·科学基金深化改革重要举措·

数理科学部关于加强科学问题凝练的探索与启示

王自昱[1,2] 刘汝盟[1,3] 陈国长[1] 张攀峰[1] 孟庆国[1] 董国轩[1*]

1. 国家自然科学基金委员会 数学物理科学部，北京 100085
2. 武汉大学 工业科学研究院，武汉 430072
3. 南京航空航天大学 航空学院，南京 210016

[摘 要] 深刻把握和推进国家自然科学基金加强科学问题凝练的系统性改革部署，对于完善科学基金管理水平，优化科技创新整体布局都具有重要意义。本文探讨了加强科学问题凝练在突出基金项目创新思想领域的重要作用，梳理了科学问题凝练的内涵和国外主要科学基金资助机构凝练科学问题的实践经验。在此基础上，介绍了国家自然科学基金委员会数学物理科学部紧扣中长期及“十四五”学科发展战略规划，面向科学前沿和重大需求凝练科学问题的具体措施，以及论证国家自然科学基金重大研究计划、专项项目群的实践与经验。最后对科学基金系统性改革，加强科学问题凝练等重点工作进行了展望并提出建议。

[关键词] 科学基金；数学物理科学部；系统性改革；科学问题凝练；基础研究

习近平总书记多次强调“基础科学研究是整个科学体系的源头，是所有技术问题的总机关”[1]。人类历史上的三次技术革命和工业革命都源于基础科学革命，基础科学研究上热力学、电磁学、量子力学的理论出现推动了蒸汽革命、电气革命和信息革命，并推动了生产力革命性地变化和社会生成方式的革新。科技创新是遵循着基础科学取得新突破——技术应用重大攻关和变革——产业革命的演进轨迹进行的。没有前端基础科学的重大突破，就没有技术的变革和产业的革命[2]。

基础科学研究以提出科学问题为根本前提，解决科学问题为核心目标，主要分为面向科学前沿的自由探索研究和面向重大需求的目标导向研究两类。对科学前沿的探索方式、路径乃至结果的不确定性使得自由探索基础研究无法提前计划，从原始的科学发现到实际应用往往是一个漫长而复杂的过程。譬如 1905 年爱因斯坦提出相对论，直到几十年后才在核能利用、GPS(Global Positioning System)时间校准等方面有了广阔的应用。目标导向型基础研究在科研活动中是以国家组织的重大工程项目的形式出现，带有明确的目的性和结果要求。例如美国的“曼哈顿工程”等国家级大科学工程，其项目孵化出的核裂变技术已成为开发核反应堆、发电机以及其他创新的基础，包括医疗成像系统磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging，MRI)和各种癌症的放射治疗手段。无论是科学前沿还是重大需求引出的基础科学问题的重大突破都将为后续的技术创新和产业变革提供强劲源头动力。

董国轩 研究员，国家自然科学基金委员会数理科学部常务副主任，长期从事数理科学研究和科研管理工作。

王自昱 武汉大学教授、博士生导师。主要研究方向：半导体输运性质及柔性能源器件。

科学问题的提出与凝练对于引导和促进基础研

收稿日期：2022-07-13；修回日期：2022-09-25
* 通信作者，Email：donggx@nsfc.gov.cn

究的发展至关重要。当前，国家自然科学基金委员会（简称“自然科学基金委”）在深入推进国家自然科学基金（以下简称“自然科学基金”）系统性改革过程中，已经将提升科学问题凝练水平与推动科研范式变革一道，作为两项重点任务。在此背景下，本文详细探讨和介绍了科学问题凝练的内涵和国外主要科学资助机构凝练科学问题的实践经验，并结合数学物理（以下简称“数理”）科学部的具体基金管理工作，阐述了加强科学问题凝练的一些措施和面向科学前沿、重大需求开展科学问题凝练的典型案例。最后，对自然科学基金系统性改革中如何加强科学问题凝练等方面提出若干建议”。

1　科学问题凝练的内涵及演化

著名科学哲学家托马斯·尼科尔斯（Thomas M. Nichols）把“科学问题”定义为：一定时代的科学认识主体在当时的知识背景下提出的科学认识和科学实践中需要解决而又未解决的矛盾，它包含着用已有知识去填补未知空白的朴素动力[3]。原中国科学院院长路甬祥也曾指出重大科学突破往往始于凝练出科学问题，可见提出问题是科学研究的前提[4]。

