

数字化时代国际科研合作的新趋势： 设施、模式与机制革新

杨 晶，康 琪，李 哲

(中国科学技术发展战略研究院，北京 100038)

摘 要：“科研全球化”与“数字化”融合交织，正在推动国际科研合作向更加频繁和深广的方向迈进。本文在吸收“开放科学”“融合科学”理论的基础上，提出运用“设施—模式—机制”的研究框架来分析数字化对国际科研合作的影响。研究认为，信息技术促进科研载体向网络化、平台化和连接性方向发展；网络化合作形成从基础研究到技术开发一体化融通科研模式；泛在网络推动各类研发主体合作机制多样化发展；数字技术促进资源全球流动性提升，科学研究效率显著增强。针对上述变化，提出数字化背景下推动我国科研合作全球化发展的政策建议。

关键词：数字化；全球化；科研合作；科研模式；信息通信技术

中图分类号：G321 **文献标识码：**A **DOI：**10.3772/j.issn.1009-8623.2021.08.007

科研合作是指参与科研活动的个人与个人、个人与团体、团体与团体之间为完成同一科研任务或目标而彼此协同合作的劳动形态。在信息技术革命和产业变革推动下，科学研究模式正在走向开放融合。传统闭合的、以学科划分为基本架构的科学范式无法适应科学研究本身发展需要和经济社会变迁对科学知识需求的变化，更无法解决能源短缺、环境污染、健康威胁等全球性重大问题^[1]。当前“科研全球化”与“数字化”融合交织，新一代网络信息技术为科研合作带来了威力强大的“工具”，正在推动科研合作全球化向更加牢固和频繁的方向迈进。

1 国际科研合作的现实需求

1.1 国内外形势的复杂变化

当前，新冠肺炎疫情在全球持续蔓延，国际科技竞争格局更加复杂，科研交流与合作面临前所未有的封闭和孤立局面。未来，中美科学家之间的交流将更加受限，不仅政府间，民间科技交流活动及

合作项目也将受到影响，这对运用数字化技术拓展合作途径提出了更加迫切的要求。

从中国自身来看，随着中国科研实力与日俱增，数字化建设基础与改革开放初期相比已取得了突飞猛进的发展，未来中国将在更加互补、平等的基础上与其他国家开展广泛深入的科研合作。以此次应对新型冠状病毒疫情为例，国际科研合作为基础研究、临床试验、疫苗制备等疫苗研发的各个环节提供了“加速度”。疫情刚刚发生几天，中国的阿里云就将人工智能计算资源开放给全世界，通过大量的算力和算法来加速疫苗和药物研制。

1.2 科研合作的演化趋势

科学研究曾经长期处于相对分散、缺乏组织的形态中，个体凭兴趣“自由研究”，科研多由“大师”和“发明家”来完成。科研交流形式也仅表现为前辈对晚辈“传帮带”，亲自传授文化知识、技术技能、经验经历等。

随着现代科学研究的深入发展，科研合作的地

第一作者简介：杨晶（1982—），女，助理研究员，主要研究方向为数字化转型、国家创新体系、科技创新理论等。

项目来源：科技部创新战略研究专项“国家创新体系重大政策问题研究”（ZLY201942）。

收稿日期：2021-06-02

位也日益显现。特别是二战以来, 科学研究从小科学迈向大科学时代, 研究问题更加复杂, 技术迭代更加迅速。无论从科技自身发展、全球性重大问题还是国家科技创新能力的提升来看, 都迫切需要通过国际科研合作来实现优势互补、风险分散、跨学科协同创新, 在全球范围内配置科技资源。这一时期, 科研合作形态从自由研究、个人交流逐渐拓展到政府间科技合作、科研机构合作、“项目—基地—

人才”相结合的合作。即使在地缘政治影响下, 中国与美国的科研合作依然展现出一定韧性。在《自然指数追踪》的 82 种优质期刊中, 中国与美国科研人员合作完成的论文数量由 2015 年的 3 413 篇增至 2018 年的 4 631 篇; 2012 年到 2018 年, 中美机构间科研合作关系数量及强度没有放缓迹象^[2] (见图 1)。

