

美国会聚研究发展浅析

王 炼

(中国科学技术交流中心, 北京 100045)

摘 要: 全球科研越来越强调学科间的融合。美国于21世纪初提出“会聚技术”的概念, 认为它代表了研究与开发的新前沿, 将缔造全新研究思路和经济模式, 提高整个社会的创新能力和国家生产力水平。本文梳理了美国会聚研究领域的理论基础, 分析了会聚研究的特点和发展趋势, 以及联邦政府和高校的具体实践, 展望其对未来科学创新和人类社会发展的影响。

关键词: 美国; 会聚研究; 多学科融合

中图分类号: G327.712 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2018.09.004

全球范围内, 科学研究越来越强调学科间的交融, 通过多领域知识、技术和专业技能的深度融合扩展或建立新的研究框架, 以解决面临的科学问题和社会挑战。21世纪初, 美国率先提出“会聚技术”(converging technologies)的概念, 认为它代表了研发新前沿, 其发展将缔造全新的研究思路和经济模式, 提高整个社会的创新能力和国家生产力水平。此后美国国家科学理事会(NRC)和麻省理工学院(MIT)从理论层面对会聚技术进行深入研究, 部分大学和研究机构也专门设立会聚技术中心推动创新发展。本文主要梳理美国会聚研究领域的理论基础, 分析其特点和发展趋势, 以及当前联邦政府和研究机构在该领域的具体实践, 展望其对未来科学创新及人类社会进步的影响。

1 会聚研究的兴起

会聚研究作为一种新型技术融合模式, 最早出现在材料研究领域, 推动了纳米技术的出现和发展, 随后进一步促进信息、材料、图像、纳米、光学和量子技术与计算机、建模以及模拟技术的结合, 彻底改变物质科学的研究方式。2001年12月, 美国商务部技术管理局(DOC-TA)、国家科学基金会

(NSF)和国家科技委员会(NSTC)纳米科学与工程与技术分委会在华盛顿联合发起了一次由科学家、政府官员等各界人士参加的圆桌会议, 会议就“提升人类技能的会聚技术”议题进行研讨, 首次提出了“纳米技术、生物医药、信息技术和认知科学(NBIC)会聚技术”的概念。与会专家认为: 该领域的技术迅速发展, 每一个领域都潜力巨大, 其中任何技术的两两或交叉融合、会聚或集成, 都将产生难以估量的影响。“NBIC会聚技术”代表着研究与开发的新前沿, 其发展将显著改善人类生活质量, 提升和扩展人的技能, 这四大前沿技术的融合还将缔造全新的研究思路和经济模式, 大大提高整个社会的创新能力和国家生产力水平, 从而增强国家竞争力, 对国家安全提供更强有力的保障^[1]。

自21世纪第一个10年中期起, 会聚研究在其他科研领域继续发扬壮大, 尤其突出的是生物医学领域。2009年, 美国科学院发布《21世纪新生物学》(A New Biology for the 21 Century)报告, 第一次正式提出新生物学不仅要在学科内部高度整合, 还需要与物理、计算机、地球科学、数学及工程学密切协作, 以应对21世纪的四大社会挑战, 即实现可持续粮食生产、恢复生态系统、优

作者简介: 王炼(1982—), 女, 硕士, 主要研究方向为美国基础研究动态。

收稿日期: 2018-06-22

化生物燃料生产以及改善人类健康。2011年，麻省理工学院发布《第三次革命：生命科学、物质科学和工程学的融合》（The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences and Engineering）报告，指出会聚研究模式将工程和物质科学传统的“严谨设计理念”和技术工具应用到生命科学研究中，并引领第三次生命科学和生物医学革命^①。报告起草者之一，麻省理工学院教授、诺贝尔奖获得者 Phillip Sharp 认为：“会聚是对所有科学研究该如何开展的整体反思，以便我们充分利用从微生物学到计算机科学到工程设计的一系列知识基础”，会聚研究“需要研究团队之间的合作，但更重要的是最初被视为各自独立的独特学科方法的整合”。

