探索中前行的交叉科学发展之路

戴亚飞　杜全生　潘　庆　陈拥军

（国家自然科学基金委员会 交叉科学部，北京 100085）

摘　要：我国交叉科学研究的发展和资助管理面临诸多挑战，如交叉科学研究亟待长效资助机制支持、人才亟待创新项目培育、成果亟待科学合理评价等。为克服上述挑战，促进交叉科学深度发展，推动基础科学研究的源头创新，国家自然科学基金委员会在 2020 年成立“交叉科学部”。交叉科学部的成立符合当前科技发展的新态势，也是深入推进科学基金深化改革的重要举措；既有益于推进我国交叉科学领域突破性创新成果的源头产出，也有助于强化交叉科学领域的人才培养。在对国内外交叉科学发展趋势以及基金资助情况进行大量调研的基础上，交叉科学部在项目资助模式、评价方式等基金管理机制上进行了初步探索，在后续实践中将逐步发展并完善符合交叉科学研究特征的资助管理机制，打造交叉科学研究基金管理机制的“中国模式”。

关键词：交叉科学研究；交叉科学部；科学基金管理

2020 年 3 月 23 日，中央机构编制委员会办公室向国家自然科学基金委员会（以下简称基金委）下发了《中央编办关于国家自然科学基金委员会设立交叉科学部的批复》（中编办复字〔2020〕46 号）文件。4 月 9 日，基金委成立了“交叉科学部筹备工作领导小组”和“交叉科学部筹备工作组”。为顺利成立交叉科学部，筹备工作组对国内具有较好交叉科学研究基础的代表性科研机构、长期从事交叉科学研究的著名学者和科技管理者开展了广泛调研。同时，为充分了解我国交叉科学发展现状和研究领域的分布特征，对基金委已有项目申请和评审专家数据库进行了信息挖掘与系统分析，也对美国国家科学基金会（以下简称 NSF）等 14 个发达国家科学基金机构关于交叉科学项目的遴选机制、评审模式和特色项目设置进行了深入调研和梳理总结。本文借鉴了国际上相对成熟的科学基金管理办法，以 NSF 和美国国防部高级研究计

作者简介：戴亚飞，女，国家自然科学基金委员会交叉科学部一处副处长，教授；杜全生，男，国家自然科学基金委员会交叉科学部三处处长，研究员；潘庆，男，国家自然科学基金委员会交叉科学部副主任，研究员；陈拥军，男，国家自然科学基金委员会交叉科学部常务副主任，研究员。

划局(以下简称DARPA)为典型代表,结合当前国内外交叉科学发展态势和面临的挑战,就推动我国交叉科学研究发展的历史机遇及管理机制建设进行了初步探索性思考,提出相关建议。

一、交叉科学研究的概念

20世纪初,随着学科知识结构和学科体系的建立,科学研究逐步分化成相互独立的学科。学科划分使科学系统分化成具有不同特点和功能的分支系统,但学科间仍然存在复杂的内在联系,且相互促进协同发展。到了20世纪中后期,生命健康、能源安全、环境保护、国家安全等重大问题呈现出高度的复杂性,涉及的学科知识高度融合且相互渗透,逐渐超越单一学科研究的范畴,其解决越来越依赖于多学科的协同攻关。诚如哲学家Karl Popper在1963年所言[1]:我们不是某些学科的学生,而是问题的学生,问题可能跨越任何主题或学科的边界。进入21世纪,学科间相互交叉与渗透的趋势愈加明显。从科学意义上讲,学科交叉点往往就是新的学科增长点,也是最可能产生重大科学突破和变革性创新的研究前沿。

交叉学科(Interdisciplinary)是指通过两个或两个以上学科间知识结构和研究方法的交叉、融合、渗透开展研究活动的研究范式,是学科交叉后自然形成的新理论体系。开展交叉学科活动的主体是整合了多学科知识和方法的复合型团队或个人[2]。交叉学科一词由哥伦比亚大学心理学家Robert Sessions Woodworth在1926年首次提出,与多学科(Multidisciplinarity)和跨学科(Transdisciplinarity)具有明显的组织和研究模式差异。多学科研究是指不同学科背景的研究人员从各自领域对同一个科学问题进行探究。跨学科研究通常认为是研究人员超越学科传统的边界壁垒解决另一学科的问题,以取得更有启发性的成果。交叉科学研究则强调各个学科/领域间的会聚融合,在解决一个科学问题的同时创造或拓展学科视野,进而发展出共同的框架概念。

交叉科学则是指众多交叉学科的集合,是学科广泛交叉、深度交叉的综合性产物。交叉科学研究需要多学科背景的研究人员或来自不同学科背景的研究者共同协作,分别调适各自的研究途径,实现对研究对象更准确和深入的认知,有利于解决重大复杂科学问题、社会问题和全球性问题。20世纪50和60年代被认为是交叉科学的实质发展阶段。经过70年代的探索发展,交叉科学概念体系在80年代趋向成熟,从而推动了美国交叉科学实践和人才培养探索。进入21世纪,美国从国家层面加速推进交叉科学的发展,欧洲、澳大利亚和日本等也相继关注交叉科学发展并积极布局。

