

· 管理纵横 ·

国家重大科研仪器研制项目管理改革经验及展望

郝红全¹ 赵英弘¹ 杨好好¹ 徐 丹² 郑知敏^{1*} 杨列勋¹ 王长锐¹

1. 国家自然科学基金委员会 计划局, 北京 100085

2. 上海科技大学, 上海 201210

[摘 要] 国家重大科研仪器研制项目是以科学目标为导向专门资助原创性科研工具研制的项目类型,是国家自然科学基金资助体系的重要组成部分。近年来,自然科学基金委针对国家重大科研仪器研制项目资助管理工作出台一系列改革措施,包括制定管理办法和实施细则、启动实施后评估、扩大资助规模、推动仪器开放共享和成果转化等,持续改进项目管理,逐步形成了较为完善的国家重大科研仪器研制项目资助与管理模式,为基础研究提供了新颖的研究工具和手段。本文在梳理改革措施的基础上,总结管理经验和资助成效,并提出进一步完善项目管理的思考和建议。

[关键词] 国家重大科研仪器研制项目;项目管理;改革举措;资助成效

习近平总书记强调,要“争取早日实现用我国自主的研究平台、仪器设备来解决重大基础研究问题”。当今世界,科学与技术加速融合,科学的持续发展和进步越来越离不开高端仪器和先进技术的支撑。通过采用先进的科研仪器和技术,新的科学发现不断涌现^[1]。著名数学物理学家 Freeman Dyson 曾指出^[2],科学研究的新方向不仅产生于新的研究概念,更多是来源于创新的科研工具。由研究概念所推动的变革是用新的方式解释已有事物,而由工具推动的变革则是去发现新的事物。值得注意的是,诺贝尔奖曾多次直接授予先进科研仪器的发明人。例如,1953 年诺贝尔物理学奖颁发给了相衬显微镜的发明人弗里茨·塞尔尼克;1986 年诺贝尔物理学奖颁发给了电子显微镜的发明人恩斯特·鲁斯卡和扫描隧道显微镜的发明人格尔德·宾宁、海因里希·罗雷尔;2017 年诺贝尔化学奖则是颁发给了冷冻电镜技术的发展者。除此之外,很多诺贝尔奖获得者的研究结果都离不开科研仪器设备的创制和发展。据不完全统计^[3],诺贝尔奖中,68.4% 的物理学奖、74.6% 的化学奖和 90% 的生理学或医学奖的获奖成果是借助各种先进的科学仪器完成的,或直接与新仪器方法或功能的发展相关。



郑知敏 博士,研究员,国家自然科学基金委员会计划局项目处处长。主要研究方向:科技政策、科学基金项目管理。



郝红全 博士,副研究员,国家自然科学基金委员会计划局项目处副处长。

本文围绕国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)专门资助原创性科研工具研制的项目类型在资助与管理方面近年来的一系列改革措施,总结梳理改革经验和资助成效,并提出进一步思考和建议,以期对持续完善和优化管理工作提供参考。

