

主要发达国家和地区的融合研究举措及其启示

李梅, 孙艳艳, 张红, 杨萍

(北京市科学技术研究院科技情报研究所, 北京 100044)

摘要: 融合研究可通过不同领域的知识和技术的相互融合, 促进新思路、新方法和新技术发展, 推动国际合作和知识共享, 已成为各国应对新一轮科技革命和产业变革的重要抓手。基于融合研究概念, 从推动前沿科技进步、解决重大社会问题和开拓新兴产业发展3个方面提炼融合研究全球发展趋势; 总结主要发达国家和地区促进融合研究的举措和做法, 结合中国当前情况, 从顶层设计、项目资助、平台构建和人才培养4个方面提出启示与建议。

关键词: 融合研究; 跨学科融合; 前沿科技; 全球发展趋势; 发达国家

中图分类号: G323 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2024.03.009

当前, 新一轮科技革命和产业变革不断深入, “融合科学”“开放科学”等新范式的出现, 使学科交叉、知识融合成为全球科学技术发展进步的主导趋势和创新源泉。一方面, 以学科分割为基本架构的传统科学研究范式无法有效解决能源危机、环境污染和健康威胁等人类面临的诸多重大问题^[1], 促使学科间打破边界, 加速多学科交叉融合, 以解决全球性难题; 另一方面, 物联网、云计算、大数据、移动互联网和信息安全等技术与人工智能相结合, 加速了各领域融通发展和连接, 推动了产业融合发展和模式创新。融合研究作为“融合科学”和“开放科学”趋势下重要的科研组织和创新行为方式, 逐渐成为有效解决全球性问题的的重要手段, 也成为开拓新兴产业领域和创造新产品新服务的有效途径。

1 融合研究的概念

融合 (convergence or fusion) 一词是由美国学者 Rosenberg (1963年) 首次使用, 他主张“不同技术的融合会改变产业结构”, 提出融合是不同产

业在解决各种技术问题的过程中发生的共性技术创新现象^[2]。有关融合研究的定义, 不同学者持有不同的观点 (见表1), 但其中有一个共同的特点: 融合研究是解决综合性问题的一种研究方式, 是具有不同学科领域或专业知识背景的研究者通过合作与交流促进多种知识和信息融合, 从而创造出新的研究结果的过程^[3-4]。有学者认为, 从进化过程来看, 融合研究是“融合—扩散” (convergence-divergence) 的进化过程, 是通过异质性知识的连接 (A) 和整合 (B), 建立新的系统 (C), 并将此扩散到多种应用 (D) 的过程^[5]。融合研究不是单纯地解决问题, 而是追求促进技术划时代的进步、扩展新应用领域研究, 强调通过不同学科知识和技术相结合, 不断创造多样化新知识, 促进新兴产业发展和创新服务, 最终实现价值连接和扩散。

2 全球融合研究发展趋势

随着信息化时代的到来, 知识迭代速度愈发加快、各领域交叉融合趋势愈发明显, 学科间呈现出相互融合、彼此关联的现象^[9]。融合研究逐渐成为

第一作者简介: 李梅 (1979—), 女, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为区域创新治理与创新生态系统。

通信作者简介: 杨萍 (1972—), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为信息资源管理与开放科学。电子邮箱: yangp@bjst.ac.cn

项目来源: 北京市科学技术研究院智库研究项目“开放科学背景下科研范式迭代升级及北京应对策略研究” (23CC001)。

收稿日期: 2023-10-25

表1 有关融合研究的定义

| 学者/机构 | 定义 |
|--|---|
| Corrocher 等 ^[6] | 融合研究是科学技术在循序渐进的过程中形成并应用于新领域的新研究方向,或者通过同一领域科学技术的相互结合,促使技术开发和研究领域多样化的现象 |
| 韩国科学技术信息通讯部和韩国科学技术研究院融合研究中心 ^[2] | 融合研究是为融合成果与新价值连接及扩散而进行的研发活动 |
| 美国国家科学院 ^[7] | 融合研究是一种解决复杂社会问题的研究方法,需要整合来自不同学科的知识、方法和专业技能,形成新的研究框架,以促进科学发现和创新,应对未来各种社会挑战 |
| 麻省理工学院科赫研究所 ^[8] | 融合研究是通过共享各领域专家的想法和研究规范,以整合思维和洞察力解决问题或创造价值的过程 |
| 樊春良等 ^[7] | 融合研究是一种更深程度的学科交叉研究,融合与一般学科交叉研究的区别在于涉及学科更多、交叉融合程度更高 |