二、交叉科学研究的现状

（一）交叉科学研究日渐成为人类新知识的主要生长点

随着科技的迅速发展，人类面临的新问题日益复杂，相关学科开始会聚并趋向高度融合方向发展，物理化学、化学生物学、地球化学、地质力学、生物信息、量子通讯、计量经济学等新兴交叉研究领域陆续出现，并成为当前学术活动中研究活力的来源之一。在解决相关问题的同时，交叉研究领域不仅创造出新的知识，也逐渐发展成为当前主要的学科增长点。例如，化学与生命科学交融后所形成的交叉学科不断创造和拓展知识边界，交叉研究成果获得诺贝尔化学奖的比例逐年上升，从 1901—1910 年的 10%攀升到 2001—2010 年的 50%[3]。通过对我国 2016 年 200 位杰出青年基金获得者的学术论文统计分析发现，生命学部获得者的学术影响力与其跨学科合作成果具有明显的相关性[4]。

近几十年科学技术的发展似乎进入了平缓期，这一现象极有可能与学科过于分化相关。交叉学科的发展将有助于突破传统学科边界，促进各学科间广泛渗透与深度融合，进而推动科学系统向着整体综合化的方向发展。随着交叉科学实践深入推进和不断加强，其被赋予了越来越多的期待，包括解决当前社会和科技领域面临的重大问题，提供基础科学研究创新的源头供给。

（二）当前交叉研究的发展受到多方面制约

尽管交叉学科对当前社会发展的作用已经被广泛认可，国内外科学基金管理机构也通过一系列重要举措鼓励跨学科或交叉科学研究，但是其发展仍面临重要的挑战，主要包括研究经费获取难度较大、人才成长周期较长、缺乏客观有效的评价体系等。

1. 交叉学科获得国家研究经费资助率低于单一传统学科

澳大利亚国立大学对 2010—2014 年期间提交到澳大利亚研究理事会“发现计划”的 3500 个研究计划申请书进行分析，由于存在学科评价的壁垒，发现学科交叉程度越高的申请书获得资助的概率越低[5]。对于年轻学者而言，职业生涯起步阶段未获得资助将使其永久放弃学术生涯的概率增加 10%以上（基于美国国立卫生研究院（NIH）资助的研究数据）[6]。

2. 青年学者从事交叉科学研究取得成果较难、成功率较低，不利于交叉学科人才的培养与成长

通过对美国物理学会（APS）期刊中近 24 万名科学家发表论文的分析，发现职业生涯早期更换研究方向的学者成功率较低，而职业生涯后期进行跨学科研究获得成功的概率较高[7]。这与科研经费申请的“马太效应”存在一定关系，即职业生涯早期，能力水平相当的科研人员若未获得资助，其之后获得资助的概率更低，甚至永久失去学术职位[8]。这一普遍存在的现状给交叉学科科研人才培养及成长带来严峻的挑战。

3. 交叉学科的学术成果难以获得现有学科体系合理评价

除《科学》(*Science*)、《自然》(*Nature*)、《美国科学院院报》(*PNAS*)等少数高影响力综合性期刊之外,其他著名刊物多是专业学会出版的传统学科期刊。虽然跨学科期刊的数量和论文数量在增加,但其在认可度上远低于单一学科经典期刊[9]。因此,这些跨学科期刊上发表的学术成果难以得到评审专家应有的认可,这将不利于他们的职业生涯和交叉学科的发展。此外,交叉学科在研究方向上更倾向于实际的社会和科学技术问题,而大多数评审专家来自于单一学科,获得共识认可的难度较大[10]。

上述三个方面的制约因素相互耦合,形成一道制约屏障,对交叉学科与跨学科合作等学术研究的快速发展带来了挑战,进而影响到创新性和突破性科学研究的开展。

(三)交叉科学发展的历史时机

当前科学上的重大突破、新知识生长点及新兴前沿学科的产生,大多数得益于不同学科前沿知识相互交叉融合。当今社会发展所面临的重大挑战本质上所涉及的科学领域常常具有交叉科学研究属性。而交叉学科跨越了单一学科的边界,需要科研人员具备相对广博的专业知识和综合技能,其所培养的人才更符合社会需求、具有更好的就业竞争力。经过20多年的认知与发展,当前的科技强国逐渐把促进交叉科学研究与教育作为政府基金重点支持对象。为了破除交叉学科发展过程中的制约壁垒,促进交叉学科深度发展及实现其快速向生产力转化,多国科学基金管理机构均在制度层面上进行不同形式的改革和规划。