1 有关资助概况

美国、英国、澳大利亚等发达国家的科研资助机构十分重视科研仪器设备研制工作,通过设立专门的项目类型对仪器设备研制和相关技术开发提供资

收稿日期:2022-07-04;修回日期:2023-05-24

* 通信作者,Email: zhengzm@nsfc.gov.cn

助。美国国家科学基金会(National Science Foundation, United States, NSF)综合活动办公室(Office of Integrative Activities, OIA)下设大型科学仪器计划重大研究基础设施(Major Research Instrumentation Program, MRI)^[4],通过资助尖端仪器设施研制,催生新研究和新发现。NSF提出并组织实施“十大创新建议”(10 Big Ideas),资助中等规模的研究基础设施(Mid-scale Research Infrastructure)为其中之一。该创新建议旨在填补MRI和重大研究设备设施建设(Major Research Equipment and Facilities Construction, MREFC)之间资助研究设备设施的空白地带,资助强度在600万至7000万美元之间。中等规模的研究基础设施进一步分为Mid-scale RI 1和Mid-scale RI 2两个类型,其中Mid-scale RI 1主要资助现有主要设施的升级、高优先级研究实验/活动的基础设施和部分网络基础设施等,资助强度在600万~2000万美元/项;Mid-scale RI 2主要支持中等规模仪器设施,信息基础设施,其他用于科学支撑、工程或教育研究的设施以及对现有研究基础设施开展的中等规模升级,资助强度为2000万~7000万美元/项。2021年,Mid-scale RI 1和Mid-scale RI 2分别资助项目10个和2个。

英国国家科研与创新署(UK Research and Innovation, UKRI)下属的工程与自然科学研究理事会(Engineering and Physical Sciences Research Council, EPSRC)负责资助的13个主题之一为研究基础设施(Research Infrastructure)^[5]。该主题资助工作定位于确保EPSRC赞助的研究人员能在合适的时间以最经济的方式获得所需的基础设施。EPSRC通过实施“最先进的未来研究基础设施”(Future Proofing State of the Art Research Infrastructure)交付计划,平衡不同类型研究设施之间的关系。EPSRC还致力于研究设备在各组织间的共享,从而实现基础设施投资带来的价值。研究基础设施主题共有486个项目受到EPSRC的基金资助,资金总额为3.0797亿英镑(占EPSRC总资助的5.52%),支撑的研究领域涵盖光子材料、软件工程、金属材料科学、高分子材料、生物化学、分析科学、能源材料、流体力学与空气动力学、催化等。

自然科学基金委历来重视对科研仪器设备研制工作的资助。早在1998年就设立了科学仪器基础研究专款项目,加强对优先和重点支持领域科研仪器研制的战略布局。2011年,为贯彻落实《国家中

长期科学与技术发展规划纲要(2006—2020年)》,推动我国重大科研仪器设备自主研制工作,自然科学基金委在国家财政部门的大力支持下,设立国家重大科研仪器设备研制专项^[6,7]。2014年,自然科学基金委将上述两类仪器项目整合为国家重大科研仪器研制项目(以下简称“重大科研仪器项目”),面向科学前沿和国家需求,以科学目标为导向,资助对促进科学发展、探索自然规律和开拓研究领域具有重要作用的原创性科研仪器与核心部件的研制^[8,9]。

2 重大科研仪器项目管理改革经验

自2018年科学基金深化改革启动实施以来,围绕重大科研仪器项目资助管理工作,自然科学基金委通过制定规章制度、启动项目后评估、加大资金投入、加强成果宣传等措施,持续改进项目管理,重大科研仪器项目管理机制日臻完善。

2.1 推进建章立制,形成完备的制度管理体系

2018年,自然科学基金委结合重大科研仪器项目实施情况,深入总结资助和管理工作的经验和问题,对原有的管理规范性文件进行系统性整合,制定《国家重大科研仪器研制项目管理办法》(以下简称“《管理办法》”)。《管理办法》强化了各管理主体的管理责任,补充、明确了项目评审、验收等环节的管理要求,强化了关键管理节点的检查要求。同时,《管理办法》还体现了不同亚类项目的管理特点和差异化要求。《管理办法》的制定标志着重大科研仪器项目管理工作基本实现了制度化、规范化。此外,针对部门推荐类重大科研仪器项目资助体量大、管理程序复杂的特点,2021年自然科学基金委制定了《国家重大科研仪器研制项目(部门推荐)实施细则(试行)》(以下简称“《实施细则》”)。《实施细则》作为管理办法的细化和补充,厘清了自然科学基金委、项目组织部门、依托单位、监理工作组等各方的管理职责,完善了项目评审要点和遴选程序要求,明确了现场考察、中期检查、验收、档案管理等各项工作的流程和具体要求。《管理办法》和《实施细则》的制定为实现重大科研仪器项目的科学、规范管理奠定了重要制度基础。