各国推动前沿科技领域进步、解决重大社会问题、开拓新兴产业发展空间和促进价值扩散的重要手段。当前,全球融合研究呈现以下发展趋势。

2.1 学科交叉融合研究成为推动前沿科技发展的重要动力

学科交叉融合是不同学科之间通过知识和技术相互渗透、相互融合,形成新的学科领域和研究方向的现象。它是融合研究的一种方式,往往能孕育出新的学科生长点和前沿科学。目前,学科交叉融合已成为学科创新发展的重要路径、推动前沿科技发展的重要动力^[10]。一方面,学科交叉融合研究通过不同学科之间的深度融合带来新的思路、方法和技术,促进科技创新和新兴学科发展。例如,生物学、物理学和计算机科学的交叉融合催生了生物信息学和计算生物学等新兴学科。另一方面,人工智能等新一代信息技术对学科交叉融合发展的促进作用日趋明显。例如,通过人工智能在学科交叉前沿领域引发链式突破^[11],加快学术思想交融和技术整合,产生重大的科学突破。

2.2 融合研究成为解决重大社会问题的重要手段

在全世界范围内,融合研究的效果已经超越单一技术或学科间的协作效果,并转变为解决各国重大社会问题的手段。当前,世界主要发达国家和地区的资助方向从“为融合而融合的研发”转变为“为解决问题而融合的研发”,目的是充分发挥多元化主体的专业性,打造研究投入型“合作空间”。世界各国正面临着贫困、疾病和环境污染等共同的社会难题,这就需要以解决问题为核心构建跨学科融

合研究合作网络,需要通过融合多样化的知识和技术,尤其是科学数据的开放共享,促进不同学科、不同主体之间的合作,加速问题解决的进程。同时,整合传统科学和现代科学,形成全面系统的研究框架,系统解决存在于多个领域交界面上的科学和社会问题,例如,现代农业通过传统农学、土壤学、气象学、生态学、社会学和经济学等多学科交叉融合,在防病防灾方面取得了良好的效果。又如,生物医学、信息技术和工程学的交叉融合,不仅为医疗保健领域提供了新的发展方案,而且为解决医疗资源不足、医疗服务水平不高等社会问题提供了新的技术和方法。

2.3 融合研究成为开拓新兴产业领域和价值扩散的路径

融合研究涉及知识、技术、应用、产业等不同层面,在科学知识融合的基础上发展为技术融合,从而促使应用技术和产业融合。当前,发达国家推进融合研究的战略目标之一就是通过对数字技术和开放共享合作将多样化知识进行衔接和整合,建立新的问题解决方案和研究系统,并将此扩散到多种应用。融合研究已成为开拓新兴产业领域、实现创新价值链攀升以及提升国际竞争力的重要路径。以健康产业领域为例,随着信息扩散及知识体系化进程加快,生命科学、信息技术和纳米技术等知识加速融合,促进了生物信息技术、基因分析技术和脑科学的发展,与此同时,医学、生命科学、计算机科学、机械电子工程等学科知识与人工智能、大数据、云计算、物联网等新一代信息技术相结合,面向人

