机械、电子三者再融合, 产生了光机电一体化的复合

技术。

事实证明, 一个领域的发现和创新可以给其它领域带来进步。例如, 信息科学领域的进步主要依赖于集成电路速度的不断提高, 目前的方法正接近其物理极限, 而纳米技术则会给硬件发展带来物理性的突破。在提高软件能力方面, 生物计算方法可能会带来突破。另外, 认知科学能帮助计算机科学家开发软件, 他们通过对人脑实际使用的神经结构和算法的认识, 获得启发。再如, 如果没有信息技术的进步, 我们就不可能在诸如破译人类基因组、模拟蛋白质分子的动态结构等领域中充分利用生物技术。信息技术和微生物学又能为装配纳米结构提供手段。人工智能的研究也不可避免地要涉及到认知科学、系统科学、计算机科学、心理学和脑科学等众多学科。

目前, 随着科学技术的发展, 在纳米技术、生物技术、信息技术等高技术领域开展的技术融合也越来越多。信息技术领域内部的不同技术, 如电信技术、数据通信技术、移动通信技术、有线电视技术及计算机技术之间的相互融合现在已成为比较热门的话题。纳米技术与其它高技术融合出现了纳米电子技术、纳米材料技术、纳米生物技术、纳米显微技术等纳米技术群(Nano-tech); 生物技术与其他高技术的融合则出现了生物芯片、生物信息、生物材料、生物能源、生物光电、生物传感器等新技术领域, 即生物技术群(Bio-tech)。

在技术融合初现规模之际, 2001年12月美国商务部(DOC)和美国国家科学基金会(NSF)共同组织召开了一次关于技术融合的专题讨论会, 在其“推动技术融合, 提高人类素质”的主题报告中提出了“融合技术”(NBIC技术)的概念。这个概念包含了科学技术四大领域的有机结合, 这4个领域目前都在飞速发展。它们是: (1) 纳米科学和纳米技术; (2) 生物技术和生物医学(包括遗传工程); (3) 信息技术(包括先进的计算通信技术); (4) 认知科学(包括认知神经科学)(如图1所示)。报告中指出, 融合技术在未来几十年中, 可望大大增强我们的认知能力和体能, 使卫生保健领域发生革命性的进步, 改善老年人体力和防止认知能力下降, 增加人类的防卫能力; 将大大提高人们的工作和学习效率, 激发个人和团体的创造力; 可为人们提供极为有效的通信技术(包括脑与脑之间的互动), 完善人机界面(包括工业和个人使用的神经形态工程); 还能提供有

利于实现可持续发展的智能型环境。四大技术的融合可以使人类精神、身体和社会能力持续增强,从而给予我们更多的可成功应付各种挑战的方法。

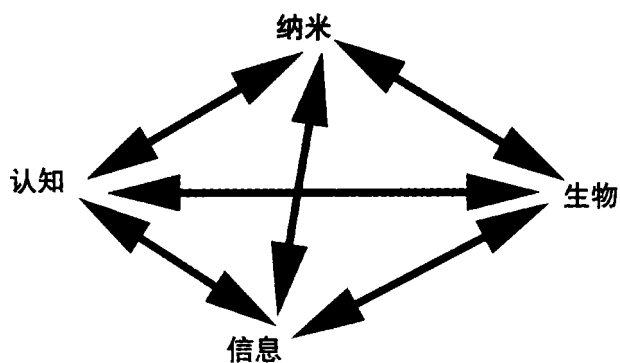


图1 NBIC四面体

美国于2003年2月在洛杉矶再次举行了NBIC融合会议,深入探讨NBIC技术融合可能会给人类素质提高带来的机会,其中包括对学习和工作效率、感觉和认知能力、交流、人机界面、生命的延长、防御及人类健康等诸方面的影响。同时也研究了NBIC研究中心的活动方式、革命性的NBIC新产品、融合技术的统一原则、跨学科合作的挑战与机遇,以及政府对NBIC计划的资助与支持等议题。

多技术融合在技术上原本都有其融合的合理性,而纳米、生物、信息与认知四大技术领域之间的互补性使它们的融合更富有意义。研讨会的参与者W. A. Wallace在陈述中生动地描述了四大技术领域的互补性:只要认知科学家能想到它,纳米科学家就能建造它,生物科学家就能使用它,信息技术科学家就能监视和控制它。