第二次世界大战之后，基础研究逐渐由个人、企业的自发行为上升到国家行为。在基础研究的发展史上，围绕基础研究如何更好地服务于经济社会发展，一直有两种相反的观点：计划论与自由探索论，争论的核心是自由探索与应用之间的匹配与权衡。其中，计划论的代表人物是英国的约翰·戴斯蒙德·伯纳尔（John Desmond Bernal），他在 20 世纪 30 年代提出自主性科学研究是无效的，认为只有通过政府和社会有关方面的共同计划，科学对人类巨大的潜在利益才能实现。与此相对应是以英国的迈克尔·波兰尼（Michael Polanyi）和美国的范内瓦·布什（Vannevar Bush）为代表的自由探索论。

1945 年，范内瓦·布什在向美国总统提交的《科学：无尽的前沿》报告中，将科学研究分为基础研究和应用研究[5]。他认为基础研究是技术进步的基础，基础研究与应用研究之间具有一种线性关系，即研发活动是从基础研究→应用研究→开发→生产经营（商品化）一步步线性展开的，后来也被称为研发线性模型[6]。

尽管布什关于科学发展和基础研究的思想后来一直在美国科技政策中占据主导地位，但是他的许多观点在 20 世纪 80 年代以后开始不断引起争议和讨论。其中，对布什报告最大的争议便是线性模型割裂了基础研究和应用研究的互动关系，忽视了产业发展的多样性，因此该模型在科学发展中的缺陷逐步显现[7]。20 世纪 90 年代，美国学者唐纳德·司托克斯（Donald Stokes）认为基础科学、应用科学与技术创新存在非线性关系，将线性模型扩展到二维象限模型，得到基础研究到应用在不同条件下的四个象限，分别对应需求导向类基础研究的巴斯德象限、前沿探索类基础研究的波尔象限、技能训练与经验整理的皮特森象限和技术创新的爱迪生象限[8]（如图 1 所示）。在司托克斯的象限模型中，基础研究与技术进步和经济竞争力之间已成网络和互动关系[9]。综合来看，该象限模型阐述了从基础研究到应用过程中，科学问题的凝练对于科学研究的重要作用。

在我国的科技创新发展历程上，改革开放后主要经历了两个阶段[10]。第一个阶段：1980—2005 年，这个阶段遵循的是基础研究—应用研究—产品开发线性模式的思想。由于当时科技实力比较薄弱，基础研究的能力还有待提高，科技创新更多集中在应用研究上，很多产品主要通过引进国外的产品线进行产业化生产，对其中关键科学技术问题缺乏深入思考。第二个阶段：2006 年至今。经过长期积累，我国科技创新水平得到了显著提高，通过科学问题的凝练，前沿基础科学与需求应用之间的双向互动越来越顺畅。当前，随着一些核心技术“卡脖子”问题的出现，科研产业界认识到只有从基础研究的源头进行创新，特别是面向科学前沿和重大需求凝练科学问题，才能从根本上解决“卡脖子”问题。

科学问题凝练在不同层面也具有不同的内涵。

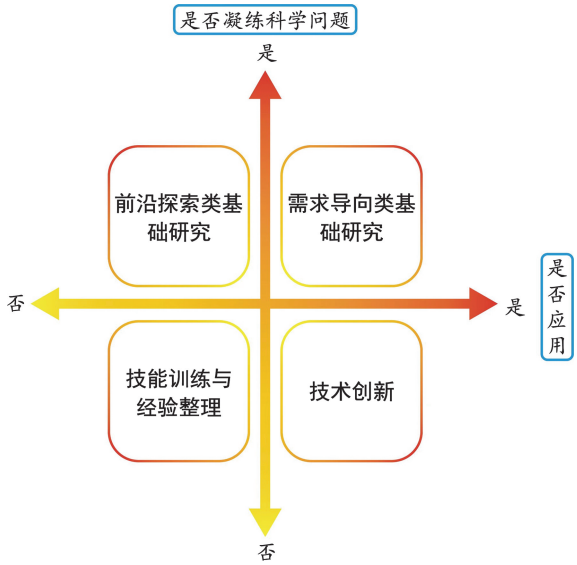

图 1　二维象限模型图

在国家科研机构资助层面具体表现为发展规划和优先发展领域，体现了特定一段时期从国家需求和科技发展上需要重点关注的科学问题，科学家应该将个人研究兴趣与国家战略充分结合，选择恰当的研究方向，从而形成科技创新的合力。而在个人层面上表现为科学家的科研兴趣，对未知世界的探索和求真，具有广泛性、随机性和突发原创性。两个层面上的科学问题凝练相辅相成，是不可分割的整体，组织实施得当会形成良性互动，极大促进科技创新的活力。发展规划和优先发展领域自上而下引导科学家个体选择研究方向，而个人自由选题研究经历发展又有可能自下而上形成国家科研机构资助的发展规划和优先发展领域。