近年来, “科研全球化”与“数字化”融合交织。

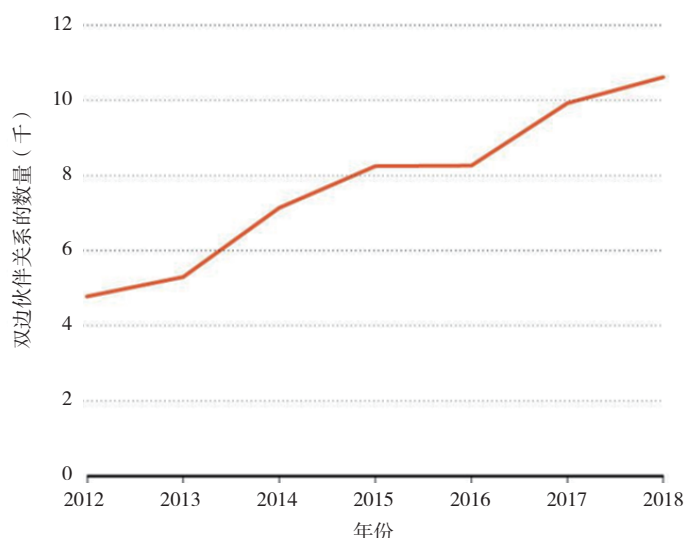


图 1 2012—2018 年中美科研机构合作关系数量

资料来源: 2019 年《自然》增刊《自然指数—科研合作和大科学》。

新一代信息通信技术、数字平台、信息网络等进一步拓展了合作空间, 突破了人与人之间、机构与机构之间的交流合作, 呈现出错综复杂的网络化合作态势。顺应历史发展趋势, 抓住数字化时代机遇, 更好地组织、协调国际科研合作, 是今后面临的一个重要课题。

2 数字化对国际科研合作的影响

数字化正在重塑科学研究过程的所有阶段: 从议程设定到实验开展, 再到知识的生产与传播以及公众参与^[3]。数字化对重要科学领域全球性合作的影响不仅限于采取最新信息技术建立新一代科研基础设施^[4], 还包括在此之上形成一体化科学研究模式、多样化合作机制和更加高效的资源流动。

在分析现实需求和借鉴吸收“开放科学”“融

合科学”两个重要理论的基础上, 提出“设施—模式—机制”的研究框架 (见图 2)。其中, 基础设施是数字化时代国际科研合作的根本保障; 一体化融通科研模式是适应数字化时代国际科研合作的必要转变; 多样化合作机制是保证数字化时代国际科研合作持续与繁荣的最佳选择。三者有机结合, 相互影响, 通过相互作用, 共同推动数字化时代国际科研合作的新变革。此外, 以数据为典型代表的资源是数字化时代开展国际科研合作的内核要素。科学家、工程师等人才创造知识、数据和技术, 数据流又引领人才流、知识流、技术流, 形成良性循环的科研合作生态系统。