1. NSF逐步加大对交叉科学研究的资助力度以保持科技的全球领导地位

美国在20世纪80年代面对欧洲和日本的科技竞争压力,为提升高科技领域主导地位,时任NSF主任Erich Bloch在1985年提出建立科技合作中心的构想。1987年,时任美国总统里根在国情咨文中宣布在研究型大学成立科学技术中心(Science and Technology Center,STC),围绕提升科技竞争力开展相关基础科学研究;并于当年8月正式批准实施以学科交叉为导向、研究与教育相融合的STC计划。NSF自1989年起分批次对50个研究型高校的STC进行资助,这些STC均围绕交叉学科开展研究工作,以专注于应用基础研究、培养交叉学科人才、促进产学研成果转化[11]。2015年NSF对资助的STC进行评估,发现STC在信息科学、地球科学、生命科学、工程研究等学科领域极大推动了美国基础科学的进步,并逐渐形成成熟的创新体制,构建出科学家、工程师和青年学生跨越不同学科、研究领域、机构部门进行合作和交叉融合的新模式。

除了类似STC针对交叉科学中心的资助支持,NSF在20世纪90年代开始以特殊重大项目的形式对学部间交叉的方向或重大科学问题进行资助。例如,1997年由数理学部、生命学部、工程学部等多个部门联合推出名为“极端环境下生命”(Life in Extreme Environments,LEE)的资助计划,探索接近星际等极端条件下可能的微生命存在形式及其存在可能性等问题。通过资助学科交叉的研究计划,推动学科间(包括微生物学、天文学、地质学、地球化学和

分子生物学)的交叉融合，以探究极端条件下的生命现象。NSF 至今仍然保留这种以特定科学问题为对象的顶层设计类项目资助形式，即指南发布的项目形式。

基于 20 世纪末交叉学科发展的特点，2004 年美国国家科学院出版了《促进学科交叉研究》(Facilitating Interdisciplinary Research)报告，对交叉学科构想、研究范畴定义、研究任务、人才教育/培训/评价，以及交叉科学研究的资助和评估等问题进行了阐述，并提出新兴交叉学科方向的构想及资助方式等。报告同时指出，目前交叉学科的发展仍面临诸多挑战，如经费支持、学科评估、期刊论文发表等。针对此报告中的问题及建议，NSF 在后续针对交叉学科方向的领域设置和资助方式及评审机制等方面做了相应调整。

进入 21 世纪，信息技术的快速发展对社会产生了重大影响，NSF 于 2006 年提出信息物理系统(Cyber-Physical Systems，CPS)概念，此后德国基于 CPS 概念于 2010 年首次提出了“CPS＋制造业＝工业 4.0”的想法。NSF 经过 10 年时间逐渐认知到，CPS 是信息系统与物理系统相互交叉融合的一门新学科，涵盖了生命科学、物质科学、计算机科学与工程学等学科，可以有效促进精细化农业、先进基础设施与运输系统建设、广泛性的医疗保健、智慧型制造业等多个领域发展。NSF 从 2014 年开始针对 CPS 资助相关交叉学科方向，规模从 2014 年的 8 项增长到 2019 年的 162 项，从 2016 年开始实施三年期和五年期的“前沿”资助模式。

随着 NSF 对交叉科学重要性认知的逐步深入，2012 年 NSF 在交叉科学资助机制方面进行了补充，成立“整合 NSF 支持促进交叉科学研究与教育”(Integrative NSF Support Promoting Interdisciplinary Research and Education，INSPIRE)计划，旨在资助传统学科及 STC 已经充分资助之外的探索和冒险类交叉学科方向，并同时资助在传统 NSF 项目评审过程中处于不利或不公正地位的交叉学科方向[12]。2016 年 NSF 再出台“发展融合研究”(Growing Convergence Research)计划，针对 10 大理念(Big Idea)进行长期资助，其目标诚如时任 NSF 主任 France Córdova 所言“融合是一种更深入、更有意的方法，旨在整合多个学科的知识、技术和专业知识，以应对最紧迫的科学和社会挑战(Convergence is a deeper, more intentional approach to the integration of knowledge, techniques, and expertise from multiple disciplines in order to address the most compelling scientific and societal challenges.)”。

NSF 除了在顶层设计上通过发布指南对交叉学科进行专门资助之外，也依据科技发展态势，布局具体交叉学科方向上的资助计划。2000 年 NSF 制定国家纳米技术计划(National Nanotechnology Initiative，NNI)，致力于促进原子和分子级别的交叉科学研究，其中约 45%的资助用于生物技术、信息技术和认知科学等基础科技领域进行交叉融合的研究方向。NNI 自 2001 年起累计资助 220 亿美元，其中 2015 年度资助额度为 4.9 亿美元。受 NNI 影响，全球 80 多个国家相继设立了类似 NNI 的交叉研究计划与资助体系，我国在 2003 年成立“国家纳米科学中心”。2006 年 NSF 成立合成生物学工程研究中心(Synthetic Biology Engineering Research Center，SynBerc)，致力于资助以合成生物学为基础来发展方法和技术进而迎接医疗保健、能源和环境方面的挑战，2006—2013 年 NSF 共投入了 6 亿美元来资助合成生物学交叉