2 国外科研管理机构的实践

科学研究资助管理机构通过提出和凝练科学问题、发布科学问题的方式对基础研究加以引导，对提升国家核心竞争力具有重要的战略意义。世界主要科技强国普遍重视对基础研究导向的布局，基础研究资助导向的实践与特色如表 1 所示。

2.1 面向科学前沿的基础研究资助实践

科技强国的科技管理机构一直保持着对科学前沿的持续关注。美国国家科学基金会（National Science Foundation，United States，NSF）重点支持具有高风险、高回报、时间跨度长等特点的前沿变革性研究。NSF 通过定期发布跨学科前沿科学问题，例如在 2016 年形成了《未来投资的十大思想》（Ten Big Ideas for Future NSF Investments）[11]，2018 年发布了其未来 5 年的战略计划，重点布局量子计算、人工智能、脑科学等领域，对前沿研究和试点研究项目的资助工作引领方向[12]。美国国立卫生研究院（National Institutes of Health，NIH）设立的高风险/高回报项目（High Risk，High-reward Research Program），重点关注项目是否利用新理论、新概念、新方法、新途径或新技术等来挑战或改变现有研究及应用模式、是否在研究领域或更广范围内具有启发性和创造力[13]。

德国科学基金会（Deutsche Forschungsgemeinschaft，DFG）通过项目类型的比例设置推动重点发展前沿学科。DFG 设置了超过 1/4 的自由探索类项目以及一半以上的主题类项目支持包括量子技术、人工智能、生物制药等在内的前沿研究[14]。欧盟委员会 2021 年正式提出了下一个 7 年（2021 到 2027 年）的前沿科研资助计划——“欧洲地平线”（Horizon Europe）[15]。“欧洲地平线”计划在前沿基础问题的预算为 246 亿欧元，资助科学家专注于最前沿科学研究（量子信息、人工智能 、类脑研究、基因工程等）的同时注重应用技术的发展与创新，将欧盟确立为领先的知识型经济体，生产世界一流的科学理论，推动技术创新以提升欧洲的全球竞争力。

国外科研管理机构在面向科学前沿进行领域科学问题凝练时，重视对科研创意与理念的激励，并在项目遴选和评审环节秉持审慎且开放的资助导向。例如在前沿科研项目，尤其是新兴交叉项目的评审中，由于其复杂、交叉、前沿的科学问题往往难以在短时间内实现高度共识。因此，一些资助机构在评

表 1 主要科技强国关于基础研究资助导向的实践与特色①

	前沿问题导向	重大需求导向	特色之处
美国	阶段纲领性指南为导向 持续资助高风险前沿领域	快速响应 资助机制灵活 多条技术路线并行	给前沿科学较充裕时间 敢于资助高风险项目
欧洲	德国：通过项目类型、比例引导前沿科学布局 欧盟：发布统一科研计划，整合力量，布局重点前沿领域	英国：促进政府和科学家之间交流，引导科学家聚焦国家重大需求 欧盟：以需求目标引导相关领域	注重政策制定者和科研实施者的有效沟通
日本	国家和企业联合资助前沿技术，注重科学前沿问题的转化	根据国家需求打造特色学科 注重打通产业界和科研界的壁垒	科研界对产业引领作用明显，产业促进科研发展
韩国	建立大学、科研机构、企业一体化工业园区，前沿科研带动产业科研，产学研一体	国家战略方向：信息通信、生物工程、纳米、航空航天等	注重技术引进，注重提高高科技人才比例

① 来源：根据各国基金管理机构网站、年报整理而来。

审过程中通常采用答复反馈环节、设置“影子评审组”等机制，以促进评审专家和项目主管更加客观和深入地了解项目所体现原创思想的独特性和新颖性，从而更好甄别潜在的变革性研究[16]。

2.2　面向重大需求的基础研究资助实践

NSF 在应对国家重大事件时，建立了快速响应研究（Rapid Response Research）资助机制，在 2020 年 3 月初在美国仅有 30 多例新型冠状病毒（简称“新冠病毒”）肺炎（简称“新冠肺炎”）病例时，NSF 就启动资助了 20 个与新冠病毒相关的研究项目，同时发布相关科学问题指南，鼓励更多与新冠病毒相关的研究申请。截至到 2020 年 6 月，NSF 共资助新冠肺炎相关研究 717 项[17]。这一快速响应机制在寨卡病毒、墨西哥湾漏油等重大事件中也都发挥过巨大作用。在国家面临重大危机时刻，NSF 通过发布相关科学问题的方式来调动整个科学界的力量，帮助应对国家挑战。