2.1 设施革新: 信息技术促进科研载体向网络化、平台化、连接性方向发展, 成为全球协同的大科研模式基础

在 21 世纪第一个十年的大部分时间内, 网络

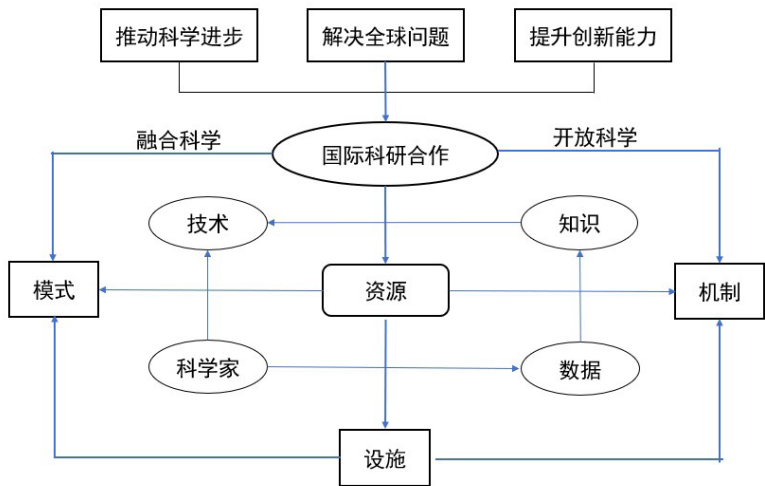


图2 数字化与国际科研合作研究框架

信息技术对科研合作最主要的影响体现在基础设施层面。各国通过信息技术实现互联网上高性能计算资源、数据资源和服务资源的有效聚合和广泛共享，建立能够实现全球合作的虚拟和实体科研环境^[5]。由此产生了数字化与科学研究的双向互动：一方面数字化科研基础设施的建立为科学研究提供了支撑环境，另一方面以“数据密集型科学”研究为代表的科学研究又对高速宽带、超级计算机、大规模云计算等数字基础设施提出了更高要求。

在科研网络方面，下一代互联网、光网络、网络虚拟化等技术迅速应用到国际科研网络中，形成超越商用网络的先进网络服务能力。科研网络不仅为国际科研合作项目提供网络传输平台，也为全球科学家的合作提供协作沟通平台。为了在未来科研中取得更大竞争优势，美国、欧盟等都积极部署先进科研网络发展计划，现已形成北美的 Internet2、ESnet、NLR，欧盟的欧洲多吉比特科研和教育网络（GEANT）以及亚太各国的科研网络。我国现有两大面向科学数据传输的专用网络——中国科技网（CSTNET）和中国教育与科研网（CERNET）^[6]，均实现了与 GEANT 和 Internet2 等的高速互联，提供高速的国际数据交换服务。在平台设施方面，从大型物理基础设施到数字基础设施，以连接性为核心的基础设施平台为全球科研合作提供强大的支撑环境。在高性能计算领域，我国上榜全球超级计算机 500 强榜单的超级计算机总数连续多年位居世界第一，接近美国的两倍，但在组织管理方面还有待

提高。国际大型数据存储和共享平台等重大科研基础设施逐渐成为重要科研合作载体，正在为解决多学科数据交叉应用面临的一系列问题贡献智慧和方案。据 OpenDOAR 网站统计，全球开放存储库已达 3 805 个，内容主题涉及 28 个学科^[7]。

2.2 模式革新：网络化合作形成从基础研究到技术开发一体化融通科研模式，成为解决重大全球性问题的新路径

网络化合作打破了传统的科研模式，将基础研究、应用研究、技术开发和产品转化融为一体，形成一体化融通的研发模式，由此推动国际科研合作不仅跨越国界，而且突破传统线性创新链。传统科研模式中，创新价值链前端的基础研究部分多由科学界承担，价值链后端的技术应用和产品开发由产业界承担^[8]，相互之间没有形成有效的连接网络，科学研究和应用“两张皮”的现象层出不穷，无法有效支撑国家科技战略任务和解决全球重大科技问题。

随着信息技术的迅速突破和经济社会发展的迫切需要，一体化研发模式出现并加速了科学、技术与创新的融合，明显缩短了创新周期，极大提高了科研、工业与商业发展的效率。信息技术应用与网络化合作促使创新突破简单线性关系，创新链条前后端联系愈加紧密，高校、科研院所与企业的分工界限越发模糊，以华为为代表的龙头企业率先进入基础研究领域。华为销售额的 10% 以上用于研究开发，2019 年出于非常规原因大幅增加研发投入，总投入 1 317 亿元，增幅达 29.8%。这种全链条创新