学科的研究与教育工作。

NSF经过30多年来对协同创新模式的探索，逐渐确立了针对交叉学科的资助方式。在制度管理上，NSF设置了交叉科学管理部门，设立了国家重大任务驱动的交叉科学领域，以促进交叉科学研究的发展。这些管理部门致力于资助新兴领域的长周期研究和交叉学科的基础教育，促进学科前沿和具有潜在变革性影响的交叉学科领域发展，通过“指南项目”和“自由申请项目”两种方式来资助相关领域的学者。

NIH在21世纪初发布路线图（NIH Roadmap），宣布将扶植交叉科学研究提升到战略层面，大力发展生命科学与其他学科相关的交叉科学研究。NIH设置了多种支持交叉科学研究的基金，包括探索基金（Exploratory Grant）、研究中心基金（Center Core Grant）和特殊研究中心（Specialized Center）。此外，设置了交叉科学培训与教育基金（Research Training Award and Combined Research Education Grant），支持青年科学家开展交叉科学研究，以提升其交叉科学知识、技能和科研素质。

除NSF和NIH之外，在交叉科学领域进行探索的另一个典型代表是美国国防部，其于1958年成立DARPA，负责研发用于军事的前瞻性高科技关键技术。DARPA成立以来，一直致力于在前沿领域进行基础研究，深刻影响了美国乃至全球的未来发展，其所资助开发的大量优秀科技成果已经广泛应用并重塑了当前产业结构和人类生活方式，包括互联网、全球定位系统、航天火箭、即时通信、智能义肢、远程医疗[13]。DARPA的成功主要源于其卓越的管理体系和项目遴选机制。DARPA管理上的最大特点是扁平化的三级管理体系，“局长—办公室主任—项目经理”：局长通常负责战略性的规划和协调；办公室主任和副主任负责制定技术方向、雇佣和培训项目经理人、监督项目运行，为项目的良好运行提供保障；项目经理是专业化管理机制中的核心角色，负责制定技术研发目标、确定最合适的项目承担人、跟踪与管理项目全过程[14]。项目经理人对项目的选择是成败的关键，需重点选择极具前瞻性的高风险高收益型项目，将眼光放在未来具有战略意义和变革作用的项目上。在项目资助上通过竞争性机制，容许一部分项目分阶段推进，DARPA在资助过程中引入淘汰机制，并对最具创新性且能成功的项目进行接力式延续资助。

2. 欧盟和英国启动针对交叉学科方向的资助计划

欧洲与美国在科技计划政策方面有紧密联系与合作，如前所述的LEE和NNI多学科融合方向的资助计划，欧洲科研机构和学者均深度参与其中，甚至在CPS等重点支持的交叉学科方向上，欧美相互促进共同发展，如德国基于CPS提出工业4.0计划，并设立相关的科技振兴方案。德国是欧洲最早将交叉科学研究提升到战略层面的国家，其举办的著名林岛会议（又称“诺贝尔奖获得者大会”），自2000年开始，在物理学、化学和生理学/医学等三个传统学科年会之外，增设交叉科学为常设年会，并且每5年一次作为主题年会。此外，德意志研究基金会（Deutsche Forschungs Gemeinschaft，DFG）特别注重德国科研人员开展跨学科的国际合作基金项目，如2010年与基金委签署关于共同支持“中德跨学科重大合作研究项目”（SG-JIRP）的

协议，双方共同支持两国科学家团队开展跨学科合作研究。

欧盟提出了一些独立的交叉学科方向的资助方案。2014 年欧盟启动“地平线 2020”(Horizon 2020)基金计划，以消除学科创新的障碍，促进科技创新向生产力转化，确保欧洲产生世界顶级水平的科学家。资助类型上重点关注卓越科研、产业领导力和社会重大挑战，其中卓越科研侧重于学科交叉研究[15]。在“地平线 2020”计划框架下，欧盟研究理事会(European Research Council，ERC)提供较为灵活的资金以资助具有潜力和创造力的科学家，可以不限领域和主题地在学科前沿及交叉边界开展研究。欧盟未来新兴技术计划(Future Emerging Technology，FET)同时设置了开放计划(FET-Open)、前瞻计划(FET-Proactive)和旗舰计划(FET-Flagships)，分别针对通信技术相关交叉学科、探索性新兴跨学科研究的科研团队、重大挑战领域的前沿交叉学科问题等进行灵活资助。