2.2 加大资金投入力度,扩大重大科研仪器项目资助规模

重大科研仪器项目分为经费需求1000万元以上的部门推荐类和经费需求小于1000万元的自由申请类两个亚类^[10]。截至2021年底,已资助部门

推荐类项目 64 项、自由申请类项目 707 项,资助总经费达到 96.88 亿元,历年资助项目数和资助经费情况见图 1。

2020 年以来,受新冠疫情影响,在科学基金总预算增幅有限的大背景下,自然科学基金委将重大科研仪器项目年度资助计划由原来的 9 亿元增加至 9.5 亿元,强化对重大科研仪器研制的资助。同时,为提高重大科研仪器项目资助计划执行率,自然科学基金委在 2020 年优化调整了仪器项目的评审会议组织模式。2020 年以来,重大科研仪器项目资助计划执行率较往年大幅提高,连续两年超过 99%。

2.3 启动后评估工作,全方位检验资助成效

根据《管理办法》规定,自然科学基金委应根据需要组织专家对部门推荐类重大科研仪器项目进行后评估。后评估主要围绕部门推荐类重大科研仪器项目执行期满以后,项目原定的科学目标和应用目标完成情况、依托仪器取得的重大科研成果情况、掌握关键核心技术及技术推广应用情况、仪器核心器件自主可控情况、仪器运行使用和开放共享情况、人才培养情况、成果转化情况等开展评估。2022 年,自然科学基金委完成了对 2018 年及以前准予结题的 12 个部门推荐类重大科研仪器项目的后评估工作。结果表明,参与评估项目均取得了较好进展和成绩,资助成效显著。后评估工作对部门推荐类重大科研仪器项目执行期满后的成果取得、技术开发、运行使用、开放共享和成果转化等情况进行了深入摸底,为今后进一步完善重大科研仪器项目的资助

和管理工作提供了重要参考依据。

2.4 加强资助成果宣传,推动仪器开放共享和成果转化

为推动科研仪器开放共享和成果转化,自然科学基金委在 2020 年对科学基金仪器类项目的资助成效进行了系统梳理,并将历年仪器类项目优秀资助成果汇编成册,出版《科学仪器类项目成果汇编》。该汇编集中展示了 144 台(套)科研仪器,展示内容包括仪器简介、技术指标、应用领域、应用案例和产业化计划及需求等信息,大力促进了科学基金资助研制仪器的开放共享和成果转化。同时,自然科学基金委通过开发重大科研仪器项目在线展示传播平台、组织仪器类项目成果展示和企业对接活动等方式,进一步加强科研仪器的开放共享,促成部分优秀成果与企业对接合作和转移转化。

2.5 强化衔接配合,推动重大科研仪器项目接续资助

2021 年,科技部和自然科学基金委联合印发《关于进一步加强国家自然科学基金与其他国家科技计划项目衔接协同机制安排的通知》(以下简称“通知”),对加强科学基金和其他国家科技计划的衔接协同提出具体要求,并建立了有关工作机制。按照《通知》要求,自然科学基金委可以向科技部推荐重大类型项目资助成果和优秀团队。2022 年,国家重点研发计划“基础科研条件与重大科学仪器设备研发”重点专项设置定向项目,自然科学基金委是推荐单位之一。自然科学基金委在已完成验收的重大



图 1 国家重大科研仪器设备研制专项(2011—2013 年)和国家重大科研仪器研制项目(2014 年以来)历年资助项目数和经费情况(单位:万元)

科研仪器项目中择优选择具有自主知识产权且目标应用领域较宽的项目,推荐至该重点专项开展接续资助,推进科学基金资助研制的科研仪器开展工程化研制、应用开发和推广应用。同时,自然科学基金委积极与中央有关部门协调,推动部分重大科研仪器拓展建设为国家重大科技基础设施。目前,已有多个重大科研仪器项目获得国家重大科技基础设施建设立项。