的目标是形成自主关键核心技术,乃至技术标准体系^[9]。

2.3 机制革新:泛在网络推动各类研发主体合作机制、合作形式多样化发展,为空前复杂化的科学问题提供解决方案

互联网、物联网带来的全球互联互通功能革命性地改变了科学研究交流与共享的方式,政府、科研机构、跨国企业等多个合作伙伴能够共同开展全球性研发活动,合作机制也突破了单一计划项目、园区基地、人才互访的局限,出现了战略联盟、虚拟团队、网络众包、协同平台^[10]等新的方式。

第一,以美国国家航空航天局(NASA)为代表的国立科研机构设立创新数据平台,通过挑战赛、网络众包、开源等方式吸引合作伙伴,解决国防科技创新棘手问题。NASA参照美国开放计划设立一组创新数据平台,包括Open.NASA.gov、Data.NASA.gov、Code.NASA.gov等,它们既各自发展又互动合作。开放创新项目Open NASA用户囊括公众科学家、开发者、联邦雇员等,各类用户使用平台提供的数据和工具开展协作研究活动。NASA充分利用网络优势,集合了挑战赛、众包、开源等新型合作方式,通过与非传统创新思想源的对接,革命性激发创新,推动国家科技合作战略。

第二,以e-Science为代表的虚拟研究团队出现,仿真和模拟是复杂科学问题必不可少的研究手段。在网络技术的强大支撑下,人们构造出一种全新的科研合作模式和大科学工程,即e-Science。它利用互联网联合组成一个共同的虚拟研究团队,通过全球性科研合作来共享资源和成果,共同完成大型的现代科学研究^[11]。在这种合作机制下,科学家直接面对的不再是各种分散的数据操作;与此相反,通过信息技术及相应的实现程序,以往只能分散进行的各种操作得到集成。科学家只需要提交任务请求,便可以通过单一的入口接受集成化服务,而无需考虑具体实现过程,大大提高了科研效率。

第三,以海尔为代表的跨国公司建立全球协同研发平台的合作机制,以“无缝连接”实现技术突破。海尔的每个研发中心都是一个独立的研发总部,既可独自运营,又可互为协同,各部门根据区域性技术优势差异而偏重不同的研发内容^[12]。以冰箱研发为例,目前海尔建立了5个核心模块,每个研

发中心各司其职,如亚洲研发中心负责保鲜模块,美洲研发中心负责冰水模块,几个研发中心分别实现不同层面的创新。这种模式既能发挥各自优势,形成更专注、更聚焦的技术突破,又能促进研发平台之间深入互动和协作,形成“无缝连接”,合力打造更具颠覆性的产品。

2.4 数字技术促进资源全球流动性提升、科学研究效率增强,同时会导致科研领域的“马太效应”进一步强化

全球科技资源在数字化时代的流动性大大提升,科研群体共享的对象不仅有传统层面的数据、资料、信息,也包括科学家的智慧与劳动以及科学仪器设备。

在众多科技资源中,科学与技术大数据成为科技领域又一次变革的战略生产资料,正在广泛渗透到各个方面。2019年初,爱思唯尔出版公司在其发布的《科研的未来:下一个十年的驱动因素与场景》报告中指出,科学数据的开放共享将成为下一个十年科研活动最显著的特征,有望引发科研组织模式与科研创新的重大变革^[13]。科研人员将不再局限于自己的“一亩三分地”,而是能够快速跨越地域、专业的界限,通过科学数据的交流加速科研合作研究进程。这充分表明,数据的价值在于流动,具备无限复制性和强大的通用性。数据的有效流动需要更多激励措施与质量控制、更复杂的博弈策略选择与平衡。此外,数据也会为科学家流动、科学仪器设备的共享提供基础环境,对其他科技资源具有带动作用 and 倍增作用。以数据流引领人才流、知识流、技术流,形成良好的科研合作生态系统,可以提高知识创造和技术创新的效率和质量。

然而,正如“一币两面”,开放科学理念不一定带来平等的科研产出结果,数字化过程也会引发科技资源向大型科研机构和巨头企业集聚,从而导致科学与技术领域两极分化的现象进一步强化,后发国家与发达国家间差距进一步拉大。以中美科研机构合作为例,2018年在高质量科研产出最多的10组中美机构合作中,有7组涉及中国科学院^[2](见图3)。此外,亚马逊、苹果、谷歌、脸书等互联网寡头企业在实现资源高度集聚的同时,也在隐私保护、内容监管、公平竞争等方面广受质疑。