美国国家研究理事会（NRC）自2004年以来也一直在开展会聚领域的研究，2014年出版的《会聚：推动生命科学、物质科学及工程学等的跨学科整合》（Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Science, Engineering and Beyond）报告指出：“会聚是一种跨学科界限解决问题的方法，它将生命科学、健康科学、物理学、数学和计算科学、工程学科及其他领域的知识、工具和思维方式结合起来，形成一个全面的综合框架，以应对多领域交汇处存在的科学和社会挑战。会聚研究将不同领域的专业知识融入到同一合作伙伴网络中，从而促进从基础科学发现到转化应用的创新。^[2]”2016年美国国家研究理事会发布《会聚：医学的未来》（Convergence: The Future of Health）报告，提出癌症、痴呆、老年病以及恶性传染疾病的治疗必须通过生物医学与其他学科相融合的新型研究方式解决^[3]。

2 会聚研究的特点及对科技和社会发展的影响

会聚研究与其他描述多学科研究的概念相关联，如跨学科和交叉学科等，但与之不同的是，会聚研究并不是简单地多学科交流沟通，而是在多种学科不同研究方式的相互作用影响下，将各类截然不同的研究方法整合成统一的整体以培育新的

范式或领域，从而对科学领域的组织分类带来全新变革，为科学和技术进步创造新的途径和机会^[4]。会聚研究的基本特征如下：

（1）由具体、复杂而亟待解决的问题驱动

人类面临许多科学难题和重大社会挑战，如宇宙起源、脑神经系统、粮食安全、气候变化等，传统的单一学科无法独立为上述问题提供解决方案，多学科的互动和协作成为必然，会聚研究便应运而生，其目标是解决深度科学问题和应对急迫的社会需要。

（2）学科间的深度融合

参与会聚研究的各学科相互作用影响，学科间的知识、理论、方法、数据、研究群体和语言日益交杂融合、持续整合，并可能建立新的框架和范例，形成新的学科，打破现有科学组织和分类体系，刺激基础科学和转化应用创新。会聚研究不是简单地将多个领域科学家聚合起来解决艰深问题，更重要的是形成新的研究、设计及协作的概念和方法，为达成整体目标跨越不同领域^[5]。

（3）形成支持该科学研究的伙伴关系网络，推动技术进步转化为新形式的创新和产品

在解决科学问题或社会挑战的同时，会聚研究往往融合各学科特点形成新的创新方式，或开发新的科技产品，从而更好地推动创新模式和创新经济的发展。

美国国家科技委员会纳米科学分委会第一任主席 Mihail Roco 和国家科学基金会的 William Bainbridge 共同发表了一系列研究会聚技术的论文。他们认为会聚不仅仅体现在知识和技术层面，更重要的是会带来社会融合，21世纪社会进步的关键便在于知识和技术的会聚。为实现社会福祉的知识和技术会聚包涵众多维度和时间尺度，其自身的特点也在不断演化，大致分为3个阶段（见表1）。

从某种角度来说，会聚可被视为人类终极重大挑战，一旦实现，将为人类所面临的其他挑战铺平道路，包括保障粮食安全、实现可持续发展、建立创新和公平社会等。知识、技术以及社会的融合将在许多关键性领域使人类受益：

① 前两次生命科学革命分别为分子和细胞生物学革命及基因组学革命。

表 1 会聚研究发展阶段^[6]

时间段	阶段	特征
2001—2010 年	被动会聚	为实现预定目标进行临时合作偶然形成
2011—2020 年	主动会聚	通过更明确的决策分析产生，更富有原则性和包容性
2020 年以后	系统会聚	具有更高目标、更广领域，更具整体性，政府机构投入

(1) 对抗疾病，提高人类整体健康水平

具体包括检测癌症和慢性病，针对患者病情特点确定针对性的疗法，减轻副作用；改善数据收集、分析和传送方式，更好地监测人体健康状况并预防疾病；提供更有效的方法阻止疾病发展，重点是修复伤害和恢复健康功能；从根本上了解人体免疫系统，快速高效地分析个体患者的生物标志，从而监测人体健康和疾病；在全球范围缩短检测和治疗高度传染性疾病的时间，开发更具成本效益的治疗手段，寻求创新方法治疗当前无法治愈的疾病。