3 资助成效

重大科研仪器项目的实施为广大科研人员发现新现象、揭示新规律、验证新原理、获取新数据提供了新颖的手段和工具。通过科学基金仪器类项目的资助,我国科研人员在生物多尺度多维高分辨计算摄像、单自旋磁共振探测、人体肺部高灵敏度磁共振成像等领域,研制出性能指标达到世界先进水平的科研仪器,取得了一批具有自主知识产权的关键技术。同时,通过仪器类项目的资助,我国在提高科研仪器自主研发能力、培育仪器类创新人才方面取得了可喜的成效,有效支撑了基础研究高质量发展。

3.1 成功研制出原创性国家重大科研仪器或系统装置

在重大科研仪器项目支持下,产出了一批高水平科研仪器设备,成为我国相关学科、行业发展的有效“利器”,受到国际同行的关注和认可。

(1) 多维多尺度高分辨率计算摄像仪器

清华大学戴琼海教授负责的“多维多尺度高分辨率计算摄像仪器”成功研制了宽视场高分辨率成像物镜,完成了计算光场、计算光照、计算重建等模块的研究与开发,顺利完成了计算摄像仪器样机的软硬件集成,实现了对神经和肿瘤等观测目标厘米级视场下的微米级分辨率成像观测。

(2) 多波段脉冲单自旋磁共振谱仪

中国科学技术大学杜江峰教授带领团队成功研制出具备单核自旋磁共振探测灵敏度的多波段脉冲单自旋磁共振谱仪。创新地利用单电子自旋作为量子干涉仪,结合动力学解耦技术,将微弱的核自旋信号转化为量子干涉仪的相位信息,利用量子测量加以读取,最终实现单核自旋探测灵敏度。项目组基于研发的谱仪硬件和技术,在微观尺度磁共振谱学及其与生物、物理、信息等前沿学科交叉研究领域取得了一系列原创性研究成果。多波段脉冲单自旋磁共振谱仪的研制有力促进了微观尺度的磁共振成像、固态量子信息实验研究等前沿学科领域的发展。

(3) 光电融合超分辨生物显微成像系统

中国科学院生物物理研究所徐涛研究员负责的“光电融合超分辨生物显微成像系统”,研制出了处于国际领先水平的设备级系统,并在超分辨成像领域取得了一系列相关的研究成果。该仪器首次实现了三维冷冻单分子定位超分辨成像与低温透射电镜融合成像、片层光超分辨成像与扫描电镜融合成像,达到并优于项目任务书原定的技术指标,发展的超分辨光电融合成像技术对生命科学前沿领域的发展有着重要意义。

(4) 超高时空分辨微型化成像系统

北京大学程和平教授组织跨学科团队,在超高时空分辨微型化在体成像系统研制方面取得突破性技术革新,成功研制可佩戴式高速高分辨双光子荧光显微镜,并在国际上首次获取小鼠自由行为过程中大脑神经元和神经突触活动清晰、稳定的图像。该仪器成果受到了国际同行的高度评价,认为:“从任何一个标准来看,这款显微镜都代表了一项重大技术发明,它所开启的大门,甚至超越了神经元和树突成像”^[11]。

(5) 太赫兹超导阵列成像系统

中国科学院紫金山天文台史生才研究员负责的“太赫兹超导阵列成像系统”成功研制了一台850微米波段 8×8 像元和一台350微米波段 32×32 像元超导阵列成像系统。攻克了超导动态电感探测器和超导相变边缘探测器这两种超导探测器芯片的设计、制备与特性表征技术,实现了我国在大规模二维阵列超导探测器芯片技术上“零”的突破。该仪器的研制成功使我国跻身大规模阵列超导探测器技术领域国际前沿,为我国天文观测研究提供了一种全新的成像探测手段。

