

· 管理纵横 ·

美国国家科学基金会融合研究的资助机制及启示

吕千千^{1, 2, 3} 谭宗颖^{1, 2*}

1. 中国科学院文献情报中心, 北京 100190
2. 中国科学院大学 经济与管理学院图书情报与档案管理系, 北京 100049
3. 中国电子技术标准化研究院 标准创新服务中心, 北京 100007

[摘要] 融合研究在解决国家重大科学问题和挑战方面具有重要意义。美国国家科学基金会(National Science Foundation of United States, NSF)培育融合研究体现出协同创新、加速成果转化应用的理念,对进一步深化我国科技体制机制改革、加快实施创新驱动发展战略、完善科学基金管理具有重要借鉴意义。本文首先介绍了会聚技术概念的提出和融合研究概念的发展;其次,从融合研究的推进、发展和成果转化三个方面分析了NSF融合研究的资助机制;最后,从优化融合计划项目的系统设计和分层部署,完善融合项目的评审标准和专家队伍建设,加强融合研究团队资助和下一代人才培养等角度,提出NSF融合研究的资助机制对我国科学基金管理的启示。

[关键词] 融合研究;融合加速器;评审标准;资助机制

1 融合研究

21世纪社会进步的关键在于知识和技术的融合^[1]。自2001年“纳米技术-生物技术-信息技术-认知科学(Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology, and Cognitive Science, NBIC)会聚技术”提出以来,其内涵随着社会和技术发展不断丰富。2013年,美国国家科学基金会(National Science Foundation of United States, NSF)科学与工程高级顾问兼美国国家科学技术委员会纳米尺度科学与工程与技术分委员会(The National Science and Technology Council, The Nanoscale Science, Engineering, and Technology Subcommittee, NSTC-NSET)第一任主席 Mihail Roco 指出,现阶段知识、技术与社会的融合,已超越纳米科学与技术,生物技术与生物医学,信息技术和认知科学的融合。融合研究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,推动解决国民经济和社会发展的关键问题^[1, 2]。

NSF 高度重视融合研究的培育,通过“十大创



谭宗颖 中国科学院文献情报中心研究员,博士生导师。研究方向为科技发展战略与科技评估、情报研究方法与技术。



吕千千 中国科学院文献情报中心博士。研究方向为情报理论与方法。

意计划(10 Big Ideas)”“发展融合研究计划(Growing Convergence Research, GCR)”和“NSF融合加速器计划(Convergence Accelerators, CA)”等资助计划持续加强对融合研究的资助,如2018年拨款2295万美元资助融合加速器和十大创意计划,2021年资助预算提升至超过4.3亿美元(43179万美元)^[3, 4]。NSF培育融合研究体现出协同创新、加速成果转化应用的理念,深入分析其资助机制,对进

收稿日期:2021-07-01;修回日期:2022-01-08

* 通讯作者,Email: tanzy@mail.las.ac.cn

本文受到国家自然科学基金项目(71843005)和中国科学技术协会重大调研项目(2018DXZZN01)的资助。

进一步深化我国科技体制机制改革、加快实施创新驱动发展战略,完善科技基金管理具有重要借鉴意义。

1.1 会聚技术概念的提出

融合技术的概念源于早期的会聚技术。“NBIC 会聚技术”是指当前四大迅速发展的科学技术领域——纳米科学与技术、生物技术与生物医学(包括遗传工程)、信息技术(包括先进计算与通信技术)和认知科学(包括认知神经系统科学)——的协同与融合。四大技术中任何技术的两两融合、三种汇聚或四者集成的研究方法和研究成果,均可加速科学技术与社会的进步。

2001年,美国国家科学基金会、美国商务部、美国国家科学技术委员会纳米尺度科学与工程与技术分委员会在华盛顿共同组织召开了题为“会聚技术,提升人类能力”的专题研讨会,提出了融合四大科技领域的会聚技术的概念,即纳米科学与技术、生物技术与生物医学(包括遗传工程)、信息技术(包括先进计算与通信技术)、认知科学(包括认知神经系统科学)的协同与融合。美国国家科学基金会和美国商务部2002年共同完成了《为提升人类能力的会聚技术》报告。之后,美国国家科学基金会等连续举办了三次会聚技术年会,于2005年辑集成册出版了《管理纳米技术—生物技术—信息技术—认知科学创新:会聚技术社会》报告,表明美国政府对NBIC会聚技术的高度重视^[5]。

1.2 融合研究概念及其发展

融合研究是一种解决困难问题的研究方法,特别是解决社会需求的复杂问题,它需要整合来自不同学科的知识、方法和专业技能,形成新的框架来促进科学发现和创新。融合研究与学科交叉研究的其他研究形式——跨学科、学科交叉和多学科研究相关^[6]。

2005年以来,融合研究在其他科研领域不断拓展。2009年,美国国家研究理事会(National Research Council of the National Academies, NRC)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,还需要与物理学、计算机科学、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——实现可持续粮食生产、恢复生态系统、优化生物燃料生产以及改善人类健康^[7]。2011年,麻省理工学院发布《第三次革命:生命科学、物质科学和工程科学的融合》(The Third Revolution: The Convergence of the Life Sciences, Physical Sciences and Engineering)报告,指出融合研究模式