欧盟委员会应对 2050 年实现碳中和目标，发布的《新循环经济行动计划》。2021—2030 年欧盟将调动至少 1 万亿欧元资金重点支持清洁能源技术、工业转型技术、高能效建筑技术等碳中和目标涉及的关键技术[18]。

日本学术振兴会（The Japan Society for the Promotion of Science，JSPS）主要针对两个方向的重大需求：(1)围绕日本国家安全需要的特定领域或重点领域[19]。例如地震、海啸预报等方向，主要围绕从精确预报技术到有效减灾技术等，通过长期资助，使日本在防震减灾方面的科技水平处于世界一流。(2)促进日本产业升级。日本长期以技术引进和技术模仿见长，JSPS 通过设立“特别推进研究”，引导科研人员面向材料科学、电子信息和通讯等领域凝练高质量科学问题，取得了许多引人注目的成果[20]。

面向重大需求的基础研究不仅是面向未知世界的认识和探索活动，同时也是围绕特定目标以产生突破性技术和解决方案的研发活动。以美国国防高级研究计划局（Defense Advanced Research Projects Agency，DARPA）为代表的科研管理机构在项目评审过程中始终坚持奉行“海尔迈耶之问”以评估项目可行性，重点关注和资助那些能够突破现有技术瓶颈或促进社会范式演进的研究。此外，也会考虑到科技创新是一个不断试错、反复探索的过程。因此，不少资助机构鼓励关注从“0 到 1”的重大突破性原创研究，但同时宽容创新探索中的不成功事项和工作失误，鼓励先行先试，最大限度地支持和保护科研人员的积极性和合法权益。

3　数理科学部加强科学问题凝练的措施

2018 年以来，自然科学基金委持续推进以“三项改革任务”为核心，以“加强三个建设、完善六个机制、强化两个重点、优化七方面管理”为重要举措的系统性改革，各项任务取得重要进展。数理科学部在凝练基础科学研究中的关键科学问题，引导科学家围绕关键科学问题方面进行了有益探索。结合制定《国家自然科学基金“十四五”学科战略发展规划》，数理科学部组织各领域科学家，面向科学前沿积极提出具有前瞻性、战略性的重点领域研究方向，鼓励探索和提出新概念、新理论、新方法；同时引导广大科研人员从国家重大需求出发，提出关键技术背后的基础科学问题，加强重点领域研究方向布局，从源头上解决“卡脖子”的问题，为国家发展和安全需求提供基础科学支撑。

3.1　数理科学部凝练科学问题的运行机制

数理科学作为基础科学，是当代科学发展的先导和基础，具有很强的探索性和创新性。其研究进展和重大突破，不仅推动自身的发展，也为其他学科的发展提供理论、思想、方法和手段。如何凝练基础研究中的关键科学问题，引导科学家围绕关键科学问题进行深入研究是能够取得重大科学突破的关键。数理科学部根据科学基金系统性改革部署和要求，结合数理科学部各学科自身特点，积极与相关学科学会、行业领域紧密结合，充分依靠领域科学家，不断探索和完善面向科学前沿和面向重大需求的科学问题凝练机制。

(1) 明确资助导向，分类建立科学问题凝练机制

科学的资助导向是科学基金资助机构的首要命题，也是基础研究高质量发展的源头供给。数理科学部在按照“四个面向”战略要求，持续深化科学基金改革，强化自然科学基金在国家科技自立自强中的独特作用，逐步完善面向世界科学前沿和面向国家重大需求的科学问题凝练机制。一方面，引导科学家摆脱惯性思维，关注科研范式变革背景下的新领域、新问题、新挑战，注重凝练拓展前沿和开辟前沿的科学问题。充分发挥高水平专家的战略咨询作用和“双清论坛”等学术交流平台功能，建立前沿科学问题征集机制，加大对有望取得重大科学突破前沿方向的资助力度。例如，加强与中国数学会、中国