(6) 基于可调极紫外相干光源的综合实验研究装置

中国科学院大连化学物理研究所杨学明研究员负责的“基于可调极紫外相干光源的综合实验研究装置”成功输出激光,激光脉冲能量达到210 J,超过设计指标。该仪器是我国第一台大型自由电子激光科学研究用户装置,也是当今世界上唯一运行在极紫外波段的自由电子激光用户装置,也是世界上最亮的极紫外光源。

3.2 推动产生重要研究成果

“飞秒-纳米时空分辨光学实验系统”项目承担人北京大学龚旗煌院士领导的课题组,提出混沌辅助的光子动量快速转换的新原理,实现了超高品质

因子光学微腔和纳米尺度波导的超宽带耦合,突破了微纳光学器件近场耦合需要相位匹配(即动量守恒)的限制。

“基于超声辐射力的深部脑刺激与神经调控仪器研制”项目中国科学院等单位的科研人员首次揭示了个体之间衰老速度差异的遗传基础,发现一条新的信号通路调控动物衰老,阐明了神经肽介导的胶质细胞—神经元信号在衰老速度调控中的重要作用,是近年来衰老领域取得的重要突破。调控个体之间衰老速度差异的基因已经历了长期的进化选择,对生长和繁殖一般没有不良影响,有望成为抗衰老的潜在靶点。该工作为抗衰老研究提供一个全新视角,进一步解析个体之间衰老差异将有助于我们系统地理解健康衰老的调控机制。

“被动式近场红外显微镜的研制”项目组利用研制仪器所提供的在近场范围的独特而有效的研究手段,在 GaAs 微纳样品成像结果首次给出了人们多年前预测却始终无法直接实验观测到的速度过冲(Velocity Overshoot)和非局域焦耳热(Non-local Joule heating)现象。

“高速光谱视频计算摄像仪器的研制”项目组揭示了高维光谱信号的时—空—谱流形特性,提出了高速光谱视频信号的集约化表征和高精度解耦重建方法,实现了高速动态过程的瞬态光谱成像。该仪器为燃烧科学等迫切需要观测高速物理化学变化的基础研究领域提供了全新的科学观测手段,促进了相关基础学科的交叉和发展。

“低维材料微纳器件的超低温电输运及其原位 Raman 与 Kerr 光谱联合测量系统”项目组研究并揭示了材料在门电压掺杂下电学输运和光学响应的关系、磁性低维材料的磁结构和电输运的耦合机制,探究了新型低维材料的磁电相互关联机制。

“原子尺度超高时空分辨兆伏特电子衍射与成像系统”可以同时提供约 50 飞秒和约 0.1 埃结构变化解析能力超高时空分辨率的兆伏特电子衍射与成像系统,为探索物质基本过程提供具有原子尺度超高时空分辨能力的研究手段。利用该系统开展的超快过程研究将有助于在原子尺度上理解和操控物理、材料和化学等基本过程。

4 思考及展望

重大科研仪器项目是科学基金资助体系中资助强度较大、科技界关注度较高的项目类型,且具有科学性和工程性双重属性,实施难度较大。近年来的

重大科研仪器项目管理改革为研制原创性国家重大科研仪器或系统装置、推动产生重要研究成果奠定了基础。但从发展的眼光看,重大科研仪器项目管理仍存在过程管理较薄弱、开放共享不充分、仪器升级改造等接续支持机制不明确等问题,仍需进一步深化改革。下一步,一是应继续加强建章立制,出台重大科研仪器项目(自由申请)相关实施细则,规范实施过程中涉及研究内容或者研究计划重大调整的重大事项报告制度等;二是完善项目评审机制,通过优化项目评审要点、加强国际同行评审等,提升项目评审和立项质量;三是持续改进过程管理,根据原创性科研仪器研制的复杂性、不确定性和高风险性特征,压实主体责任,提前研判风险,加强进度和质量管控;四是大力推动开放共享,督促依托单位将研制的科研仪器设备信息报送重大科研基础设施和大型科研仪器国家网络管理平台,并对社会开放共享,从而提高仪器设备的使用效益;五是深入开展监督评估和成果跟踪,积极引入第三方机构开展仪器类项目整体资助成效评价、监督评估、项目验收、后期成果跟踪等,持续提升项目管理质量。