技术融合现象不仅是已呈现出的客观事实,而且也是技术发展的内在客观规律,是一种不可阻挡的技术发展趋势。高技术的发展将不再仅限于某一项技术的突进,人类的创造已经进入了一个“融合”的时代,“融合就是创造”的思想将进一步深入人心,并将引起科研体制作相应的变革。我们必须正视这一现象、遵循这一规律,使技术融合加速进行,同时为我们的产品结构、技术结构和产业结构的相应调整提供依据。

二、技术融合的意义

从1985年日本提出技术融合的概念,到今天美国又提出四大领域互补、结合的融合技术的概念,可以看出技术的融合是技术发展的大趋势,将对人类的发展,包括从个人到社会,都具有重大的历史意义。

1. 科学的统一和技术的融合将引起新的科技革命

18世纪60年代,以蒸汽机的发明和应用为主要标志的第一次科技革命使社会生产力发生了革命性的变革,使人类进入机器时代。19世纪末20世纪初,以发电机和电动机的发明和应用为主要标志的第二次科技革命把社会的工业化提高到一个崭新的阶段,使社会生产力进入电力时代。第三次科技革命发生于20世纪中期,以原子能、电子计算机

和空间技术的发展为主要标志,把人类推进到信息时代。在21世纪的头几十年,人们会集中力量在自然统一性的基础上将科学统一起来,从而推动纳米技术、生物技术、信息技术以及认知科学等多种技术的融合。科学的统一和不同技术领域之间的融合将引起新的科技革命,促使社会经济结构和社会生活结构发生革命性的变化,极大地推动社会的发展和人类生活质量及自身能力的提高,使人类社会进入“融合技术”时代。

2. 技术融合将为经济增长作出巨大贡献

不论是从增强国际竞争力方面,还是从新产业成长方面,经济增长都会大大受益于先进技术的迅速发展。融合技术可以将一些低技术领域转变成高技术领域,从而提高国家的经济地位。多技术融合将加速科学和社会进步,为产业结构调整带来深远的影响,带动经济的快速增长。近几年的世界性经济滑坡虽然使全球的高科技产业遭受重创,但某些技术的融合可能会给下一轮创新浪潮提供动力,创造出许多新兴的产业,使经济获得复苏并快速增长。随着几大技术领域的相互融合,生物材料、生物芯片、纳米机器人、信息材料等新兴领域将创造出很多新的产业机会。据Goldman Sachs最新技术报告显示,美国科技巨头IBM、Sun、康柏和摩托罗拉等公司与生物技术公司和调研公司分别达成140多项合作协议,内容涉及到各种技术领域。IBM公司表示,到2004年,生命科学领域的IT销售每年将达到30亿美元。据专家估计,在世界范围内的生物芯片市场2010年有可能达到600亿美元。另外,加拿大卫生组织进行的市场调查显示,到2005年融合技术的全球市场将达到2600亿美元。在美国湾区,一个以融合技术为主的新硅谷已呈现规模,已经形成了一批以推动融合技术领域研究和发 展为特征的湾区研究中心和实验室,以及一批致力于纳米技术、信息技术与生物技术融合产品商业化的湾区公司,其中有25家公司从事上述3种技术的融合;39家公司从事于纳米和信息技术的融合;36家从事生物与信息技术的融合。这种融合在新硅谷地区已是一个现实,形成了湾区现象,并以多种方式进行着,而且有越来越多的中小企业和新兴企业从技术融合中获得发展机遇。新的硅谷将会给美国经济带来的增长是不难想像的。

技术融合给经济带来的增长已初见端倪,可以预见,在未来几十年,融合技术的发展对经济增长和社会进步的贡献会越来越大。

3. 技术融合将会大大提高人类自身的素质

纳米科学和纳米技术、生物技术、信息技术、认知科学的融合必将带来人类生活方式的改变和自身素质的提高,在人类认识和改造世界能力方面将会有重大突破。如:利用纳米生物技术,日本已制造出了内含传感器的可作医疗用的纳米机器人,它能在血管中移动,到达患病的部位实施治疗;利用纳米显微技术,人类可直接观察原子真面目;生物芯片技术的开发与运用,已开始 在生物学和医学基础研究、农业、疾病诊断、新药开发、食品、环保等领域广泛开辟全新的发展道路——改变生命科学的研究方式、革新医学诊断和治疗方法、极大地提高人口素质和健康水平,为人类的健康长寿造福。很显