将工程学和物质科学传统的“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。该报告的起草者之一,麻省理工学院教授、诺贝尔奖获得者 Phillip Sharp 认为:“融合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”,融合研究“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”^[8]。2013年,Roco指出,现阶段知识、技术与社会的融合,已超越纳米科学与技术、生物技术与生物医学、信息技术和认知科学的融合。美国NRC 2014年出版的《融合:促进生命科学、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:融合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。融合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^[9]。

融合研究的内涵随着社会和技术发展不断丰富,包括被动融合、主动融合和系统融合三个发展阶段^[1]。NSF科学与工程高级顾问 Mihail Roco 和项目主任 William Bainbridge 在共同发表的研究中指出,融合研究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融合^[2]。自提出以来,融合研究不断发展,其发展阶段和特征如表1所示。

2 NSF 融合研究的资助模式

目前NSF主要通过下述三大计划资助融合研究:一是NSF“十大创意计划(10 Big Ideas)”,二是“发展融合研究计划(Growing Convergence Research, GCR)”,三是“NSF融合加速器计划(NSF

表1 融合研究的发展阶段和特征^[1]

时间段	阶段	特征
2001—2010年	被动融合	为实现预定目标进行临时合作偶然形成。
2011—2020年	主动融合	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	系统融合	具有更高目标、更广领域,更具整体性,由政府机构投入。

Convergence Accelerator, CA)”^[10]。

2.1 NSF 十大创意计划 (10 Big Ideas)——推进融合研究

2.1.1 十大创意计划的具体内容

2016 年,NSF 提出面向未来科学探索的“十大创意计划”(10 Big Ideas),以促进 NSF 长期研究议程发展,确保人类不断从基础研究成果中获益^[11,12]。

十大创意包括 6 个面向研究的创意和 4 个面向过程或面向赋能的创意。面向研究的创意以 NSF 早期对基础研究的资助为基础,包括 6 个创意:“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“探索新北极”;面向过程的创意旨在改善和优化 NSF 识别有价值的研究和发现科研共同体新成员方面的实践,包括 4 个创意:“发展融合研究”“中等规模的研究基础设施”“NSF2026”和“NSF 包容性”“NSF 十大创意”计划及其目标见表 2^[11-13]。

2.1.2 十大创意项目资助情况及其进展

自 2017 年以来,NSF 通过开创性的研究和试点项目,为十大创意项目的开展奠定了基础^[13]。2017 年 8 月,NSF 宣布了首批获得资助的 23 个融合研究项目,覆盖了十大创意中的 5 个重点领域(天体物理学除外),见表 3^[14]。

此外,NSF 将十大创意列入 2018 财年预算^[12],2019 财年预算明确提出除各科学部的预算支持外,还将为六大领域研究创意提供 1800 万美元的额外资助^[16],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”两个领域建立融合加速器,尝试利用新的方式(新兴融合加速器研究跟踪和融合加速器计划与发展)组织管理研究经费,利用外部合作关系促进这两个领域的融合和转化研究活动。根据 2020 财年和 2021 财年预算,NSF 将继续支持十大创意计划,推动科学与工程前沿的发现^[17]。2016—2020 年间,图 1 和表 4 分别显示了 NSF 对融合研究的资助^[18,19],以及 2018—2020 年间 NSF 融合加速器和十大创意向国会申请预算情况^[3,4]。

表 2 NSF 十大创意

类别	创意计划	目标
面向研究的创意	驾驭 21 世纪科学和工程数据	旨在开发一种具有凝聚力的、全国范围的方法来研究数据基础设施,培养能够有效利用数据工作的 21 世纪劳动力。
	人类—技术互动前沿探索	旨在集聚 NSF 研究团队,开展人类、社会和技术之间相互作用的基础研究,以塑造未来的工作,增加工人的工作机会并提升美国的经济生产力。确定了四个研究主题:建立人—技术互动关系,提升绩效,发现社会技术前沿,促进终身学习。
	探索新北极	旨在北极地区建立由移动和固定平台及工具组成的观测网络,记录 and 了解北极地区的生物学、物理学、化学和社会的快速变化。在所有参与北极研究的机构中,NSF 资助了最先进的北极物流基础设施建设,为在新一轮北极科考中发挥关键作用奠定了基础。
	打开宇宙之窗(天体物理学)	旨在通过促进机构间和国际合作,增进对该领域的理解和推动科学的进步。该项目通过先进的新型综合观测方法,对物质和能量的性质和行为提供独特的观察视角,有助于回答人类面对的一些最深刻的问题。
	下一代量子革命	旨在识别和支持下一代量子革命。NSF 在量子系统相关的基础研究方面投资了几十年,并拥有使这一计划成功所需的坚实基础。研究量子材料对于让未来的科学家做好准备,将下一次量子革命的应用到造福普通消费者的技术中至关重要,并促进产业界、联邦机构和国际合作伙伴建立紧密的联系。
	理解生命规律	旨在准确预测生物体的未来特征,将生物学、计算机科学、数学、行为科学和工程学的研究融合在一起。该创意包括数据集成、分析、建模和信息技术等方面的研究。
面向过程的创意	中等规模的研究基础设施	旨在开发一个为中等规模实验研究提供资金的快速响应流程。
	发展融合研究	旨在解决具有挑战性的研究问题,促进有效开展科学探索所需的协作。
	NSF2026	旨在更好地识别大胆的、长期的基础研究问题,为科学与工程突破做好准备。
	NSF 包容性	旨在在全国范围内改变科学、技术、工程和数学(STEM)教育及职业发展路径,使其具有更全面和更广泛的包容性。未来十年,该计划将不断丰富科学与工程(S&E)劳动力的构成,以更好地反映美国社会的多样性。