口老龄化等重大挑战,延伸出健康管理服务、智慧医疗等新应用领域。

3 主要发达国家和地区促进融合研究的举措

进入 21 世纪以来,面对激烈的科技竞争和重大社会挑战,主要发达国家和地区日益重视融合研究,并采取了以下举措。

3.1 加快融合研究相关发展战略部署

欧盟、美国和韩国等十分重视融合研究,纷纷制定了融合研究相关发展战略,加快战略部署。2002 年,美国提出了《NBIC 融合技术战略》,旨在将纳米技术(nanotechnology)、生物技术(biotechnology)、信息技术(information technology)和认知科学(cognitive science)4个领域的技术进行融合。该战略由美国国家科学基金会(NSF)主导,强调通过技术领域的整合加快推进融合研究,促进技术创新,并将融合研究的目标从以人为中心拓展到社会价值层面,提出将融合对象从单一尖端技术等技术手段转变为以人类、地球和社会等为中心的融合新视角^[12]。2019 年开始,美国国家科学基金会又推出融合加速器计划,旨在通过紧密合作共同提出重大社会问题及其解决方案。整个计划共分为 3 个阶段:一是以基础研究成果为依据,美国国家科学基金会研究负责人与合作伙伴、多领域科研人员进行讨论并组成联合体开展为期 6 个月的融合研究;二是开展研究成果的综合评估,并对优秀成果和团队进行资金支持和奖励;三是全面开展学术和商业应用研究,打造融合研究网络。

欧洲知识社会融合技术发展战略(Converging Technologies for the European Knowledge and Society, CTEKS)是欧盟为了推动欧洲科技与经济发展而提出的一项战略。该战略目标是通过融合不同领域的技术和知识,创造出新兴科技和新的应用,提升欧洲科技竞争力。同时,通过知识创新构建世界先进的知识社会建设方案,除了现有技术间的融合之外,将融合范围扩大到环境科学、社会科学、人文学和伦理性规制等社会经济方面。

韩国为了提升技术融合创新和融合研究能力,于 2007 年制定了《国家融合技术发展基本方针》,明确了融合技术的概念和定义,提出了疾病健康、能源环境等十大重点领域和主要融合技术领域。之

后,韩国制定了多部融合技术和融合研发战略规划以全面支持融合研究事业。具体包括:2009 年制订了《国家融合技术发展基本计划(2009—2013 年)》,根据技术融合的新趋势重新定义了融合技术,认为融合技术不仅是纳米、生物、信息和认知(以下简称 NBIC)科学技术之间的融合,而且是通过产业和学科的融合应对未来经济、社会、文化等各种变化的一种技术。2014 年制定了《为实现创造经济的融合技术发展战略》,进一步指明今后融合研发方向,为推动创新经济做出贡献,包括未来产业原创技术开发、面向社会问题解决的融合技术研究、推动人文社会科学与自然科学交叉融合、培养创新型融合人才和加强融合基础设施建设等 5 个方面。2018 年制订了《第三次融合研究开发激活基本计划(2018—2027 年)》,将其作为激活整个融合生态系统和技术创新的手段,提出了促进挑战性融合研究、融合研究平台构建、融合人才培养等七大任务。

3.2 聚焦前沿科技领域提出融合研究资助计划

制订重大研发计划是世界各国推动融合研究的重要举措之一。2014 年,欧盟正式启动了“地平线 2020”计划,其中,专门设立了“卓越科学”战略优先领域,支持基础研究领域、前沿领域的科研活动,在“未来新兴技术”方面,以“探索”为根本点,着眼未来,鼓励高水平科研和前沿工程之间开展合作,加快未来最具前景的新兴技术突破,以及融合研究团队培育。

2020 年,韩国政府投入 480 亿韩元(约 2.8 亿元)聚焦地球可持续发展、未来科技和生命健康三大领域,启动了“科学难题挑战融合研究开发计划”,目的是政府通过先导性资金投入应对全球性科学难题^[13],以科学家为中心挖掘重大科学问题,产出原创性、引领性、颠覆性创新成果,营造创新文化氛围,探索基于成果交流会的年度绩效评价方法,建立成果激励、问题凝练和灵活管理等方面的创新机制,选题强调公共性、引领性、协作性、挑战性和融合性。

3.3 建立以融合研究为主导的研究机构和平台

为了应对“融合科学”“开放科学”“数据密集型科学”等科学新范式,美国、日本等发达国家建立了一批融合研究机构和平台。美国麻省理工学院成

立的戴维德·H·科赫整合癌症研究所聚集了一批以诺贝尔生理学或医学奖得主菲利普·夏普(Phillip Allen Sharp)教授为首的推崇“融合科学”新范式的顶尖学者,开展联合攻关和融合研究;通过网络化机制吸引来自学术界、产业界和临床界1000余名科研人员,涉及全球50余个机构,成功构建了以诺贝尔奖得主为核心的全球化合作网络^[14]。