(2) 提高生产力，促进经济快速发展

通过会聚作用提高个人能力，改善决策程序和基础设施，创造高薪工作，推动经济发展和提高生活质量，具体领域包括：分布式和连接制造，通过流程的灵活性、模块化、进程计量学、预测科学和技术以及人机交互降低制造过程的复杂性、提高效率，并实现个人定制设计；“制造过程 DNA”，即依据类似遗传密码的方式设计制造工艺，允许快速添加或减少生产步骤和系统组件，实现对产品参数的精确控制；社会和物质科学的整合，能够优化产品设计和生产方式，在制造业各个阶段充分考虑可持续发展要素，推动制造业向知识、资本和技能密集型创新周期发展。

(3) 实现社会可持续发展，改善能源和用水模式、农业及制造业实践并保持气候稳定和环境清洁

全球数据和信息基础设施将使实时测量可持续性指标成为可能；智能软件的融合、无处不在的传感器以及移动设备将大幅提升城市运输、能源和制造效率；纳米、生物、信息和认知技术的会聚将支持全新方法减少化石燃料使用、捕捉大气中的碳，并开发新型可持续发展技术。

(4) 系统会聚将赋予个人和社区探索新途径、提高生活质量的能力

新技术的整合将支持开发新的工具，帮助个人

进行终身学习、参与公共政策决策以及依靠个人力量产生信息资源、软件和其他商品及服务。

3 美国政府和高校推动会聚研究的举措

鉴于会聚研究涉及多个学科知识、思维方式、科研工具各不相同的领域，光靠科学界的自发融合远远不够，政府的引导作用必不可少，以美国国家科学基金会为代表的联邦科研资助部门启动了一系列计划推动会聚研究的发展。

美国国家科学基金会清楚地认识到学科会聚是一个分阶段逐步发展的过程，其目标是在不同阶段采取有针对性的融合策略。现阶段的关键因素是提出吸引科学家视线的重大科学问题或社会挑战，并汇集大量不同背景的科研人员来解决这些问题和挑战，在此过程中推动不同学科的专业知识、方法进行整合。2016 年，美国国家科学基金会提出面向 2050 年的十大设想（10 Big Ideas），其目标是展望未来基础科学探索，推动国家科学基金会长期研究议程发展，确保人类不断从基础研究成果中获益。十大设想包括 6 个领域的研究设想，即驾驭 21 世纪科学和工程数据、人类-技术互动前沿探索、打开宇宙之窗（天体物理学）、下一代量子革命、理解生命规律和探索北极，以及 4 个管理过程设想，其中之一就是培养会聚研究，将会聚研究作为实现 6 个领域设想的方法和途径。

为创建会聚研究生态系统，推动会聚项目的有效开展，国家科学基金会还提出了三步走实施方案：2017 年确定会聚项目的具体特征，建立评审标准并进行评审试点；2018 年继续完善会聚项目评审程序，扩大会聚研究群体，考虑引入不同的会聚项目运行模式；2019 年建立可持续的会聚研究计划，关注下一代会聚研究人员的培养，分析和评估会聚研究的机遇及当前不足^[7]。目前，国家科学基金会

将以下 4 点作为会聚项目的评审标准：

- (1) 是否必须使用会聚的方法。
- (2) 是否做好准备参与会聚研究。
- (3) 知识、工具及思维方式是否融合。
- (4) 是否涉及下一代会聚人才培养。

会聚项目申请书由多个相关专业司局联合审核。2017 年 8 月，国家科学基金会宣布首批获得资助的 23 个会聚研究项目，覆盖了十大设想中的 5 个重点领域（天体物理学除外）。

此外，国家科学基金会将推动十大设想部署实施列入 2018 财年预算，并在 2019 财年预算中，明确提出除各专业司局的预算支持外，还将为六大领域研究设想提供 1 800 万美元的额外资助，并投入