表3 2017年NSF资助的第一批融合研究项目

类别	创意计划	获资助项目	起始年份
面向研究的创意	驾驭21世纪科学和工程数据	TRIPODS ^① [15]:为大数据模型驱动的发现建立基础;	2017—2021
		TRIPODS:改进决策的数据科学:在不确定性、因果关系、隐私和网络结构的背景下学习;	2017—2021
		TRIPODS:建立数据科学基础研究所;面向21世纪数据科学教育的社会科学洞察。	2017—2021
	人类—技术互动前沿探索	协作:关于人机交互过程中多模态人类学习数据的融合研究研讨会(北卡罗来纳州立大学、范德堡大学);	2017—2018
		自动驾驶对未来劳动力的影响:关于社会技术研究挑战、收益和机遇的研讨会;	2017—2018
		形成人类技术伙伴关系研究:加强STEM工作者参与的工作坊;	2017—2020
		从制造到微制造:重塑工作,超越大规模生产;	2017—2020
		在众包研究中融合人与技术的观点研讨会;	2017—2018
		让“工作的未来”成为现实:关于技术创造文化、共同工作、合作、创业与数字工作的融合研讨会;	2017—2021
		日益自动化时代,融合社会技术格局的研究协调网络;	2017—2022
探索新北极	探索新北极:了解北极地区未来的交通系统的研讨会;	2017—2019	
下一代量子革命	促进NSF/DOE量子科学暑期学校的协作,即促进麻省理工学院、约翰霍普金斯大学、康奈尔大学、宾夕法尼亚州立大学的协作;	2017—2021	
	量子跃迁跨部门连接研讨会系列;	2017—2021	
	安全通信的量子元件研讨会。	2017—2021	
	理解生命规律	影响生物多样性的跨尺度过程(RCN);	2017—2022
		探索生命的起源(RCN)。	2017—2022
		建立北极土著社区和美国西南地区社区在数据科学方面的知识协同网络;	2017—2021
	协调跨学科研究网络,以确定北极冻土海岸侵蚀及其社会生态影响的挑战和解决方案;	2017—2018	
	北极沿海社区灾害观测和综合研究网络(Arctic Network for Coastal Community Hazards, Observations, and Integrated Research, ANCHOR)。	2017—2022	

图1 融合研究资助的时间线^②

2.2 GCR计划——融合研究的发展

“发展融合研究”(Growing Convergence Research, GCR)在解决重大科学问题和挑战性方面具有重要意义。当今的重大科学挑战性问题的各个层面等,仅通过单个学科无法解决,需要不同知识领域的思想、方法和技术协同和融合,以促进创新和发现^[20]。

2.2.1 GCR计划的目标及征集对象

GCR的主要目标包括探索融合方法和优化NSF项目评审。探索融合方法的目的是希望在现有的学科领域相互交叉基础上,探索产生解决紧迫的科学和工程学研究问题的融合方法;优化NSF项目评审的目的是希望加强NSF项目审查程序,以期更有效地评估融合研究项目申请书^[21]。

GCR征集对象是跨部门或学部边界的多学科团

① TRIPODS:数据科学原理的跨学科研究(Transdisciplinary Research in Principles of Data Science)。

② NSB:美国国家科学委员会(National Science Board);DCL:亲爱的同事来信(Dear Colleague Letter)。

表 4 2018—2020 年 NSF 融合加速器和十大创意向国会申请预算/拨款情况 (单位:百万美元)

融合研究与十大创意	2018 财年(实际)	2019 财年(实际)	2020 年(需求)	2021 年(需求)
融合加速器	—	41.39	60.00	70.00
驾驭 21 世纪科学和工程数据	—	21.45	30.00	16.50
人类—技术互动前沿探索	—	19.60	30.00	16.50
新兴融合加速器研究跟踪	—	0.34	—	35.00
融合加速器计划与发展	—	—	—	2.00
面向研究的创意	—	179.99	180.00	230.00
驾驭 21 世纪科学和工程数据	—	30.01	30.00	45.00
人类—技术互动前沿探索	—	29.96	30.00	45.00
探索新北极	—	30.00	30.00	30.00
下一代量子革命	—	—	30.00	50.00
理解生命规律	—	30.00	30.00	30.00
打开宇宙之窗	—	30.00	30.00	30.00
面向过程的创意	22.95	102.54	117.50	131.79
发展汇聚研究	5.00	15.80	16.00	15.20
NSF 包容性研究	17.95	20.20	20.00	18.92
中等规模的研究基础设施	—	60.04	75.00	97.67
中等规模研究基础设施轨道 1	—	60.04	—	32.67
中等规模研究基础设施轨道 2	—	—	—	65.00
NSF2026	—	6.51	6.50	—
总计	22.95	323.92	357.50	431.79