欧盟数字技术创新中心(EU-Digital Innovation Hub)积极搭建基于产学研协作的融合研究生态网络,以能力中心(Competence Center)为基础,通过与公共机构及民间利益相关者的广泛合作,促进区域及全球层面的融合研究;以高性能计算、人工智能、网络安全和数字技能部门为中心构建欧洲科研生态。德国亥姆霍兹(Helmholtz-Gemeinschaft)联合会是融合研究的典型案例,它由19所大型研究机构组成,为了促进研究机构之间开展融合研究,政府经费采用以项目为中心的预算分配方式,鼓励研究人员从选题和制定方案阶段就开始开展跨机构、跨领域合作和公平竞争,项目评审标准也十分注重研究团队的知识多样化。

日本将融合研究作为世界顶级科学研究中心计划(WPI)的四大目标之一,优先资助基础研究和基础应用研究领域的学科交叉融合研究。截至2023年,日本共设立了13个世界顶级科学研究中心,每个科学研究中心在申请设立时需先制定融合研究战略。如原子分子材料科学高等研究机构(AIMR)制定了推动数学和新材料学的交叉融合研究战略。除了自上而下的交叉融合战略,每个科学研究中心还推出了一系列交叉融合研究举措,如免疫学尖端研究中心(IFReC)设立了交叉融合研究小组和交叉融合研究专项基金,通过推行“双导师制”加快交叉融合研究,培养交叉融合研究领域的青年科学家。

3.4 注重融合研究人才培养和储备

人才培养是各国落实融合发展战略及融合资助计划的重要保障。英国为了培养融合研究方面的专业人才,将数学和物理领域的战略全面融合到基础研究、人才培养的政策部署以及对量子科学和技术的项目部署中。2020年,英国政府投资1.79亿英镑(约16亿元)资助40余所大学培养数学和工程、物理科学等专业的博士。2016年,美国国家科学基金会在“十大创意计划”(10 Big

Ideas)中专门设立了“推进融合研究”项目,支持内容包括:设立研习班、夏令营、创意实验室,构建研究协作网络,建立跨界伙伴关系;设立探索性补助金,支持建设融合研究小团队;加强融合研究人才培养和储备;鼓励融合项目为本科生、研究生提供新的学习机会和平台等,以此推进融合研究网络的构建和人才培养。2021年,美国总统科技顾问委员会向政府提交的“一号报告”中提出组建未来产业研究所,旨在推进多学科和多部门合作创新和人才培养^[15]。为了加快吸引和培养融合研究人才团队,该研究所拟采用双重聘用、学术休假等灵活的用人方式,允许科研人员跨单位自由流动,赋予科研人员最大的决策权。

4 对中国的启示及建议

随着融合研究对前沿科技发展以及新兴产业发展的重要性日益凸显,中国高度重视融合研究。早在1985年“全国交叉科学讨论会”上,钱学森等老一辈科学家就提出了鼓励科学交叉研究的倡议。2020年11月,国家自然科学基金委员会(以下简称自然科学基金委)成立了交叉科学部,以重大基础科学问题为导向,以交叉科学研究为特征,负责统筹和部署面向国家战略需求和新兴科学前沿的交叉领域研究^[16],建立健全学科交叉融合资助机制,促进复杂科学技术问题的多学科协同攻关,推动形成新的学科增长点和科技突破口,探索建立交叉科学研究范式。交叉科学部项目申报条件中除了常规要求之外,还明确规定了申请必须具有明显的交叉学科研究特征、申请人至少具备两个不同一级学科的教育背景或具有开展跨学科交叉科学研究的经历等条件。2021年,自然科学基金委进行了资助布局改革,将原有9个科学部整合为“基础科学、技术科学、生命与医学、交叉融合”4个板块。此外,为了推动学科交叉,探索研究范式,2020年自然科学基金委设立了原创探索计划项目,2020—2022年累计资助329项原创探索计划项目,直接费用7.07亿元^[17]。该计划项目在注重研究思想原创性的同时,强调其学科交叉性,旨在通过多学科交叉融合提出新理论、新方法并揭示新规律,解决科学难题,产出更多的原始创新成果。近年来,尽管中国在融合研究方面加快了部署,但与主要发达国家相比起步较晚,在统筹规划和顶层设计、融合