力学学会、中国天文学会和中国物理学会等学会的信息协作，及时掌握学科前沿动态。另一方面，以问题为导向，坚持有所为有所不为，组织高水平科学家与行业技术专家，凝练国家重大战略需求背后的核心科学问题，加强项目指南的导向功能，引导科研人员围绕国家重大需求开展基础研究。例如，与中国工程物理研究院等行业部门深入沟通，调研重大工程项目、经济主战场中的重大需求等，发掘其背后存在的关键基础科学问题。

（2）发挥专家智慧，持续实施专题联席研讨机制

基础研究，尤其是面向国家重大需求的基础研究一般呈现明显的目标导向性，更需要多学科合作共融以及科研管理机构通过凝练关键科学问题来引导不同学科的科学家参与其中。数理科学部积极响应国家急迫需求和未来长远需求，广泛联系与学部初步凝练的科学问题相关的一线专家学者，组织开展定期系统性研讨和不定期专题研讨。围绕初步凝练的科学问题，进一步梳理所涉及的领域和方向，不断理清需要突破的核心问题、可能采取的技术方法以及人才队伍情况等，不断明晰关键科学问题和有望取得突破的科学问题等，为后续的指南发布和资助提供决策参考。在此过程中，数理科学部立项建议遴选中充分依靠学部专家咨询委员会，在项目指南研讨中充分发挥项目主任能动性，积极推进建设性学术评论，确保与会专家实现充分的思想交流与碰撞，真正起到汇聚专家智慧、厘清科学问题的目的。例如，2021 年 1 月 31 日至 2 月 2 日，数理科学部主办自然科学基金重大研究计划“第二代量子体系的构筑和操控”2021 年研讨会，与会专家围绕“量子功能材料的可控制备与量子态体系的精准构筑”“量子态精密探测与控制实验技术及理论”“固态量子计算”和“新型量子计算体系和实验方案探索”四个方面共作了 52 个主题报告，进行了开放性、针对性的学术探讨。

（3）注重学科交叉，稳步推进跨学科互动机制

数理科学部所辖数学、力学、天文学、物理学四大门类，与其他科学部所属学科门类有着广泛的交叉，这种交叉一方面使数理科学发展的理论、方法和手段有力地推动了其他学科领域的发展，另一方面这些交叉领域涌现出来的科学问题又将推动数理科学自身的进一步发展；数理科学部鼓励申请者提出学科交叉领域的研究项目，与化学科学部、地球科学部组成跨学部的基础科学板块，打破学科壁垒，通过融合研究的方法凝练原创性问题；积极组织跨学部的交叉重大项目和交叉重点项目，组织有利于促进交叉的学术交流和讨论及相关预研究。同时，通过设立相关学科交叉代码，来引导对科学问题属性内涵的准确理解，促进学科交叉研究的有序发展。例如数理科学部在新申请代码中设置了相关交叉研究代码，比如数学学科设立了“A06 数学与其他学科的交叉”，力学学科在传统的生物力学、爆炸力学交叉申请代码基础上，新设立了“A13 环境力学”交叉申请代码，天文学科设立与技术交叉“A19 天文技术和方法”交叉申请代码，物理 I 学科设立了前沿交叉申请代码“A24 量子调控”，物理 II 设立核技术应用相关的交叉申请代码“A30 核技术及其应用”[21]。

3.2 推动领域前沿凝练科学问题的实践

在面向科学前沿问题凝练方面，应对量子科学的迅猛发展，数理科学部 2020 年启动了自然科学基金“第二代量子体系的构筑和操控”重大研究计划项目，2021 年启动自然科学基金“低能区的新相互作用研究”专项项目群，在量子科学和基础物理方向进行前瞻性部署。

“第二代量子体系的构筑和操控”通过对展示纠缠/叠加量子态等量子行为的第二代量子体系进行构筑和操控，开展量子信息科学方面的前瞻性和基础性的研究，实现量子计算机等量子技术奠定物理基础。其科学目标主要包括：探索和制备可用于量子计算和量子探测的高质量材料，实现量子态精准构筑，探索新型量子体系；发展量子态测量和操控技术，提升探测和调控精度，探索新的技术方法；针对可纠错固态量子计算、高温超导机理、拓扑量子体系和低维量子体系开展前瞻性研究。“低能区的新相互作用研究”原创探索计划是典型的面向前沿研究，按照数理科学部凝练科学问题的机制设立并实施的。问题的发现是基于标准模型和爱因斯坦广义相对论的四大基本相互作用无法有效解释当前宇宙学和天文学的一些重要观测现象，学界普遍认为自然界中存在未知的相互作用的情况。数理科学部通过常态化的专家咨询体系，组织多轮跨学科的论证，凝练出该现象背后的量子精密测量、粒子物理、天体物理等科学问题。通过梳理出关键科学问题，设计利用小型科学装置，以量子精密测量手段为主，突破现有观测瓶颈，在低能区对新相互作用开展搜寻，以推动基础物理科学发现的变革性发展。