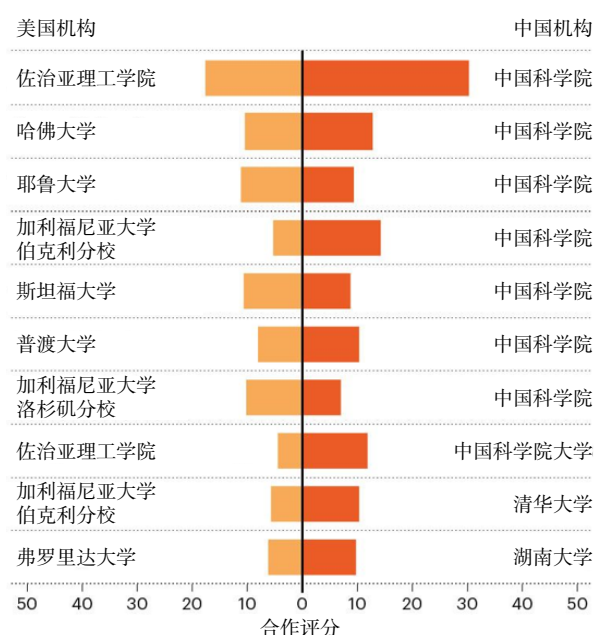


图3 2018年高质量科研产出的10组中美合作机构

资料来源：2019年《自然》增刊《自然指数—科研合作和大科学》。

3 推动我国科研合作全球化的政策重点

在大国博弈、数字化转型、新冠肺炎疫情、逆全球化等众多因素交织的背景下，我国更加应该把握科技革命带来的百年未有之机遇，积极推动国际科研合作，让合作哲学成为科学领域的主流话语。

3.1 加强支撑全球合作的数字基础设施建设

基础设施是科学研究的基石，而未来十年将是新型数字基础设施的安装期^[14]，需要加快构建新一代高效的计算、数据、网络、资源平台等基础设施，满足全球科技创新与开展科研合作的需求。不仅要加强存储、计算等软、硬件设施建设，为“数据密集型”科研范式提供必要支持，还要重视高性能互联网建设，改善基础设施互联互通，实现从单机智能到系统智能的合作思维转变。推动数据等资源的自由流动，并进一步打造能为学科交叉的研究开发和服务提供资源的平台。

3.2 推进适应任务牵引、使命导向的融通科研组织模式

从基础研究到市场化的全链条科技创新周期很长，需要“数十年磨一剑”的积累。面向重大战略任务和使命，为了缩短全链条科技创新周期，需

要充分利用大数据、人工智能、区块链等新一代信息技术，推动建立适应数字时代需求和符合科研规律变化的一体化融通科研组织模式。未来需要加快建设使命导向的国家战略科技力量，改革完善政府科技计划（科学基金）的资助方式，逐步推进适应融通科研模式的资助体系^[15]。科研项目资助机构的系统平台也需要围绕一体化创新项目的资助和管理进行调整和优化。建立鼓励跨学科合作、融合各学科技术专长的评价体系，促进科学家自由交流、全球科技资源整合，推动一体化科技创新进一步跨越国界，提升解决重大问题的能力与效率。

3.3 主动承担国际责任，构建层次和类型更为丰富的国际科研合作网络

虽然当前西方不少学者预测，在疫情影响下全球化将进一步转向“自给自足”，但本文认为，不断改进和丰富国际科研合作机制，以构建人类命运共同体为责任，才是应对复杂挑战、化危为机的最佳途径。未来需要改变对效率边界的认识，从追求“所有权”到注重“使用权”，改变国际人才使用观念，从追求“为我所有”到注重“为我所用”^[16]。充分发挥网络组织特征，运用“公众科学”、虚拟团队等新型合作方式，在全球范围内吸收科学家和工程师的智慧；“就地”建设研发中心，发挥地方资源和地方知识优势；构建虚拟科研平台，突破科研组织边界，提高资源利用率。通过上述机制与方式的拓展，进一步丰富国际合作网络，为推动联合国可持续发展目标的落实不断贡献中国力量。■