队研究,且该类研究目前尚未获得现有 NSF 项目、计划和以研究为中心的十大创意(Big Ideas)计划的支持。申请人必须阐述所申请项目的必要性,论证所申请的研究是否在 NSF 已有资助范围之内^[22]。GCR 计划资助的融合研究有别于其他形式的跨学科计划,其遵从的范式是:最初就有意将不同层面的研究人员和利益相关者聚集在一起,共同提出研究问题,探索跨学科和部门的有效沟通方式,采用通用的框架为所要解决的问题提出解决方案,以寻求发现新学科的时机。

GCR 计划的征集对象具有如下显著特征^[10]:在项目层,一是,项目涉及需要融合的基础研究创意;二是,项目由重大科学问题或社会需求驱动;三是,项目含有现有 NSF 项目/计划尚未支持的主题;四是,项目超过资助期限但仍有可持续发展的潜力。在团队层,一是研究团队由不同科学或技术背景的成员构成;二是团队成员共同工作,以形成跨学科和部门协作的有效方式,并保持可持续发展的关系,从

而促进提出研究问题和规划研究远景^[22]。

2.2.2 GCR 计划的实现机制和治理结构

GCR 通过能力建设、资助探索性研究,以及优化 NSF 评审流程三种机制,实现促进融合方法的发展和优化 NSF 项目评审流程的目标^[21, 23]。能力建设旨在促进美国大学的研究人员与工业界、联邦实验室、非营利研究组织和国际研究界等建立新的伙伴关系,增加融合研究团队成员的多样性,能力建设的主要内容包括:组建研讨班、创意实验室和研究协调网络等,也鼓励研究人员提出其他能力建设的新方法;资助探索性研究旨在支持研究团队有效协作并产出科研成果、解决认识论与本体论之间的学科差异,集成概念模型、工具、方法和基础设施,展示融合项目的研究进展。2021 年单个融合研究项目预算高达 360 万美元,项目时间最长可持续 5 年。NSF 的科学技术中心,工程研究中心,以及研究培训项目等将为组建更大规模的研究团队奠定基础;在优化 NSF 评审流程方面,NSF 综合利用数据挖掘

工具、工作人员的经验以及学界的建议来甄别经验丰富的融合研究专家,负责评估 GCR 项目申请书。基于此,NSF 邀请了近 100 名杰出的研究人员加入 GCR 项目评审专家组(College of Reviewers, CoR),帮助工作人员招募合适的研究人员开展融合研究和评审融合研究计划项目申请书。

GCR 计划是 NSF 的“十大创意”之一,其治理结构主要包括以下三部分^[10]:一是 NSF 领导小组,由 NSF 综合活动办公室(Office of Integrative Activities, OIA)负责;二是项目征集和评审,由 NSF 全体工作组负责;三是项目监督,由董事会负责(见表 5)。

2.2.3 GCR 计划资助项目的评审要求和标准

为支持融合研究,NSF 明确提出 GCR 计划资助的融合项目需满足的评审要求,并不断完善融合项目的价值评审标准。

(1) 融合项目需满足的评审要求

NSF 认为学科融合是一个过程,并探索在团队中促进融合的方法,这些团队在学科间具有不同程度的集成,在不同阶段随时准备采用融合策略,关键在于团队具有应对迫在眉睫的研究挑战的潜力,一是需要专业知识的创新与深入整合,二是需有证据表明申请书中所提活动将会发生融合。因此,GCR 计划资助的融合项目需满足如下 4 个基本要求^[18]:

1) 具有使用融合方法的必要性

在融合项目中应说明结合本质上不同的科学和工程学科,共同解决特定的科学挑战或社会问题的必要性。学科多样性的程度可通过知识传承的脉络,不同工具、技术和方法的开发,以及不同出版物的发表进行评估。

2) 做好从事融合研究的准备

研究团队需提供材料证明已做好开展融合研究的准备工作,如提供已完成的学科交叉项目,首席研

究员(PI)和联合负责人(Co-PI)共同发表的文章等,还需表明项目组由不同学科的成员构成。

3) 整合知识、工具及思维的方式

项目申请书需提供论证相关学科知识基础深度集成的案例;说明融合研究方法的新颖性,表明该方法是由相关学科所特有的思维模式的组合而成。

4) 涉及下一代融合人才培养

鼓励融合项目为本科生、研究生及博士后提供新的学习机会和经历,为融合研究培养储备人才。融合项目要明确指出这些人的角色和定位,如:在学习使用新工具、仪器和技术中将扮演什么样的角色?在本专业领域之外需要学习哪些概念,如何学习?该项目是否会支持新的模式和学习环境,以适应其他融合研究项目?

表 6 列举了 GCR 项目征集要求,表 7 显示了项目申请书结构^[10]。

(2) 融合项目价值评审标准

NSF 项目价值评审标准主要包括三个部分:知识价值、更广泛的影响和特定计划,其中前两项为 NSF 资助项目的通用评审标准,第三项是针对不同项目的特定评审标准,融合项目与其他 NSF 资助项目的价值评审标准的差异主要在于第三项(见表 8)^[10]。

表 6 GCR 项目征集要求

项目	具体要求
负责人	项目负责人(PI)必须在美国高校或符合资格的机构处室内担任全职研究或教学职位。 项目负责人或共同负责人(Co-PI)只能申请一个项目。
所属机构	高等教育研究机构,非营利、非学术研究机构。
持续时间	项目为期 5 年,包括两个阶段:第一阶段:1~2 年;第二阶段:3~5 年。
资助额度	总金额达 360 万美元: 第一阶段:1~2 年,60 万美元/年; 第二阶段:成功进入第二阶段的团队将在第 3—5 年获得 80 万美元/年。