工欲善其事,必先利其器。在科学研究范式正在发生深入变革的大背景下,科学前沿的革命性突破、科技创新、产业发展、国际科技竞争合作越来越依靠重大科研仪器等科技基础设施的支撑。这给新时代我国科研仪器事业的发展带来了重大机遇和挑战。实践证明,抢占科技战略制高点所需的核心重大科研仪器设备不可能靠进口得到,只有采取有效措施大力推动重大科研仪器的创新研制,才能摆脱受制于人的局面^[12]。自然科学基金委将以习近平新时代中国特色社会主义思想为指导,深入落实新时代对科学基金工作提出的新任务、新要求,抢抓机遇、深化改革,持续改进重大科研仪器项目管理,不断提升重大科研仪器项目的资助效能,为提高我国科研仪器自主创新能力、推动基础研究高质量发展贡献科学基金应有的力量!

参 考 文 献

- [1] 高瑞平. 加强仪器研制 催生源头创新. 中国科学基金, 2014, 28(6): 401—402.
- [2] Freeman D. Imagined Worlds. Harvard University Press, 1998.
- [3] 李天柱, 高皓天, 王亚东. 高端科学仪器的创新特性与产业发展思路. 科技和产业, 2021, 21(2): 109—114.
- [4] 郝红全, 郑知敏, 李志兰, 等. 国家重大科研仪器研制项目(部门推荐)管理工作概述和若干思考. 中国科学基金, 2021, 35(3): 482—485.

- [5] UK Research and Innovation. Research infrastructure theme. (2022-02-27)/[2022-06-22]. <https://www.ukri.org/what-we-offer/browse-our-areas-of-investment-and-support/research-infrastructure-theme/>.
- [6] 冯勇, 谢焕瑛, 刘容光, 等. 国家重大科研仪器设备研制专项立项及管理工作的若干思考. 中国科学基金, 2012(6): 369—371, 334.
- [7] 白坤朝, 汲培文, 张守著. 国家重大科研仪器研制项目的管理思考. 中国科学基金, 2017, 31(4): 380—383.
- [8] 国家自然科学基金委员会. 国家重大科研仪器研制项目管理办法. [2022-06-25]. <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab475/info74766.htm>.
- [9] 王璞玥, 任红艳, 李响, 等. 推动生命科学发展的新技术新仪器研制的战略定位、发展趋势及重点资助方向. 中国科学基金, 2016, 30(4): 291—297.
- [10] 毛献峰. 我国基础科学研究中重大科研仪器设备研制情况分析——以2012—2017年国家重大科研仪器研制项目资助情况为例. 产业与科技论坛, 2018, 17(14): 93—95.
- [11] Silva AJ. Miniaturized two-photon microscope: seeing clearer and deeper into the brain. *Light: Science & Applications*, 2017, 6(8): e17104.
- [12] 高瑞平. 提升科学基金仪器项目资助效能 促进研制仪器应用共享. 中国科学基金, 2020, 34(S1): 1.

Experience and Prospect of Management Reforms of the Research Program of National Major Research Instruments

Hongquan Hao¹ Yinghong Zhao¹ Haohao Yang¹ Dan Xu²
Zhimin Zheng^{1*} Liexun Yang¹ Changrui Wang¹

1. Bureau of Planning, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085

2. Shanghai Tech University, Shanghai 201210

Abstract Research Program of National Major Research Instruments is an important program which is designed in order to provide new approaches and tools for scientific research in the funding system of National Natural Science Foundation of China. In this paper, the reform measures and achievements of the project management of Research Program of National Major Research Instruments in recent years are introduced. Further thoughts and suggestions are put forward to provide reference for the improvement and optimization of relevant management.

Keywords Research Program of National Major Research Instruments; project management; reform measures; funding achievements

(责任编辑 张强)

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