研究平台构建、融合研究人才培养等方面还有待加强。借鉴主要发达国家和地区的成功经验,提出以下4点建议。

4.1 强化基础前沿领域融合研究顶层设计

美国、欧盟和韩国等将融合研究提升至战略层面,通过制定融合技术发展战略、融合加速器计划等,试图解决重大经济社会问题,推动科技新突破和技术进步。鉴于此,建议将融合研究上升到国家战略层面,以前瞻性思维加快战略部署、强化顶层设计,制定国家层面的融合技术发展战略或行动计划,明确融合研究在科技创新中的重要地位,尽快完善融合研究相关政策;建立融合研究战略推进委员会,积极应对科研范式变革,加强统筹协调和资源配置,开展战略目标落实和效果评估,推动融合数据开放与共享平台建设,指导融合研究人才培养、国际合作、成果转化和生态营造等工作。

4.2 聚焦前沿科技领域设立融合研究专项

当前,融合研究已成为各国解决重大社会经济问题和全球性难题的重要手段。发达国家和地区纷纷推出融合研究资助计划,建立适宜融合研究的项目管理机制,旨在通过重大项目实施加快推动高价值研究成果的产出,为重大社会经济问题提供新的解决方案,促进科技界、产业界以及科技界内部不同学科、不同领域建立跨界合作。借鉴其做法提出以下建议:一是面向生命健康、地球可持续发展等全球性难题以及基础前沿科技领域,在自然科学基金委原创探索计划项目下设立融合研究专项,凝练一批原创性、引领性极强的重大项目,强化基础和应用研究融合创新、跨学科交叉融合创新,解决关键技术难题,引领全球科学前沿,促进新兴技术发展。二是对现有的项目组织、运行管理、评价方式进行优化调整,建立有利于融合研究的项目管理和评价体系。例如,加快构建以多学科领域科学家思想融合为核心、以重大需求为导向的科学问题凝练机制,提出更多极具价值的融合研究项目;采用自由组合和外部诊断相结合的方式,引导不同领域科研人员组建具有竞争力的研究团队,优先支持前期具有融合研究基础的团队等。又如,在不同阶段采用差别化的评价标准,包括项目启动第一年的评价重点关注项目设计和体系推进的合理性方面,执行阶段的评价重点关注应对环境变化的方案可行性、管理方式的适应性方面,结题阶段的评价重点关注

研究成果和成效等。同时,健全持续投入机制、容错机制、公开评价机制和激励机制,探索建立长周期和择优支持模式,为融合研究项目提供持续保障。

4.3 加快构建开放式融合研究合作网络 and 平台

日本等发达国家通过建立融合研究机构 and 平台,积极应对科研范式的变革,促进全球合作网络形成,不断提升国际科技竞争力。鉴于此,中国应坚持全球视野,以更加开放的姿态迎接未来挑战,通过网络化机制吸引全球人才,搭建融合研究全球合作网络及平台等,进一步提升中国的世界科研影响力和引领力。一是以顶尖科学家为核心搭建全球科技合作网络。支持顶尖科学家发挥人脉网络优势 and 国际学术影响力,构建开放式全球融合研究合作网络,并为其提供资金、空间和基础设施等全方位支持。二是依托大科学装置、重大科技基础设施等,吸引全球科研人员开展科学合作研究,打造全球融合研究合作网络的重要节点。搭建融合研究基础数据开放共享平台,以开放数据大力推进融合研究,促进以重大问题解决为导向的融合研究范式的转型。

4.4 以高校院所为载体培养融合研究卓越人才

促进融合研究是新时代培养卓越人才的必由之路,坚持学科融合是新时代人才培养模式的共同特点^[1]。培养高水平融合研究人才是发达国家推进融合研究的重点,因此,中国也应将人才培养放在更重要的位置。一是聚焦量子科技、脑科学和人工智能等基础研究和科技的前沿领域,将融合研究人才培养全面融入相关政策和项目部署中,打造战略规划引领、具体措施跟进的卓越人才培养体系。二是以高校院所为载体培养一批融合研究卓越人才,引导高校院所制订学科交叉融合研究人才培养计划,打破院系壁垒限制,开设学科交叉融合研究开放课程,实行“双导师制”或“多导师制”,形成以融合研究为特征的多元化拔尖人才培养模式。三是构建以融合研究项目为依托的青年人才培养模式,在融合研究项目评价中加大青年人才参与度和提高培养成效的权重,在项目执行中鼓励青年人才组建融合研究团队,为有潜力的青年人才提供更多机会。■

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,2020,35(1):3-10.