然, 融合技术下一步的发展, 必将给人类带来更大更广泛的利益。

三、启示与建议

以纳米级整合为开端的科学技术融合带来的巨大机遇, 对人类未来将具有重大意义。知识的不断发展和工具的不断革新将使人们的劳动行为从简单重复变成创造性、创新性的活动, 并将重点从发展机器转向人类自身的发展。随着人口、资源开发和潜在社会矛盾的增加, 技术将越来越支配着世界。因此, 融合技术这一领域的成功对人类的未来至关重要。

美国在融合技术问题上明确由美国国家科学基金会 (NSF) 和美国商务部两个重要部门负责组织研讨, 表明了美国在国家层面上对融合技术给予的高度重视。其他国家也都大体如此。早在 1985 年, 日本通产省为日本产业结构调整所写的一份报告中就提出了技术融合的概念。这说明日本政府把产业结构调整与技术融合是放在一个同等重要的位置上加以考虑的。2002 年 7 月下旬, 日本综合技术会议在确定未来 3~5 年的科研课题时, 又将纳米技术与生物技术的融合作为研究重点, 决定开发应用纳米技术的人工脏器探测装置、基因排列解析装置等。近 10 几年来, 日本 50 家最大企业在融合技术创新方面的投资已占总投资的 50% 以上。加拿大也非常重视技术的融合趋势, 渥太华研究创新中心 (OCRI) 和渥太华生命科学委员会 (OLSC) 正准备将渥太华建成加拿大第一位的技术融合社区, OLSC 领头建立了技术融合联合特别工作组, 从事指导战略 (如想法的产生、投资和人力资源等) 的规划, 以支持多技术融合方面的创新工作。

综合国力的竞争实质上就是国家科技实力的竞争。发展高技术、建立高技术企业时, 要充分认识到技术融合同样会形成高技术, 技术的融合会带来业务的融合、市场的融合及产业的融合, 对产业和经济结构调整具有重要意义。我国应借鉴上述国家的经验, 通过以下方面的努力, 在新一轮的科技竞争中争得主动。

1. 顺应科技发展趋势, 进一步重视技术融合

我国已经开展了一些技术融合方面的研究工作, 如, 纳米技术与生物技术相结合的“核壳生物纳米颗粒的研究与应用”项目、生物芯片的研究与开发、信息技术内部的融合等, 但目前尚无国家层面的有关技术融合发展的计划和战略。

当然, 不论是否有政策来引导或促进, 科学和工程以及社会活动都遵循发展规律发生变化。但是, 只靠听其自然, 静等其自发地变化是不够的, 而应该在国家层面上制定相应的政策, 给予正确的引导。为此, 科技部门应组织相关力量, 在跟踪国外科技战略的基础上, 加强对技术融合的研究, 深入调查研究我国在四大技术领域发展水平上与美国等发达国家的差距, 分析四大技术发展到什么水平才能有效地融合; 根据我国实际国情, 确定融合技术方面的国家优先研发领域, 制定符合我国国情的融合技术发展战略; 在此基础上, 找出哪些技术在最近或将来有可能发生融合, 并能开拓出新产品。

由于许多融合统一必然发生在基础科学的层面上, 因此, 在认真支持每一个领域的基础科学研究的同时, 也要着力支持各领域交叉处的基础研究, 应在“973”计划中列入有关技术融合的项目。另外, 应开展跨学科的团队研究实践, 摸索出一条有中国特色的跨学科研究之路。在科技部规划的“国家创新体系”及“科技基础条件平台”建设中, 也应充分考虑到技术融合趋势, 合理地优化资源配置, 以促进我国的技术融合。