表 5 GCR 的治理结构^[10]

主要内容	负责主体
NSF 领导小组	综合活动办公室(OIA)
项目征集和评审	全体基金会工作组,工作组由 NSF 不同学部(BIO、CISE、EHR、ENG、GEO、MPS、OIA、OISE、SBE,每个学部 1~2 人)相关负责人共同构成。
项目监督	董事会

表 7 GCR 项目申请书结构

申请书结构	具体内容
研究目标	—
研究可行性	—
研究计划	项目为期 5 年,包括第一阶段(1~2 年)和第二阶段(3~5)年。
附件	项目人员名单、融合研究计划、合作函。

表 8 融合项目价值评审标准^[10]

融合项目价值评审标准	具体内容
知识价值(通用标准)	增进知识的潜力。
更广泛的影响(通用标准)	造福社会和有益于解决特定的、亟待解决的社会问题的潜力。
特定计划(针对融合项目的特定标准)	激发该申请的愿景是否具有足够的吸引力和前景,证明在发展融合研究团队方面进行资助的合理性? 该项目之后是否有潜力继续开展融合研究? 拟开展的研究是否适合该类征集? 提议的构想是否与其他 NSF 计划、倡议、重大构想或其他 NSF 资助机制所支持的研究明显不同? 解决科学或技术问题的预期方法是否新颖,是否有前景且适合持续发展的融合研究? 拟议的管理计划是否适合促进融合团队形成和持续发展? 在两个研究阶段中概述的目标是否有发展前景? 是否足以使科学朝着解决该申请书中提出问题的方向发展? 不同机构和群体组建的团队对于该计划的项目是否具有合理性和必要性? 合作机构和群体的成员能否有机整合?

2.3 融合加速器计划——加速融合成果的转化

2.3.1 融合加速器计划的宗旨及定位

融合加速器(Convergence Accelerators, CA)计划是一种推动美国在重要领域的融合研究成果转化的新机制,分两个阶段实施:第一阶段(为期 9 个月),团队利用 CA 的基础知识和创新课程确定新的团队成员,提出明确的解决方案;第一阶段结束时,每个团队都要参加路演,公开竞争并进行方案评估,通过了第一阶段筛选的团队方能进入第二阶段(为期 24 个月)^[19, 24, 25]。为加速融合成果转化,解决国家重大社会性问题,NSF2019 财年预算明确提出投入 600 万美元在驾驭 21 世纪科学和工程数据,以及人类—技术互动前沿探索两个领域设立融合加速器计划。

2.3.2 融合加速器计划的特征及实践

(1) 融合加速器计划的特征

融合加速器计划具有以下 5 个鲜明特征:一是以应用为导向(巴斯德象限),二是具有明确的目标、阶段性成果和重大成果,三是多学科团队交互合作,

四是规模更大的国家级项目,五是需要产业、非营利组织和学术界等多样化合作^[25]。

基于其鲜明特征,融合加速器计划的资助模式不同于传统的 NSF 资助项目,其资助模型包括问题发现、融合研究聚焦,以及融合研究的社会价值发挥 3 个部分(图 2)^[25]。

(2) 案例——2020 年进入融合加速器计划第二阶段的 9 个团队

2019 年,NSF 融合加速器计划第一阶段在量子技术和人工智能这两个重大变革性研究领域选择了 29 个研究团队,NSF 投资超过 2 700 万美元支持研究团队开发量子技术,人工智能驱动的数据和模型共享的解决方案,确保科技进步对社会产生积极影响。2020 年,NSF 融合加速器计划从 29 个研究团队中选择了 9 个研究团队进入第二阶段,其研究主题和迄今获得融合加速器项目资助情况见表 9。第二阶段 NSF 将为各团队提供超过 2 800 万美元,资助其继续研发开放知识网络,人工智能和未来工作以及国家人才生态系统三个主题的解决方案^[26]。

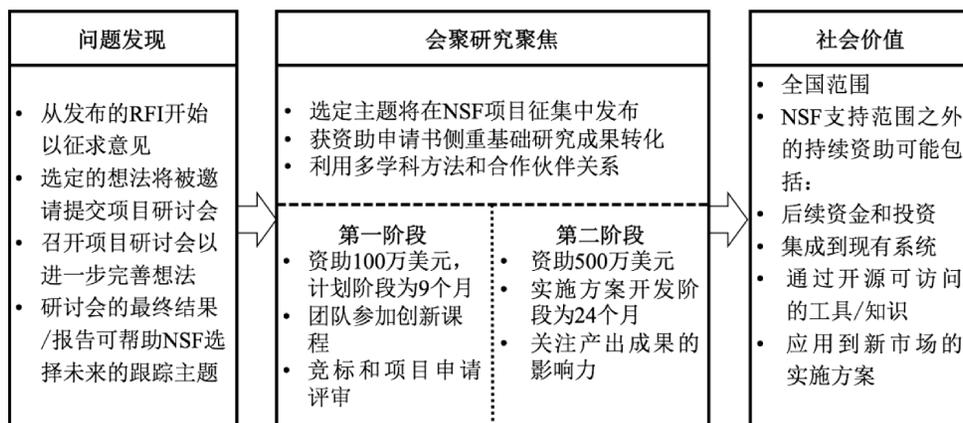


图 2 融合加速器计划模型^[25]