- [2] 김한성 . REST-SWOT-AHP 방법론을활용융합연구활성화방안에관한연구 : ICT 융합연구를중심으로 [R]. 한국 : 융합연구정책센터 , 2019.
- [3] MOHR J, SPEKMAN R. Characteristics of partnership success: partnership attributes, communication behavior, and conflict resolution techniques[J]. Strategic management journal, 1994, 15(2): 135-152.
- [4] SHINN M. External, not internal challenges to interdisciplinary research[J]. American journal of community psychology, 2006, 38(1/2): 27-29.
- [5] 최호철, 윤석진, 박시훈. 출연 (연) 간 융합연구 활성화 를 위한 정책적 방향 : 국가과학기술연구회 융합연구 단사업기 획사례를중심으로 [J]. 한국기술혁신학회, 2015(6): 782-788.
- [6] CORROCHER N. The diffusion of internet telephony among consumers and firms[J]. Technological forecasting and social change, 2003, 70(6): 525-544.
- [7] 樊春良, 李东阳, 樊天. 美国国家科学基金会 对融合研究的资助及启示 [J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(1): 19-26.
- [8] MIT. Convergence : the future of health[R/OL]. [2024-01-14]. <http://www.convergencerevolution.net/2016-report>.
- [9] 徐洪, 李文, 陈志娟, 等. 浅析强化基础学科 建设背 景下的高校学科交叉融合发展 [J]. 大学与学科, 2022, 3(2): 13-22.
- [10] 程开华. 新时代交叉学科的概念范畴、方法体系与融合路径 [J]. 教育评论, 2023(1): 70-75.
- [11] 吴苡婷, 黄艾娇. 赋能未来 持续发挥“领头雁”作用 [N]. 上海科技报, 2023-07-07(1).
- [12] 徐洪, 李文, 陈志娟, 等. 浅析强化基础学科 建设背 景下的高校学科交叉融合发展 [J]. 大学与学科, 2022, 3(2): 13-22.
- [13] 李梅, 徐铭鸿. 韩国“科学难题挑战融合研究开发计划”及启示 [J]. 科技中国, 2021(9): 97-100.
- [14] 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, 35(1): 27-33.
- [15] 谢建新, 杨钊. 政府与高校共建新型研发机构的创新成效提升路径 [J]. 科技管理研究, 2021, 41(12): 94-99.
- [16] 戴亚飞, 张强强, 吴飞, 等. 国家自然科学基金委员会交叉科学部成立、发展与展望 [J]. 科学通报, 2023, 68(1): 32-38.
- [17] 张双虎. 给原创插上翱翔的翅膀 国家自然科学基金原创探索计划试点显成效 [N]. 中国科学报, 2023-04-11(1).
- [18] 张凤宝. 促进学科融合是新时代培养卓越人才的必由之路 [N]. 人民政协报, 2022-11-16(9).

Measures for Convergence Research of Major Developed Countries and Regions and Their Implications

LI Mei, SUN Yanyan, ZHANG Hong, YANG Ping

(Institute of Science and Technology Information, Beijing Academy of Science and Technology, Beijing 100044)

Abstract: Integration research can promote the development of new ideas, new methods and new technologies through the mutual integration of knowledge and technology in different fields, and promote international cooperation and knowledge sharing. It has become an important lever for countries to cope with the new round of technological revolution and industrial transformation. Based on the concept of integration research, this paper extracts the global development trend of integration research from three aspects: promoting the progress of frontier science and technology, solving major social problems, and exploring the development of emerging industries. It summarizes the measures and practices of major developed countries and regions to promote integration research, and combine them with the current situation in China to propose insights and suggestions from four aspects: top-level design, project funding, platform construction, and talent training.

Keywords: convergence research; interdisciplinary integration; frontier science and technology; global development trend; developed countries