参考文献：

- [1] 肖小溪, 甘泉, 蒋芳, 等. “融合科学”新范式及其对开放数据的要求[J]. 中国科学院院刊, 2020(1): 3-10.
- [2] Woolston C. US-China science weathers political ill wind[EB/OL]. (2019-11-21)[2020-11-02]. <https://www.natureindex.com/news-blog/us-china-science-weathers-political-ill-wind>.
- [3] OECD. Fostering science and innovation in the digital age[EB/OL]. (2018-05-10). [2020-05-25]. <https://www.oecd.org/going-digital>.
- [4] 刘颖, 黄传慧. e-Research 环境下嵌入式学科服务研究[J]. 图书馆学研究, 2014(12): 67-71.
- [5] CODATA 中国全国委员会. 大数据时代的科研活动[M].

- 北京: 科学出版社, 2018: 6.
- [6] 杨大全. 计算机网络 [M]. 沈阳: 东北大学出版社, 2004: 9.
- [7] 国家科技基础条件平台中心. 国家科学数据资源发展报告 2018[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2019.
- [8] 陈捷, 肖小溪, 李晓轩. 融合科学的发展及其对科技评价的挑战 [J]. 军事运筹与系统工程, 2019 (1): 5-10.
- [9] 文亚, 王文军, 朱春丽, 等. 全链条科技创新周期初探——以中国科学院物理研究所碳化硅研究为例 [J]. 中国科学院院刊, 2020 (6): 771-778.
- [10] 李涛, 高良谋. “大数据”时代下开放式创新发展趋势 [J]. 科研管理, 2016, 37 (7): 1-7.
- [11] 孙坦. 数字化科研——e-Science 研究 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2009: 318.
- [12] 卫新江. 海尔“人单合一”模式对保险企业的启示 [J]. 中国保险, 2019 (5): 58-61.
- [13] Mulligan A, Herbert R. Report: Research Futures: Drivers and Scenarios for the Next Decade[R/OL]. (2019-02-14). [2021-02-18]. <https://www.elsevier.com/connect/elsevier-research-futures-report>.
- [14] 阿里研究院. 安筱鹏: 未来 10 年是新型数字基础设施的安装期 [EB/OL]. (2019-10-28). [2021-02-18]. https://www.sohu.com/a/350140989_384789.
- [15] 陈捷, 肖小溪. 美国科赫研究所开展融合科学的实践与启示 [J]. 中国科学院院刊, 2020 (1): 27-33.
- [16] 林平忠. 人才管理信息论 [M]. 北京: 蓝天出版社, 2005.

New Trends of International Scientific Research Cooperation in the Digital Age: Innovations of Facilities, Models and Mechanisms

YANG Jing, KANG Qi, LI Zhe

(Chinese Academy of Science and Technology for Development, Beijing 100038)

Abstract: The integration of “globalization of scientific research” and “digitalization” is promoting international scientific research cooperation to a more frequent and extensive direction. Based on the theories of “open science” and “convergence science”, the paper proposes to use the research framework of “facility-model-mechanism” to analyze the influence of digitalization on international scientific research cooperation. It holds that information technologies promote the development of scientific research carriers towards networking, platform and connectivity; Network cooperation forms an integrated scientific research model from basic research to technology development; Ubiquitous networks promote the diversified development of cooperation mechanisms for various R&D entities; Digital technologies greatly promote the global mobility of resources and the efficiency of scientific research. In view of the above changes, the policy recommendations for promoting the global development of scientific research cooperation in the context of digitalization are put forward.

Keywords: digitalization; globalization; scientific research cooperation; scientific research model; information and communication technology