表9 2020年进入CA计划第二阶段的9个团队的研究主题及获资助情况(单位:美元)^[27]

序号	项目编号	团队研究主题	资助金额
1	2033413	将人工智能用于神经多样性 ^① 人士的就业	3 000 000.00
2	2033521	Know Where Graph:使用空间明确的AI技术丰富和链接跨域知识图谱	2 744 794.00
3	2033558	知识网络开发基础架构及其在COVID-19科学与经济学中的应用	2 993 148.00
4	2033569	生物医学多尺度开放知识网络	2 999 998.00
5	2033578	能力催化剂第二阶段	2 933 167.00
6	2033592	面向下一代紧急响应者的具有增强功能和机器人技术的学习环境	2 998 814.00
7	2033604	基于开放知识网络的诉讼事件内容的系统分析(SCALES)——可实现对法院记录裁决的透明化访问	2 532 105.00
8	2033607	城市洪水开放知识网络(UF-OKN):向公众随时随地提供洪水信息	2 853 561.00
9	2033615	(未来工作和AI)Skill-XR:经济实惠且可扩展的X-Reality(XR)平台——用于制造业劳动力教育中的技能培训和析	3 000 000.00

3 启示

深入分析NSF培育融合研究的资助机制与成功案例,对进一步完善我国科技基金管理,探索建立符合融合研究特点和规律的资助管理机制具有重要的启示借鉴意义。

3.1 优化融合计划项目的系统设计和分层部署

科技计划层面,我国科学基金资助体系中,对融合研究资助计划的系统设计和分层部署有待加强。国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)通过多种计划和项目资助交叉领域的研究,但在融合研究资助项目方面有待进一步明确和进行分层部署。目前,自然科学基金委交叉科学部主要通过优秀青年科学基金项目、国家杰出青年科学基金项目、创新研究群体项目、基础科学中心项目、国家重大科研仪器研制项目、重大项目、重大研究计划项目、组织间国际(地区)合作研究项目和专项项目等,统筹和部署面向国家重大战略需求和新兴科学前沿交叉领域的研究,而针对更多学科、更深融合的融合研究资助项目相对不足。融合研究建立在学科交叉研究的基础上,是学科交叉的一种扩展形式,是更多的学科、更深地融合^[28]。如NSF在资助学科交叉研究和变革性研究的基础上,还通过十大创意计划和融合加速器等计划资助融合研究,2018年拨款金额达2 295万美元,2021年相关预算增至4.3179亿美元,是2018年拨款金额的近20倍。NSF对融合研究的资助进一步加速了相关研究成果的转化,为

推动国家重大科学前沿问题的解决提供了新思路和新方法。

结合NSF资助融合项目的举措和经验,根据我国不同学科的特点及发展现状,在若干重点机构和重点领域开展跨机构、跨领域的融合研究试点项目,对推动科研人员或团队开展跨学科深度合作,促进不同学科知识、技术和方法交叉和融合,解决国家重大科学前沿问题具有重要意义。

3.2 完善融合项目的评审标准和专家队伍建设

科研管理层面,我国科学基金资助体系中,基于现有项目评审流程和融合项目特征的评审标准和专家队伍建设有待完善。自然科学基金委在项目评审环节,严格遵循“依靠专家,发扬民主,择优支持,公正合理”的评审原则,采用同行专家通讯评审和会议评审两级评审制度^[29];对已受理的基金资助项目申请,先从同行专家库中随机选择3名以上专家进行通讯评审,再组织专家进行会议评审;对因国家经济、社会发展特殊需要或者其他特殊情况临时提出的基金资助项目申请,可以只进行通讯评审或会议评审。其中,每年参与自然科学基金委项目通讯评审的专家7万人左右,评审各类项目超过25万项,提供评审意见90万份左右^[30]。融合项目具有有别于其他交叉科学领域项目的显著特征,因此在现有通用评审的基础上,完善针对融合项目的评审标准并组建融合项目评审专家组具有重要意义。如NSF持续优化融合项目评审标准并加强评审专家队伍建设,有效提升了融合项目的识别和遴选效果。

^① 神经多样性:是自闭症人士比照生物多样性提出的一个名词。

NSF 针对融合研究相关计划项目,制定了特定评审标准,包括:(1) 资助融合研究团队的合理性及该项目之后是否有潜力继续开展融合研究;(2) 拟开展的研究是否适合该类征集计划,拟议构想是否与其他 NSF 计划、倡议、重大构想或 NSF 资助机制所支持的研究有明显差异;(3) 解决科学或技术问题的预期方法是否新颖,是否有前景且适合持续发展的融合研究;(4) 拟议的管理计划是否适合促进融合研究团队的形成和持续发展;(5) 在不同研究阶段中概述的目标是否有发展前景,是否足以使科学朝着解决该申请书中提出问题的方向发展;(6) 不同机构和群体组建的团队对于该计划的项目是否具有合理性和必要性,合作机构和团队的成员能否有机整合。此外,NSF 组建了由基金会不同学部负责人构成的项目征集和评审工作组,工作组综合利用数据挖掘工具、工作人员的经验以及学界的建议来甄别经验丰富的融合研究专家,并基于此建立了融合研究项目评审专家组,帮助工作人员招募研究人员开展融合研究和评审融合研究计划项目申请书,取得了较好的效果。