英国于 2018 年 4 月将英国研究理事会、创新英国和研究英格兰等三家机构整合成英国研究与创新署(U. K. Research and Innovation，UKRI)，统筹管理英国每年全部 60 亿英镑的科研经费，负责全球挑战研究、跨组织主题和多学科计划、基础设施、国际交流和产业挑战等方面的基金，其中全球挑战研究、跨组织主题和多学科计划主要强调交叉学科方向的研究。全球挑战研究基金重点支持三个方面的研究：涵盖海洋/农业/粮食等系统安全的可持续发展、人口/环境/气候/经济等相关的社会和经济可持续发展、难民危机/和平主义/人道主义/消除贫困和不平等等社会问题。多学科计划(Multidisciplinary Programmes，MP)通过 9 个组织优先支持多个交叉学科领域的研究，包括数字经济、能源、全球链式安全、抗菌素耐药性、科技对生活和城市居民生活伙伴关系的影响等。

欧洲的基金决策者对交叉科学研究实现突破性创新方面的认知在不断深入，同时其他国家和组织也在陆续出台针对交叉学科方向的资助计划。例如，北欧四国的国家基金会与北欧基金会(Nord Forsk)联合设立北欧交叉科学研究计划(Nordic Programme for Interdisciplinary Research，NPIR)，旨在资助真正意义上融合了多个不同学科的交叉学科项目。相关研究内容不是无融合的单一学科，也不仅是不同领域的研究方法或工具应用于另一领域的简单的多学科知识汇集，必须是在两个以上科学领域及交叉学科领域内产生增值(通俗地讲必须是 1＋1＞2，而不是 1＋1＝2 或者 1＋0.1＝1.1)。针对生命科学、物质科学与工程、社会人文科学等三个领域中至少两个进行深入融合的交叉学科方向进行资助，总金额为 1.2 亿挪威克朗(约 0.9 亿人民币)。

与 NSF 对交叉学科方向的资助计划相比，欧盟、欧洲各国及其他国家间组织机构起步相对较晚，且呈现明显不同的侧重。美国对交叉学科的资助更加多元化，包括 STC 针对交叉研究的中长期资助，LEE 和 CPS 针对新兴前沿交叉方向的特别资助，以及 NSF 内部针对所设置交叉学科方向的稳定资助，整体上更加侧重支持交叉科学前沿方向，解决重大社会/科技问题挑战，以保持美国的全球科技领先地位。美国 30 多年来对交叉学科不断加大资助力度，取得了巨大成功。欧盟更加侧重对人才的资助，英国则重点关注全球大尺度和社会问

题，而北欧立足孵化新的交叉学科方向。同时欧洲各国基于本国特点，均强调国际合作或者国外与国内科研人员合作开展交叉科学研究，这在基金委与欧洲近些年的合作项目中均有体现。

3. 我国交叉科学研究的资助情况

相较于美国，我国交叉科学研究资助发展起步较晚，虽然部分领域建设成效显著，但系统性资助体系仍有待进一步完善和加强。改革开放以来，我国通过多类型项目、从多种渠道对交叉科学研究进行了支持。1997年国家科学技术部制定国家重点基础研究发展计划(973计划)，建立自由探索和国家需求导向“双力驱动”的基础研究资助体系，围绕农业、能源、信息、资源环境、人口与健康、材料、综合交叉与重要科学前沿等领域进行战略部署。为适应新技术和产业的变革，2015年我国整合原有973计划、国家高技术研究发展计划(863计划)、国家科技支撑计划、国际科技合作与交流专项、产业技术研究与开发基金和公益性行业科研专项等形成了国家重点研发计划，并于2016年开始实施。国家重点研发计划瞄准国民经济和社会发展各主要领域的重大、核心、关键科技问题，组织产学研优势研究团队协同攻关，提出整体解决方案。

基金委于1986年成立，国家第七个五年计划的“重大项目”开始由基金委实施。基金委重大项目针对科学前沿和重大科学问题，超前部署，资助多学科交叉研究和综合性研究，以发挥支撑和引领作用，提升我国基础研究的源头创新能力。2001年基金委开始实施“重大研究计划”，针对国家重大战略需求和科学前沿，设立具有相对统一目标或方向的项目集群，以促进学科交叉与融合、培养创新人才和团队、提升我国基础研究的原始创新能力。与重大项目不同的是，重大研究计划由高层次专家集体进行顶层设计，并且对项目进行学术指导，更加强调围绕特定的科学目标，组织国内不同学科背景的专家形成研究团队来实现知识的交叉融合。近20年来基金委设置的重大研究计划均不同程度涉及学科交叉融合研究，且在资助项目群内设置针对年轻科学家的培育项目。

科技部的重点研发计划、基金委的重大项目和重大研究计划等均属于顶层设计类的大型项目，为国家/社会重大需求或科学前沿问题进行专门攻关。为了进一步构建针对交叉科学研究的可持续、稳定资助机制，近些年来基金委现有各个学部均在不同程度上尝试成立学部内的交叉学科。例如，为了更好支持化学合成与生物学的交叉方向的快速发展，2016年在化学科学部成立“化学生物学”学科[16]。2018年，基金委基于四类科学问题属性分类的资助导向，提出了“鼓励探索、突出原创；聚焦前沿、独辟蹊径；需求牵引、突破瓶颈；共性导向、交叉融通”三十二字方针。此外，自2020年起，发布关于提升原始创新能力的战略部署，积极探索建立对原创性基础研究项目的非常规评审机制，设立原创探索计划项目，发布的第一期指南项目(肿瘤研究)鼓励交叉科学研究。