3.3 面向重大需求凝练科学问题的实践

在面向重大需求凝练科学问题方面，为了应对

我国氦气等特种气体短缺，供应受制于人的问题，数理科学部 2021 年启动了自然科学基金“氦气等工业特气相关基础科学研究”专项项目。与国防科工局紧密合作，在深空探测方面，2021 年启动了自然科学基金“嫦娥四号任务相关基础科学研究”“太阳系边际探测基础理论与关键机理研究”专项项目群。

嫦娥四号探测器着陆于月球上最大、最深和最古老的撞击盆地（南极—艾肯盆地），有效规避了地球周围人造天体电磁波辐射的干扰，对揭示月球的深部物质组成和最早期撞击历史、行星与太阳爆发的低频射电天文观测等具有重大科学价值。数理科学部牵头组织相关领域科学家，适时启动了自然科学基金“嫦娥四号任务相关基础科学研究”专项项目群，开展月球早期撞击历史以及月球深部物质组成、宇宙黑暗时代和宇宙黎明时期的低频电磁波辐射特性以及太阳风和宇宙线与无大气行星相互作用等相关基础研究。该项目群涉及三大科学研究领域：月球背面巡视区形貌、成分、浅层结构的综合探测与研究；月基低频射电天文观测与研究；月表中性原子及粒子辐射环境探测研究。

太阳系边际探测是对太阳风与星际介质相互作用、飞行途中对太阳系天体进行的科学探测，是国际深空探测与空间科学发展的前沿领域，对于突破人类探索和认知太阳系的形成与演化、系外恒星际物质特征以及太阳风与星际介质作用机理等重大基础科学问题具有重要意义。数理科学部在基础科学板块启动自然科学基金“太阳系边际探测基础理论与关键机理研究”专项项目群，聚焦太阳系边际探测基础理论与关键机理问题，通过发展新理论方法和数值模型，原创性突破极远、极暗、极寒深空区域探测的手段方法瓶颈，揭示 1～120 天文单位内的太阳系环境与天体时空特征及演化规律，发展太阳系形成理论，掌握太阳系全域探测的航天器动力学及智能自主运行等核心关键技术，促进太阳系边际探测科学问题和探测能力的新认知与新发现，为我国太阳系边际探测重大工程科学目标选择和任务规划提供科学支撑。

4　建议与展望

科学研究总是从问题开始，科学地提出问题是科学地解决问题的根本前提。如果提不出真正有意义的科学问题，就不可能有理论和方法的创新，更不会产生重大的科学成果[22]。基础科学研究发展，包括科学问题的凝练，是一项复杂的系统工程，涉及到国家政策导向、学术环境、科学家群体等诸多方面，必须相互协调形成良性互动才能健康发展。数理科学部结合自身学科特点，通过凝练关键科学问题，积极寻找自由探索与需求牵引的共通点，取得了一些进展但仍有不少优化空间。未来，数理科学部将进一步从如下四个方面加强科学基金科学问题凝练工作。

第一，充分发挥多元创新主体的优势，构建新型政产学研创新体系。当前科学产出与技术创新两个环节之间缺乏有效衔接，突出表现为专职科研机构（科研院所、高等院校）与产业界之间的相对脱节，导致相关科学产出难以迅速有效地配置到产业发展的应用领域。目前我国 70％的科研力量独立于企业之外，科技人才与企业的脱离严重阻碍了企业创新。科技成果转化机制不健全，致使科技成果转化的动力不足。因此，未来基金资助机构要针对行业部门、地方政府和企业的不同特点，确立科研或研发资金撬动方案，进而引导全社会建立健全政产学研合作机制及技术创新体系，以在科学与技术不断互动的过程中，凝练出既符合科学发展规律又适应我国技术发展需要的科学问题，调动行业部门、地方政府和企业投入基础研究的积极性。

第二，充分发挥战略科学家的作用，部署学科领域未来发展方向。2019 年，自然科学基金委确立基于“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”四类科学问题属性分类的资助导向。在此基础上，为及时跟进前沿领域发展态势，资助机构仍需不断研判出科学前沿和战略发展方向，必要时要充分发挥战略科学家的作用，有效开展世界科技发展态势的分析预判，凝练出重大科研问题，并根据基础研究及特定学科的发展特点和阶段，动态调整资助布局，优化科技资源配置，同时给予科学家充分的学术自由，力求有效解决“卡脖子”问题[23]。