立足我国科研项目资助现状和特点,可引入数据挖掘工具辅助甄别融合研究的专家和人才,并充分发挥从事融合研究资助的工作人员经验和学界建议的作用,进一步完善针对融合项目的特定评审标准,组建面向融合项目的评审专家组,促进融合研究的持续发展。

3.3 加强融合研究团队资助和下一代人才培养

人才培养层面,我国自然科学基金资助体系中,对融合研究人才和团队的遴选和资助,以及对下一代融合研究人员的关注和培养有待进一步加强。目前,自然科学基金委交叉科学部主要通过基础科学中心项目和创新研究群体项目等遴选和资助交叉科学领域研究团队,结合杰出青年科学基金项目 and 优秀青年基金项目等资助交叉科学领域的研究人才。应对重大科学问题需要深度融合不同知识领域的思想、方法、工具和技术,团队科学在融合研究中至关重要,目前我国基金资助融合研究团队和培育下一代融合研究人员的计划项目有待明确。如 NSF 通过 GCR 等计划培养新一代的通过团队合作应对前沿科学问题的融合研究人员。在能力建设活动方面,GCR 支持科研人员参与研究协调网络,鼓励科研人员形成协同科研合作网

络。此外,NSF 鼓励融合项目为本科生、研究生及博士后提供新的学习机会和经历,体现了其培养和储备下一代融合研究人员的前瞻性。

基于我国科学基金资助体系,借鉴 NSF 资助融合研究团队和培育下一代融合研究人员经验,进一步完善融合研究项目征集对象要求和遴选标准,并加强对青年科研人员、硕博士研究生和本科学生的融合研究方向资助和培训,将有利于推动融合研究团队的发展和促进下一代融合研究人员的成长。

参 考 文 献

- [1] Roco MC, Bainbridge WS. The new world of discovery, invention, and innovation: convergence of knowledge, technology, and society. *Journal of Nanoparticle Research*, 2013, 15(9): 1—17.
- [2] National Science Foundation. Convergence reports and reference. [2020-11-27]. <https://www.nsf.gov/od/oia/convergence/reports.jsp>.
- [3] National Science Foundation. National science foundation NSF convergence accelerator and big ideas funding FY 2021 budget request to congress. [2020-12-01]. https://www.nsf.gov/about/budget/fy2021/pdf/07_fy2021.pdf.
- [4] National Science Foundation. National science foundation convergence accelerator and NSF 10 big ideas funding FY 2020 budget request to congress. [2020-12-01]. https://www.nsf.gov/about/budget/fy2020/pdf/07_fy2020.pdf.
- [5] 中国科学院. 国家自然科学基金委员会. 未来 10 年中国科技发展策略. 北京: 科学出版社, 2012.
- [6] National Science Foundation. Convergence research at NSF. [2020-11-27]. <https://www.nsf.gov/od/oia/convergence/index.jsp>.
- [7] National Research Council. A new biology for the 21st century. Washington, US: The National Academies Press, 2009.
- [8] Massachusetts Institute of Technology. The third revolution: the convergence of the life sciences, physical sciences and engineering. [2020-11-28]. <https://www.aplu.org/projects-and-initiatives/research-science-and-technology/hibar/resources/MITwhitepaper.pdf>.
- [9] National Research Council. Convergence: facilitating transdisciplinary integration of life sciences, physical science, engineering and beyond. [2020-11-27]. <https://www.nap.edu/resource/18722/convergence-brief-final.pdf>.