600 万美元针对驾驭 21 世纪科学和工程数据及人类 - 技术互动前沿探索两个领域建立会聚加速器，尝试利用新的方式组织管理研究经费，利用外部合作关系推动这两个领域的会聚和转化研究活动^[8]。除联邦涉科部门外，美国研究机构对于会聚研究也显示出极大兴趣。诸多知名高校纷纷成立专门的会聚研究中心推动各学科的融合发展，特别是在生物医学领域（见表 2）。如 2007 年，麻省理工学院（MIT）在其癌症研究中心及其他院系之间建立合作伙伴关系，并于 2010 年正式成立大卫·科赫综合癌症研究所。该研究所占地 1.7 万平方米，拥有最先进的实验室设备和 13 台核心科研设施，其室内设计也着力于为来自生物科学、物质科学和工程

表 2 美国部分高校设立的会聚研究中心列表

机构名称	成立时间	主攻方向	所属高校
X 生命科学 (Bio-X)	1998	生物医学	斯坦福大学
大卫·科赫综合癌症研究所 (David H. Koch Institute for Integrative Cancer Research)	2007	癌症研究	麻省理工学院
北校综合研究大楼 (North Campus Research Complex)	2009	转化医学	密歇根大学
分子工程研究所 (Institute for Molecular Engineering)	2011	分子工程	芝加哥大学
韦斯生物启发工程研究所 (Wyss Institute for Biologically Inspired Engineering)	2009	仿生工程	哈佛大学
生物工程与生物科学研究所 (Parker H. Petit Institute for Bioengineering and Bioscience)	1995	生物工程、 生物科学	佐治亚理工学院
纳米技术应用与职业知识网络 (NACK Network)	1998	纳米技术	宾夕法尼亚州立大学
珍妮亚农场研究园区 (Janelia Farm Research Campus)	2006	神经科学	霍华德修斯医学研究所
路易 - 西格勒整合基因组研究所 (Lewis-Sigler Institute for Integrative Genomics)	1998	整合基因组学	普林斯顿大学
加州定量生物科学研究所 (California Institute for Quantitative Biosciences)	2000	生物科学	加州大学圣克鲁兹、伯克利和 旧金山分校
生物设计研究所 (Biodesign Institute)	2003	生物医药、 可持续发展	亚利桑那州立大学
生物、物理与工程学研究中心 (Raymond and Beverly Sackler Institute for Biological, Physical and Engineering Sciences)	2008	生物科学、 生物材料	耶鲁大学
迈克尔森聚合生物科学中心 (USC Michelson Center for Convergent Bioscience)	2014	生物科学	南加州大学

学的研究人员进行日常交流合作提供轻松便利的条件。其他美国知名高校，包括斯坦福大学、哈佛大学、芝加哥大学等也站在会聚技术的前沿，纷纷成立专门机构。

4 会聚研究面临的挑战

传统的学术机构以学科为基础建立组织部门进行管理，而会聚研究则代表着对传统学术机构组织形式和文化的挑战。因此，会聚研究在行政、研究、教学、合作关系和资助结构等方面面临重大挑战。

(1) 资金

各联邦机构的组织结构、任务和项目申请程序都不尽相同，且各机构的绝大部分经费以学科分类为基础对科研项目进行资助，即便部分联邦机构针对会聚项目拨付专项资金，其资助额度也有限且难以保持稳定。如果多个研究小组联合申请某一联邦机构的会聚项目，由于研究人员处于不同学术部门，很难权衡项目资金的划分；如果资助方涉及多个联邦机构，则更进一步增加了资金分配的难度。因此，要实现会对聚项目稳定、有效的资助，须对联邦政府机构现有资助形式进行大幅度调整，甚至颠覆现有规则^[9]。

(2) 组织结构和监管

虽然多数学者原则上支持会聚研究和组织结构调整，但在涉及本人或部门利益时往往退缩。因此，探索有效的机构组织形式，在兼顾现有组织文化的同时创建以科学或社会挑战为核心的新型研究组织方式，制定合理的会聚项目评审标准、任务分配制度和绩效考核指标，以促进不同学科背景的科研人员间高效的合作伙伴关系，是科研机构亟待解决的问题。

(3) 下一代科研和工程人员的培养

鼓励为本科生和研究生提供会聚研究相关学科理论基础以及数据收集和分析工具，在强调高度专业化知识积累的基础上，通过多学科教育培养跨学科复合式人才及团队合作精神，为未来会聚研究提供所需人才。曾任白宫科技政策办公室副主任的 Thomas Kali 认为，未来人才培养的理想状态是 T 字形人才，横线代表个人的兴趣范围及知识广度，竖线则代表在特定领域专业知识的深度，同时还应具备接受新思维方法的能力，找到本领域专业知识