4. 我国学术界对交叉科学研究的探索

在钱学森、钱三强和钱伟长等学者的倡导下，1985年召开的“全国首届交叉科学学术讨论

会”提出“迎接交叉科学的新时代”口号[17]。NSF 在 2000 年成立 NNI 后，2003 年 12 月中国科学院与教育部共建“国家纳米科学中心”，定位于纳米科学的基础研究和应用基础研究，侧重于前瞻性、具有重要应用前景的纳米科学与技术研究。这是国内早期著名的围绕纳米新兴技术成立的交叉科学研究机构。此外，近些年来国内多所高校和研究机构在进行交叉科学研究与人才培养方面不断进行探索和改革调整。中国科学院、深圳市政府及香港中文大学于 2006 年 2 月在深圳市共同建立中国科学院深圳先进技术研究院，其下辖研究所均瞄准交叉科学方向，如定量合成生物学研究所；北京大学在 2006 年成立前沿交叉学科研究院；清华大学于 2017 年 8 月一次性成立三个跨学科交叉科研机构；北京高能物理所、合肥/上海同步辐射光源等依托大科学装置开展多学科中心研究。2017 年 2 月以来，教育部积极推进“新工科”建设，先后形成了“复旦共识”“天大行动”和“北京指南”，并发布了《关于开展新工科研究与实践的通知》《关于推进新工科研究与实践项目的通知》，以期重点培养出更多更优质的交叉科学研究人才，以应对科技发展趋势和不断增长的社会需求[18]。在国家高等教育学科体系层面，国务院学位委员会、教育部新设置“交叉学科”门类，成为我国第 14 个学科门类，“集成电路科学与工程”和“国家安全学”作为其下设一级学科。

三、交叉科学部职能定位与资助机制

（一）交叉科学部职能定位

2018 年 5 月 28 日，习近平总书记在中国科学院第十九次院士大会、中国工程院第十四次院士大会上指出：“学科之间、科学和技术之间、技术之间、自然科学和人文社会科学之间日益呈现交叉融合趋势。”2018 年国务院正式发布《关于全面加强基础科学研究的若干意见》（国发〔2018〕4 号），明确了我国基础研究的发展目标，强调要大幅提升原始创新能力，并明确提出要发挥国家自然科学基金支持源头创新的重要作用。2019 年 4 月 23 日，国家自然科学基金委员会主任李静海院士在十三届全国人大常委会会议上提出[19]：“加强学科交叉是基础研究发展的重要趋势和方向，促进跨界和学科交叉融合是各国对未来发展方向的共识。”

世界格局加速演进，国际环境日趋复杂多变，我国当前在国家安全、社会进步以及经济发展等多个领域面临的挑战空前严峻，科技创新与自立自强已然成为未来决定和支撑国家核心竞争力的关键因素。基金委作为我国基础科学研究战略布局与科学基金管理职能机构，一直在国家科技创新发展中发挥着举足轻重的作用。基金委“十三五”规划中已经明确了“聚焦重大主题，创新交叉融合资助模式”，在“十三五”期间已由各个学部针对当前社会上的重大需求问题，以重大研究计划、集成项目等形式针对性地资助了相关团队进行科研攻关。这些大型资助项目虽然推动了相关交叉学科研究发展，但是还未形成与传统学科一样的长效资助机制。

作为落实党中央与国务院深化科学基金改革的重要举措，2020 年 11 月交叉科学部在当前

国家科技发展的关键历史节点应运而生。依据当前我国科技现状和社会发展的迫切需求，立足“四个面向”，设立物质科学、智能科学、生命健康、融合科学等四个交叉科学处。其中融合科学处同时承担着另外三个科学处的补充功能，即在前续三个科学处所规范的资助内涵之外的交叉科学研究项目将可以在融合科学处得到支持。四个科学处形成对当前所有可能的交叉学科方向的全方位覆盖，并相互协调与互补。同时设置综合与战略规划处以研究交叉学科变化动态、学科的战略性规划和协调，为项目的良好运行提供保障，为已设立交叉科学处与传统学科处做好协调/管理工作。交叉科学部下设的科学处将依据时代变化和科技发展态势适时调整，同时每个科学处均横跨多个传统学科知识体系，不受学科的知识边界约束。