- [10] National Science Foundation. NSF big idea: growing convergence research. [2020-11-28]. <https://www.nsf.gov/od/oia/convergence/additional-resources/GCR-Powerpoint-Webinar-Jan-2020.pdf>.
- [11] National Science Foundation. 10 big ideas for future NSF investments. [2020-12-01]. https://www.nsf.gov/about/congress/reports/nsf_big_ideas.pdf.
- [12] National Science Foundation. FY 2018 budget request to congress brochure (nsf17057). [2020-12-01]. <https://www.nsf.gov/pubs/2017/nsf17057/nsf17057.pdf>.
- [13] National Science Foundation. NSF's 10 Big Ideas. [2020-12-01]. https://www.nsf.gov/news/special_reports/big_ideas/includes.jsp.
- [14] National Science Foundation. NSF issues first convergence awards, addressing societal challenges through scientific collaboration. (2017-08-24)/[2020-12-01]. https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=242889.
- [15] National Science Foundation. New NSF awards will bring together cross-disciplinary science communities to develop foundations of data science. (2017-08-24)/[2020-12-01]. https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=242888.
- [16] National Science Foundation. NSF's 10 big ideas FY 2019 request funding. [2020-12-01]. https://www.nsf.gov/about/budget/fy2019/pdf/07_fy2019.pdf.
- [17] National Science Foundation. NSF Budget Requests to Congress and Annual Appropriations. [2020-11-29]. <https://www.nsf.gov/about/budget/index.jsp>.
- [18] National Science Foundation. 10 big ideas growing convergence research. (2017-05-09)/[2020-11-29]. <https://www.nsf.gov/nsb/meetings/2017/0509/presentations/20170509-CS-Open-Convergence-Research-Presentation.pdf>.
- [19] National Science Foundation. Dear colleague letter: NSF convergence accelerator pilot (NSF C-Accel). (2019-03-15)/[2020-11-29]. <https://www.nsf.gov/pubs/2019/nsf19050/nsf19050.jsp>.
- [20] National Science Foundation. Growing Convergence Research. [2020-11-28]. https://www.nsf.gov/news/special_reports/big_ideas/convergent.jsp.
- [21] National Science Foundation. FY 2021 NSF budget request to congress. [2020-11-28]. https://www.nsf.gov/about/budget/fy2021/pdf/49_fy2021.pdf.
- [22] National Science Foundation. Growing convergence research (GCR) program solicitation NSF 19-551. (2019-05-08)/[2020-11-30]. <https://www.nsf.gov/pubs/2019/nsf19551/nsf19551.htm>.
- [23] National Science Foundation. NSF FY 2020 budget growing convergence research (GCR). [2020-11-30]. https://www.nsf.gov/about/budget/fy2020/pdf/49_fy2020.pdf.
- [24] National Science Foundation. 10 big ideas and convergence accelerator. (2019-05-16)/[2020-11-29]. https://www.nsf.gov/od/oia/programs/epscor/presentations/PI_Meeting_May_2019/Iacono_10Ideas_Convergence.pdf.
- [25] National Science Foundation. NSF convergence accelerator. (2020-10-21)/[2020-11-29]. [https://www.nsf.gov/od/oia/convergence-accelerator/documents/NSF_Convergence_Accelerator_Outreach_Slide_\(10.21.2020\).pdf](https://www.nsf.gov/od/oia/convergence-accelerator/documents/NSF_Convergence_Accelerator_Outreach_Slide_(10.21.2020).pdf).
- [26] National Science Foundation. NSF convergence accelerator. [2020-12-01]. <https://www.nsf.gov/od/oia/convergence-accelerator/index.jsp>.
- [27] National Science Foundation. Advanced search result. (2020-09-01)/[2020-12-01]. [https://www.nsf.gov/awardsearch/advancedSearchResult?PIID=&PIFirstName=&PILastName=&PIOrganization=&PIState=&PIZip=&PICountry=&ProgOrganization=01060000&ProgElementCode=095Y,+096Y&BooleanElement=Any&ProgRefCode=&BooleanRef=All&Program=&ProgOfficer=&Keyword=&AwardNumberOperator=&AwardAmount=&AwardInstrument=&ActiveAwards=true&OriginalAwardDateOperator=&StartDateOperator=Range&StartDateFrom=09/01/2020&StartDateTo=09/15/2020&ExpDateOperator=.](https://www.nsf.gov/awardsearch/advancedSearchResult?PIID=&PIFirstName=&PILastName=&PIOrganization=&PIState=&PIZip=&PICountry=&ProgOrganization=01060000&ProgElementCode=095Y,+096Y&BooleanElement=Any&ProgRefCode=&BooleanRef=All&Program=&ProgOfficer=&Keyword=&AwardNumberOperator=&AwardAmount=&AwardInstrument=&ActiveAwards=true&OriginalAwardDateOperator=&StartDateOperator=Range&StartDateFrom=09/01/2020&StartDateTo=09/15/2020&ExpDateOperator=)
- [28] 樊春良, 樊天. 国外学科交叉研究的发展趋势及启示. 中国科学基金, 2019, 33(5): 446-452.
- [29] 国家自然科学基金委员会. 项目受理和评审流程. (2021-03-12)/[2022-01-07]. <http://search.nsf.gov.cn/search.htm?opType=view&id=80188>.
- [30] 国家自然科学基金委员会政策局. 完善评审机制 促进负责任评审. (2020-10-26)/[2022-01-02]. https://www.nsf.gov.cn/Portals/0/fj/fj20201027_01.pdf.

Convergence Research Funding Mechanism and Enlightenment of National Science Foundation of United States

Qianqian Lyu^{1, 2, 3} Zongying Tan^{1, 2*}

1. *National Science Library, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190*

2. *Department of Library Information and Archives Management, School of Economics and Management, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049*

3. *China Electronics Standardization Institute, Standard Innovation Center, Beijing 100007*

Abstract Convergence research is of great significance in solving major scientific problems and challenges. The National Science Foundation of United States (NSF) embodies the concept of collaborative innovation and accelerated transformation and application of convergent research funding, which has important reference significance for further deepening the reform of my country's science and technology system and mechanism, accelerating the implementation of innovation-driven development strategies, and improving the management of science and technology funds. The article first introduces the concept of NBIC and the development of the concept of convergence research. Then, it analyzes the funding mechanism of NSF convergence research from three aspects: the promotion, development and achievement transformation of convergence research. Finally, from the perspectives of optimizing the system design and layered deployment of the convergence research project, improving the evaluation standards and expert team building of the convergence research project, and strengthening the funding of the convergence research team and the cultivation of the next generation of researchers, the article presents the enlightenment of the NSF convergence research funding mechanism to the management of the Chinese science funds.

Keywords convergence research; convergence accelerator; evaluation criteria; funding mechanism

(责任编辑 崔国增 张强)

* Corresponding Author, Email: tanzy@mail.las.ac.cn