2. 充分考虑到融合技术可能带来的负面效应

在未来的几十年中, 融合技术可望极大地提高人类控制自然和自身的能力, 但同时应认识到科技是一把双刃剑, 也应充分预见技术融合可能会带来的负面效应, 以避免前几次科技革命所带来的生态环境的破坏、对自然资源的掠夺以及对人类造成的伤害等。同时也要考虑与融合技术相关的社会、法律、道德、伦理等方面的问题。对这些问题, 必须用跨学科的方式进行研究。科技和伦理的互动是自然科学与社会科学之间的互动。在科技和伦理、自然科学和社会科学之间并没有一条不可逾越的鸿沟, 在重视技术融合的同时, 也要加强自然科学、社会科学和人文科学之间的融合; 要在研究、开发和运用融合技术的过程中, 找到解决伦理、法律和道德问题的途径。

3. 建立“自上而下”的运行机制

要在国家层面上, 建立“自上而下”的机制来激励跨学科、跨部门的融合技术的研究, 从政策上鼓励科技人员敢于进行跨行业、跨学科的技术交流。为防止项目参加者为经费、成果评定等问题而浪费时间精力, 科技管理部门应参照“两弹一星”的研究机制, 制定研究计划, 确定对国民经济和人民生活能够带来重大利益的需要跨学科、跨部门研究的重大项目, 并解决相应研究费用, 组成跨领域跨学科团队, 以达到融合技术所要求的集体行动的广度和水平, 取得一些突破性成果。

纳米技术、生物技术和信息技术等高技术虽日趋融合, 前所未有的突破也不断出现, 但它们对于人类的影响还只是刚刚出现, 许多领域的工作也才刚刚开始, 还有许多新的领域未曾引起科学家和工程师的注意。我们要在研究现有技术融合现象的基础上, 更加关注未来可能出现融合趋势的技术领域, 以求得主动。在发达国家对各领域知识产权正进行跑马圈地式的保护时, 要力争在融合技术领域争得一席之地, 以避免出现像计算机产业那样因没有自己的芯片专利和技术而长期受制于人的被动局面。

4. 个人及其他组织也应有所考虑、有所对策, 充分利用技术融合带给自身的机遇

对各行各业的科研人员来说, 要积极进行跨学科、跨行业的交流与合作, 积极发起一些能推进技术融合的创新项目, “博才取胜”应是科研人员的发展方向。各级教育机构应进行主要课程和组织的改革, 打破数、理、化、天、地、生的既定界线, 使原先相互独立的学科能在共通性原理上沟通、融合, 为未来培养综合性科技人力资源。私营部门、专业学会

(下转第 17 页)

速可能随宇宙演变而变化”，并且对新闻界宣布了估计值——宇宙早期的光速大约比现在高 1%（即 $V = 1.01c$ ）。Webb 小组的文章发表后仅 1 周，剑桥大学举行了有 30 多位宇宙学家参加的研讨会（S. Hawking 也在其中）。会议指出，科学家们可能必须修改某些一直被认为是支配宇宙的法则，“光速恒定不变”即为其中之一。2002 年 8 月，P. Davies 说：“光速可能是不恒定的，它在数十亿年间减慢了”。他认为这只代表相对论的漏洞之一，但其影响与探索不尽的宇宙一样是难以估计的。此外，如果 c 不是常数，还会影响到 $E = mc^2$ 公式的正确性^[5]。

笔者同意有的专家的如下观点——包括相对论在内的一些科学理论可能只是今天的“稳态宇宙”时期的理论，而早期宇宙则可能存在光速可变以及超光速（即 $V > c$ ）的情况。今天的科学家在面对大量新的实验事实面前，如何正确地估价和发展现有理论，已是当前刻不容缓的任务。

六、为什么这些常数就是这么大？

国际科学界面临的另一个问题是：今天我们已知的基本物理常数为什么就是这么大？或者说，表达物理世界特征的所有可测量无量纲参数原则上是否都可以推算？或，进而断定，它们取决于偶然性因素因而是无法推算的参数！实际上，迄今无人知道这些基本物理常数为什么就是这么大。虽然科学家们已能在实验室中通过非常复杂的技术极精确地确定这些常数，但对其起源仍一无所知。例如，真空中光速 c 的精确值是 $299\,792\,458\text{m/s}$ ；但它为什么就不是 $886\,443\,297\text{m/s}$ ？！尽管这些常数（如 e 、 h 、 c 、 α ）是表征宇宙和自然的特征值，我们却说不出其中深藏着的道理。