第三，充分挖掘跨学科专家的智慧，优化学科交叉科研生态构建。2020 年 9 月，习近平总书记在科学家座谈会上强调，希望广大科学家和科技工作者肩负起历史责任，面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康，不断向科学技术广度和深度进军[24, 25]。这表明，科学研究越来越需要解决实际问题，而解决这些问题很可能需要多个学科领域的知识。因此，未来基金资助机构在凝练科学问题时，要更加重视汇聚多学科、多部门（公共与私营部门）、多方面（包括公众）的利益相

关者，不仅要包含科学家和学者，还要包括政府界、产业界和非营利组织等方面的代表，使得相关各界在互动中凝练出共识科学问题，从而促进重大创新发现[24-26]。

第四，充分挖掘分类评审的结果，促成科学问题凝练迭代升级。如今，自然科学基金委已经初步建立起以“讲信誉、负责任、计贡献”为核心的分类评审机制。未来，包括数理科学部在内的各个科学部要继续扩大基于四类科学问题属性的分类评审试点范围，进一步优化符合知识体系内在逻辑和结构的学科布局，不断提升科学基金资助效益，引导广大科技工作者凝练和解决科学问题，提升科研选题质量。在有条件的情况下，探索实施推荐申请机制，支持信誉良好的专家、机构或管理人员等直接推荐项目，让有想法有能力、勇于创新的科学家能够得到支持，提升推荐人、推荐机构的责任感和成就感[27]。

自然科学基金委在未来一段时期内的工作要着力培育原始创新能力，产出更多的“从 0 到 1”的原创成果，为创新链、产业链、供应链和国内国际双循环提供科技支撑。而原始创新能力的培养离不开科学问题凝练，未来数理科学部将深入贯彻《国家自然科学基金“十四五”发展规划》要求，继续实施原创探索计划，推进人才资助体系升级，实施面向国家重大需求、面向世界科学前沿的科学问题凝练机制和重大类型项目立项机制，加强科学问题凝练和重点领域前瞻部署。积极布局一批具有前瞻性、战略性的发展方向，鼓励探索和提出新概念、新理论、新方法，促进科研范式变革和学科交叉融合。引导广大科研人员从国家重大需求出发，提出并解决真正的科学问题，不断取得原创成果，从基础层面解决若干个“卡脖子”的问题，为产业升级提供多个变革性的技术，对国家发展和安全需求提供基础科学支撑。

参 考 文 献

[1] 习近平. 在中国科学院第十七次院士大会、中国工程院第十二次院士大会上的讲话. 人民日报，2021-05-29(02).

[2] 李静海. 抓住机遇推进基础研究高质量发展. 中国科学院院刊，2019，34(5)：586—596.

[3] Nickles T. Evolutionary models of innovation and the meno problem. The International Handbook on Innovation. Amsterdam：Elsevier，2003：54—78.

[4] 余伟. 试论“科学研究从科学问题开始”. 南昌航空工业学院学报：社会科学版，2001，3(1)：75—77.

[5] 范内瓦·布什，拉什·D. 霍尔特. 科学：无尽的前沿. 崔传刚，译. 北京：中信出版集团股份有限公司，2021.

[6] 王一鸣，陈虎. 基于研发模型认知的中美日政府基础研究. 科技进步与对策，2019，36(15)：24—30.

[7] Kline SJ，Rosenberg N. An overview of innovation// Rosenberg N. studies on science and the innovation process. North/Bukit Timah，King Albert Park：World Scientific Publishing Co Pte Ltd，2009：173—203.

[8] Stokes DE. Pasteur's Quadrant：basic science and technological innovation. Washington，DC：Brookings Institution Press，1997.

[9] 韩宇，赵学文，李正风. 基础研究创新概念辨析及对相关问题的思考. 中国基础科学，2001，3(3)：33—38.

[10] 盛亚，刘越，施宇. 基于二维象限模型的我国科技创新平台类型与特征分析. 创新科技，2021，21(4)：9—18，2.

[11] National Science Foundation. NSF's 10 big ideas. [2022-09-25]. https://www.nsf.gov/news/special_reports/big_ideas/.

[12] National Science Foundation. Building the future：investing in discovery and innovation：NSF strategic plan for fiscal years 2018—2022. (2018-02)/[2022-09-25]. https://www.nsf.gov/pubs/2018/nsf18045/nsf18045.pdf.