交叉科学部定位于立足国家重大战略需求，聚焦世界科学前沿，全面统筹和重点部署我国交叉科学领域发展。以复杂、共性、紧迫性重大基础科学难题为牵引，通过促进源学科深度渗透，构建多学科/跨学科交叉融合新模式，在重大科学问题凝练、项目遴选、资助机制、人才培养等方面，开辟中国科学研究变革的“试验田”，打造中国科技发展的新高地。借鉴NSF、DARPA和欧盟相关基金的资助制度和管理经验，结合基金委现有学部的制度框架和目前国情，交叉科学部设立项目以目标/任务为导向，通过多学科交叉融合的方式，融合两门或多门传统学科的知识与方法，深入解决复杂和重大的科学/社会问题，以服务于国家发展和社会需求。

（二）基金资助模式的探索

自由申请类交叉科学研究项目依照基金委管理，每年春季集中受理申请，由申请者自由提出，所提出的基础科学问题要满足交叉科学及对应交叉科学处的属性，交叉团队形式的自由申请类项目将执行预申请制度。针对国家和社会重大需求等目标导向型研究课题，交叉科学部将不定期发布项目指南。交叉科学部依循“动态—持续资助机制”，基金资助模式遵循探索型基金—发展型基金—领航型基金等递进的资助模式。这一“动态—持续资助机制”的核心是通过新加入和退出机制并存方式，来推进相关交叉学科问题由“叠加”向“迭代”到“蝶变”的过程研究。通过加大单个项目的资助力度，采取长周期的滚动资助模式，项目执行过程中基金委工作人员会同专家进行无干扰跟踪。同时避免过度考核和评价带来的过度竞争，以及避免太过频繁的申请与评价过程，促使从事交叉科学研究的学者更加聚焦和更长周期地深入研究基础科学问题，以实现颠覆性重大创新和培育新兴交叉学科方向。

交叉科学部指南发布类项目（重大研究计划、重大项目等）主要分成两大类：一大类为面向国家重大需求、事关重大战略决策的瓶颈突破，及社会亟须解决的重大问题，特别是“卡脖子”技术，而推出的顶层设计类项目；另一大类为依托优势交叉科学中心、大科学装置平台等开展针对性的基础交叉科学研究。所发布的指南会随着科技前沿和国家需求而动态变化，项目的运行将依据交叉科学部的“动态—持续资助机制”。对于持续资助过程中经过一轮或多轮滚动

资助的结题项目，在其结束时遴选出特别优秀的，针对其执行过程中凝炼出更重大科学问题、更重要交叉科学研究目标或对原执行的交叉主题实现了“蝶变”以形成新兴的交叉学科，评估通过后直接进入新一轮或更高级别项目的资助。

（三）项目评价方式的探索

充分依托科学共同体的民主机制，严格实行基金委目前探索出的项目评审原则，即“依靠专家、发扬民主、择优支持、公正合理”，采用同行专家通信评审和会议评审相结合的两级评审制度[20][21]。同时对重大类项目在执行过程中实行无干扰的项目进度跟踪，以了解和协助项目的顺利开展。由于与成熟的传统学科存在差异、交叉科学研究在我国起步较晚等原因，从事交叉融合研究的科学共同体规模和成熟度略低。现有原则中的“依靠专家”和“公正合理”在操作层面上需要进行合理探索，需要增加评审专家数量，提高评审专家的门槛，增强会评过程专家与答辩人员的交流环节，更充分了解候选项目的可行性，以更合理的评审制度来纠偏。

与传统学科相比，交叉学科的研究主题是两个或者两个以上单一学科知识与方法的融合，因此提交的申请项目要阐述清楚交叉融合的思想及多学科构成，以及与相应的交叉学科代码匹配情况。真正意义上的交叉学科是融合了多个不同学科知识与方法的研究项目，不是无融合的多学科知识汇集，评审时要避开低层次的交叉汇集，即仅仅是某个学科或研究领域的研究方法或分析工具应用于另一学科。评审标准中侧重于两个以上科学领域知识/方法等在交叉点上所产生的新知识和新认知。评审过程除了依靠交叉学科领域内的同行专家之外，同时依靠所融合的传统学科专家，需要相对充分的专家涵盖面，综合统筹以更好的科学价值取向评判所申请项目优劣。

四、总　　结

本文结合当前交叉科学研究国内外发展趋势和制约因素，系统综述欧美资助机构对交叉科学研究的资助制度与管理方式，深入分析我国交叉科学发展的历史机遇以及面临的挑战。在创新驱动科技强国战略背景下，基金委成立交叉科学部既符合当前科技发展新态势，也是深入推进科学基金深化改革的重要举措。交叉科学部的成立将有效增强学科间的交叉融合，促进重大复杂科学问题的协同攻关，形成交叉科学研究基金长效资助机制，推动我国交叉科学领域突破性创新成果的源头产出，强化交叉科学领域人才队伍培养，形成新的学科生长点，进而建立交叉科学基金资助和管理体系的“中国模式”。交叉之路，任重道远。

参　考　文　献

[1]　Popper K. R.. Conjectures and refutations; the growth of scientific knowledge [M]. New York: Basic

Books，1962:88.