有一种看法认为：正是这些常数值决定了银河系、恒星这些宇宙构成可以存在的条件，并为生命的诞生和发展创造了前提。但这就像“人择原理”，即把一切存在都看成是为了人类的诞生和存在、发展服务的。

无可怀疑的事实是，地球和人类都不是宇宙的

中心，它们的存在与否对浩渺无边的宇宙而言都无关紧要。其实，正是 A. Einstein 最早思考了这类相关的问题。他风趣地想象“上帝创世”时的情况——在引发大爆炸前，“上帝”坐在控制台前揣摩：“我该把光速定在多少？”“我该给电子带上多少电荷？”“我该怎样给决定量子大小的参数（ h ）取值？”……人们不清楚，“上帝”是经过深思熟虑还是随便抓来几个数字，便创造了宇宙的一切？！

现在是 21 世纪初，科学家们产生了更大的疑虑：某些被称为“基本物理常数”的参数到底是不是常数，是不是会随时间而变？！如果真是这样，那就麻烦了——这些缓变的参数会不会有一天威胁到生命的存在？！这也从一个重要方面映证了基本的宇宙学理论和物质结构理论的重要性。因为只有不断深化对自然本质的认识，才能理解不断出现的新的实验现象，才能正确地认识人类的未来。

参考文献

- [1] 刘瑞珉，张钟华，沈乃澄．基本物理化学常数的 CODATA 最新推荐值．物理，2000，29（10）：602~ 609
- [2] 艾小白．“跑动”精细结构常数的物理意义到底是什么．物理，2000，29（4）：244~ 246
- [3] 倪光炯．从事实出发还是从概念出发．物理，2000，29（4）：247
- [4] Webb J. et. al. Further evidence for cosmological evolution of the fine structure constant. Phys. Rev. Lett., 2001, 87（9）：091301 1~ 4
- [5] Davies P, et. al. Cosmology: black holes constrain varying constants. Nature, 2002, 418: 602~ 603
- [6] 爱因斯坦．关于光的产生和转化的一个启发性观点．爱因斯坦文集（第二卷），第 37~ 53 页．北京：商务印书馆，1973（译者范岱年等）
- [7] 黄志洵．精细结构常数的测量和光速的变化．北京广播学院学报（自然科学版），2002，9（4）：1~ 7
- [8] 爱因斯坦．论动体的电动力学．爱因斯坦文集（第二卷），第 83~ 115 页．北京：商务印书馆，1973（译者范岱年等）
- [9] Albrecht A, et. al. Time varying speed of light as a solution to cosmological puzzles. Phys. Rev. D, 1999, 59（4）：1~ 3

（责任编辑 蔡德诚）

（上接第 24 页）

和其他组织也应在自己的范围内制定应对措施，以便最大限度地利用技术融合带来的机遇。

5. 更大程度地发挥专家在科技决策中的作用

DOC 和 NSF 这类对重大问题组织专家研讨会的方式，值得我们借鉴。2001 年 5 月 11 日，美国国家科学基金会先召开了一次准备会议，为 12 月份的专题研讨会制定议事日程，确认参会人选，并要求与会专家提供书面论文。当年 12 月，来自各领域的科学带头人和政策制定者在研讨会上就纳米、生物、信息、认知四大技术的融合作演讲并提交书面论文。会后 NSF 又根据与会者提交的论文和对研讨会的总结，汇编成有价值的报告。我国科技部门亦

应联合相关部门，定期组织几大技术领域的专家进行专题讨论，研究科学技术融合的发展趋势，确定当前应重点研究的领域及课题，使我们不是总处于跟随的地位，而是能够及时地发现新问题、察觉新趋势，争取技术融合领域中的主动权。

参考文献

- [1] [http://www.wtec.org/Converging Technologies](http://www.wtec.org/ConvergingTechnologies). Converging Technologies for Improving Human Performance
- [2] <http://www.infocastinc.com/NBIC/nbic.asp>
- [3] <http://www.ccidbiotech.com/wlkj.htm>
- [4] Ottawa's Technology Convergence Opportunity. Ottawa Center Research and Innovation

（责任编辑 蔡德诚）