[13] Wagner CS，Alexander J. Evaluating transformative research programmes：a case study of the NSF Small Grants for Exploratory Research programme. Research Evaluation，2013，22(3)：187—197.

[14] 张书华，张志旻，齐昆鹏，等. 国外重要科学资助机构年度报告比较研究. 科技管理研究，2022，42(7)：103—108.

[15] European Commission. Horizon europe work programme 2021-2022：3. research infrastructures. [2022-09-25]. https://ec.europa.eu/info/funding-tenders/opportunities/docs/2021-2027/horizon/wp-call/2021-2022/wp-3-research-infrastructures_horizon-2021-2022_en.pdf.

[16] 鲍锦涛，郑毅，彭一杰，等. 原创性基础研究的内涵分析及对原创探索计划项目的启示. 中国科学院院刊，2022，37(3)：384—394.

[17] 孙海华，张礼超. 美国国家科学基金会的重要资助举措及启示. 中国科学基金，2021，35(4)：663—671.

[18] European Commission. Circular economy action plan. [2022-09-25]. https://environment.ec.europa.eu/strategy/circular-economy-action-plan_en.

[19] Japan Society for the Promotion of Science. Outline of grants-in-aid for scientific research. [2022-09-25]. https://www.jsps.go.jp/j-grantsinaid/index.html.

[20] 鲍健强，安原和雄. JSPS：日本科技进步的助推器. 科学学研究，2001，19(1)：93—99.

[21] 陈国长，张攀峰，朱本鹏，等. 2021 年度数理科学部基金项目评审工作综述. 中国科学基金，2022，36(1)：7—13.

[22] 国务院新闻办. 国务院新闻办就加快建设创新型国家全面支撑新发展格局举行发布会. (2021-03-02)/[2022-09-25]. http://www.gov.cn/xinwen/2021-03/02/content_5589617.htm.

[23] 白光祖，曹晓阳. 关于强化国家战略科技力量体系化布局的思考. 中国科学院院刊，2021，36(5)：523—532.
[24] 刘慧晖，任宪同，刘肖肖，等. 基础研究优先领域遴选实践初探. 中国科学基金，2019，33(5)：429—433.
[25] 方新. 关于我国发展基础研究的几点思考. 中国科学基金，2019，33(5)：417—422.
[26] 韩宇，莫漫漫，吕栋，等. 以科学基金深化改革促进《科学技术进步法》落地生根. 中国科学基金，2022，36(2)：181—185.
[27] 甘晓. 自然科学基金委召开全委会科学基金改革新动向：突出"从 0 到 1"原创导向. (2019-03-27)/[2022-09-25]. https://news.sciencenet.cn/htmlnews/2019/3/424527.shtm.

Exploration and Revelation of Strengthening the Conciseness of Scientific Problems in the Systematic Reform of Science Funding of the Department of Mathematical and Physical Sciences

Ziyu Wang[1,2]　Rumeng Liu[1,3]　Guochang Chen[1]　Panfeng Zhang[1]　Qingguo Meng[1]　Guoxuan Dong[1*]

1. *Department of Mathematical and Physical Sciences*, *National Natural Science Foundation of China*, *Beijing* 100085
2. *The Institute of Technological Sciences*, *Wuhan University*, *Wuhan* 430072
3. *College of Aerospace Engineering*, *Nanjing University of Aeronautics and Astronautics*, *Nanjing* 210016

Abstract　Deep understanding and promotion of the systematic reform and deployment of natural science funds to strengthen scientific problems is of great significance to improve the management level of National Natural Science Foundation of China (NSFC) and optimize the overall layout of China's scientific and technological innovation. This paper discusses the important role of strengthening the scientific problem conciseness in highlighting the field of innovative thought of funding projects and combs the connotation of scientific problems as well as the practical experience of foreign major scientific fund funding institutions in condensing scientific problems. On this basis, it introduces in detail the specific measures taken by the Department of Mathematical and Physical Sciences of the NSFC to condense scientific problems for scientific frontiers and major needs, closely following the medium and long-term and the "14th five-year plan" discipline development strategy planning, as well as the practice and experience of demonstrating major research plans and special project groups. Finally, prospects and suggestions are put forward for key work such as the systematic reform of NSFC and the strengthening of scientific issues.

Keywords　science fund; Department of Mathematical and Physical Sciences; systematic reform; concise scientific problems; fundamental research

（责任编辑　魏鹏飞　姜钧译）

* Corresponding Author, Email: donggx@nsfc.gov.cn