[2] National Academies (U. S.). Facilitating interdisciplinary research [M]. Washington，D. C.: The National Academies Press，2005:25，306.

[3] Seeman J. I.，Restrepo G.. The Mutation of the "Nobel Prize in Chemistry" into the "Nobel Prize in Chemistry or Life Sciences": Several Decades of Transparent and Opaque Evidence of Change within the Nobel Prize Program [J]. Angew Chem Int Edit，2020(59):2942-2961.

[4] 李东，童寿传，李江. 学科交叉与科学家学术影响力之间的关系研究 [J]. 数据分析与知识发现，2018(2):1—11.

[5] Bromham L.，Dinnage R.，Hua X.. Interdisciplinary research has consistently lower funding success [J]. Nature，2016(534): 684-687.

[6] Wang Y.，Jones B. F.，Wang D. S.. Early-career setback and future career impact [J]. Nat Commun，2019(10): 4331-4340.

[7] Zeng A.，Shen Z. S.，Zhou J. L.，et al. Increasing trend of scientists to switch between topics[J]. Nat Commun，2019(10):3439-3449.

[8] Bol T.，de Vaan M.，van de Rijt A.. The Matthew effect in science funding [J]. P Natl Acad Sci USA，2018(115):4887-4890.

[9] 陈立，武夷山.《促进交叉学科研究》述评 [J]. 科技管理研究，2006: 27，28，34.

[10] D'Este P.，Llopis O.，Rentocchini F.，et al. The relationship between interdisciplinarity and distinct modes of university-industry interaction[J]. Res Policy，2019(48): 103799-103821.

[11] 樊春良. 美国国家科学基金会对学科交叉研究的资助及启示 [J]. 中国科学基金，2005: 60—62.

[12] 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):19—26.

[13] 窦超，李晓轩，代涛. DARPA 治理有效性研究 [J]. 科学学研究，2019(37): 1435—1441.

[14] 智强，林梦柔. 美国国防部 DARPA 创新项目管理方式研究[J]. 科学学与科学技术管理，2015(36): 12—22.

[15] 樊春良，樊天. 国外学科交叉研究的发展趋势及启示 [J]. 中国科学基金，2019(33): 446—452.

[16] 张艳，郑企雨，杜灿屏，等. 九层之台，起于累土——从化学生物学成长浅析基金支持对交叉学科的引领作用 [J]. 中国科学:化学，2021(51): 440—450.

[17] 熊斗寅. 全国交叉科学讨论会纪实 [J]. 体育科学，1985(3): 86—87.

[18] 吴爱华，杨秋波，郝杰. 以"新工科"建设引领高等教育创新变革[J]. 高等工程教育研究，2019(1):1，7,61.

[19] 李静海. 大力提升源头创新能力构建面向新时代的科学基金体系 [J]. 求是，2018(22): 32—34.

[20] 付雪峰，黄艳，崔琳，等. 大处着眼，小处入手——基金委化学科学部 2019 年基金项目会议评审工作的几点尝试和思考 [J]. 物理化学学报，2020(36): 93—96.

[21] 戴亚飞，高飞雪，王翠霞，等. 建立学术共同体互信的基金评审机制的尝试与思考[J]. 物理化学学报，2020(36): 86—88.

Explorations and Advances of the Development of Interdisciplinary Sciences

DAI Yafei DU Quansheng PAN Qing CHEN Yongjun

(*Department of Interdisciplinary Sciences*, *National Natural Science Foundation of China*, *Beijing*, 100085)

Abstract: The development and funding management of research in the interdisciplinary sciences in China are facing many challenges. For example, research in the interdisciplinary sciences urgently needs a long-term supporting mechanism, interdisciplinary researchers are eager for innovative projects, and research achievements demands a rationalized evaluating system. In order to tackle these challenges, promote in-depth development of interdisciplinary studies and facilitate innovation of research in the basic sciences, the National Natural Science Foundation of China established the Department of Interdisciplinary Science (DIS-NSFC) in 2020. The establishment of DIS-NSFC not only abides by the new development trend of science and technology, but also serves as an important measure attempting to deepen the reform of science fund. It helps to generate innovative breakthroughs and strengthen the talent cultivation in the interdisciplinary sciences. Since its establishment, DIS-NSFC has conducted a lot of studies on the development trend of research in the interdisciplinary sciences and funding mechanisms at home and abroad. On this basis, DIS-NSFC has made a preliminary exploration on the fund management mechanisms such as project funding mode and evaluating method, and will gradually develop and improve the funding management mechanism in line with the characteristics of research in the interdisciplinary sciences in the subsequent practice. Finally, DIS-NSFC will build a "Chinese model" for the fund management mechanism of research in the interdisciplinary sciences.

Keywords: research in the interdisciplinary sciences; Department of Interdisciplinary Sciences; science fund management