与其他学科协作融合的结合点。

5 几点建议

美国科技界认为会聚已经成为推动生物科技革命的战略思想和方法，代表了未来科研发展的新方向。理论界不仅分析了会聚项目的前沿性、社会性，也探讨了新型科研组织形式以及会聚研究发展可能带来的社会影响。这既是对科技潜在前沿的探索，也是对科技自身发展方式的思考，体现了美国科技界居安思危、进一步求新求变、先发制人的战略思维。

虽然目前还无法断定会聚是否一定能代表科技和产业发展的未来，但会聚观所体现出的协同创新、加速转化应用的理念，与我国深化体制机制改革、加快实施创新驱动发展战略的整体布局高度呼应，对我国创新驱动发展战略和协同创新思想具有理论启示，对发展完善我国科技创新体系、实施科技计划（专项、基金等）管理改革具有重要参考价值。

(1) 借鉴吸收会聚理论，完善我国科技创新思想体系。美国科技界对会聚研究的长期战略思考及实践，值得我国科技界高度关注和重视，并围绕科技创新会聚趋势和举措开展研究。结合我国科技创新和科技体制改革的最新实践，进行前瞻性的科技创新理论研究，进一步丰富我国科技创新战略思想体系。

(2) 研究推动我国关键科技领域的会聚计划规划和政策部署。建议根据我国自身特点和优势领域，明确若干重点机构和重点领域开展跨机构、跨领域的会聚试点，加强各层次会聚项目的组织协调，探索总结会聚模式在体制机制、资助政策、综合评价及人才政策等方面的经验。

(3) 在队伍建设方面，跨越现有部门、机构和领域的限制，建立完善多学科项目人才考核晋升机制，并注重培养具有多学科知识基础、具备突破学科界限思维能力的下一代复合式人才。■

参考文献：

- [1] Roco M C, Bainbridge. Converging Technologies for Improving Human Performance[M]. Netherlands: Springer Science+Business Media, 2003.

- [2] National Academies Press. *Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond*[M]. Washington DC: The National Academies Press, 2014.
- [3] Sharp P, Hockfield S. *Convergence: The Future of Health*[J]. *Science*, 2017, 355(6 325): 589.
- [4] National Science Foundation. *Convergence at NSF*[EB/OL]. [2018-05-12]. <https://www.nsf.gov/od/oia/convergence/index.jsp>.
- [5] Bainbridge W S, Roco M C. *Handbook of Science and Technology Convergence*[M]. Berlin: Springer Reference, 2016.
- [6] Roco M C, Bainbridge. The new world of discovery, invention and innovation: Convergence of knowledge, technology and society[J]. *Journal of Nanoparticle Research*, 2013(15): 1 946.
- [7] National Science Foundation. *Growing convergence research at NSF*[EB/OL]. [2018-05-08]. https://www.nsf.gov/od/oia/programs/epscor/presentations/PDPA_May_2017/Iacono_Convergence.pdf.
- [8] National Science Foundation. *FY 2019 budget request to congress*[EB/OL]. [2018-05-15]. https://www.nsf.gov/about/budget/fy2019/pdf/01_fy2019.pdf.
- [9] Roco M C. Coherence and divergence of megatrends in science and engineering[J]. *Journal of Nanoparticle Research*, 2002, 4(1-2): 9-19.

Analysis of Development of Convergence Research in the U.S.

WANG Lian

(China Science and Technology Exchange Center, Beijing 100045)

Abstract: The global research community is putting more and more emphasis on integration of different disciplines. At the turn of this century, the U.S. proposed the concept of convergence, which represents new R&D frontiers, creates novel research approaches and economic models, thus promoting innovation capacity and productivity of the society. This paper summarizes theoretic research on convergence in the U.S., analyzes its characteristics and tendency, gives examples on the practices by federal agencies and universities, and explores its possible impacts on innovation and human development.

Key words: the U.S.; convergence research; multi-disciplinary integration