

· 联合资助方经验交流 ·

NSAF 联合基金二十年：强化需求牵引的基础 科研协同创新模式探索与实践

王 娜^{1†} 李会红^{2†} 林 婷³ 刘冬燕^{1*}

1. 中国工程物理研究院 科研技术部, 绵阳 621900

2. 国家自然科学基金委员会 数理科学部, 北京 100085

3. 中国工程物理研究院 科技信息中心, 绵阳 621900

[摘要] 2000年, 国家自然科学基金委员会和中国工程物理研究院联合设立了“国家安全学术基金”(National Safety Academic Fund, 简称NSAF基金或NSAF联合基金)。NSAF基金坚持需求牵引和问题导向, 围绕国家安全领域需求开展基础前沿研究, 吸引和调动全国优势科技力量, 在特种材料、含能材料、精密物理实验能力、极端条件下的测试诊断能力等方面产出了一批重要国防基础科研成果。本文从联合基金资助与管理角度, 对NSAF基金20年的资助情况和实施成效进行了系统梳理, 总结回顾了NSAF基金在顶层战略指引下持续改革创新的探索与实践经验, 并对未来发展进行了展望。

[关键词] NSAF基金; 联合基金; 国家安全; 需求牵引; 基础研究

1 引言

国家安全是安邦定国的重要基石。当前, 国家安全环境正在发生深刻复杂变化, 我国发展仍处于重要战略机遇期。只有选准突破口超前布局, 强化前瞻性、先导性、探索性的国家安全基础科学研究和新概念研究, 才能积极谋取竞争优势, 为筑牢国家安全基石提供有力支撑。

中国工程物理研究院(以下简称“中物院”)是国家计划单列的我国唯一的核武器研制生产单位, 是以发展国防尖端科学技术为主的集理论、实(试)验、设计、生产为一体的综合性研究院。中物院成立于1958年。老一辈中物院人隐姓埋名、默默奉献, 在艰苦卓绝的条件下创造了两弹事业的辉煌成就。但由于事业特殊、地域偏僻, 中物院长期面临着吸引人才难度大、特别是基础性研究人才不足的局面。为了吸引和调动全国高等院校、科研机构的力量开展与国家安全相关的基础研究工作, 开拓新的研究方向, 培养国防高科技人才, 促进国家安全相关领域源



刘冬燕 研究员, 中国工程物理研究院科研技术部发展任务处处长, 中国工程物理研究院科学技术委员会科学与工程管理专业组成员。长期从事科研管理工作, 研究方向包括大科学工程管理、基础性研究管理、科技创新平台管理、科技政策与环境、数字化转型等。



王娜 博士, 高级工程师, 中国工程物理研究院科研技术部发展任务处项目主管。研究方向包括基础性研究管理、科技创新平台管理、科技政策与环境、数字化转型等。



李会红 博士, 国家自然科学基金委员会研究员, 核物理学会第十三届常务理事, 研究方向是高能物理实验, 曾从事北京正负电子对撞机上的BES物理数据分析和建模研究, 现主管数理科学部物理科学二处基础物理、高能物理、核物理、等离子体物理等学科的基金项目以及NSAF联合基金和大科学装置科学研究联合基金。

收稿日期: 2021-06-17; 修回日期: 2021-07-12

* 通信作者, Email: liudy@caep.cn

† 共同第一作者

头创新能力的提升,国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)和中物院于2000年开始试点,2001年正式签约联合设立“国家安全学术基金”(National Safety Academic Fund,简称NSAF基金或NSAF联合基金)。NSAF基金是自然科学基金委第一批联合基金试点之一。截至目前,共签署5期协议,是实施时间最长的联合基金。本文对NSAF基金设立实施以来取得的成效进行了梳理回顾,对联合基金资助情况与管理工作进行了总结,并对未来发展进行展望。

2 资助情况

2.1 经费投入情况

2001—2020年期间,自然科学基金委与中物院共签署了5期“NSAF联合基金协议”及4次“补充协议”。截至2020年,NSAF基金共投入7.29亿元,其中:自然科学基金委投入3.24亿元,中物院投入4.05亿元,资助金额由2001年的1000万元/年增长至2020年7500万元/年(如图1所示)。

2.2 申请和资助项目情况

截至2020年,NSAF基金分培育项目、重点支持项目及科学中心项目3个亚类,共支持847个项目,其中:培育项目共计785项,平均资助强度由2001年11万元/项增加至2020年50万元/项(直接经费);重点支持项目共计56项,平均资助强度由2004年73万元/项增加至2020年300万元/项(直接经费);科学中心项目共计6项,平均资助强度为1000万元/(项·年)(总经费)。

NSAF基金历年申请和资助项目数见图2,NSAF基金年平均资助项目基本维持在30~40项。第五期协议期间(2019年起),NSAF基金重点支持项目占比增加,因此年度资助项目数较第四期协议期

间有所下降。



图1 NSAF基金投入经费及协议签订情况

从历年资助率情况(图3)来看,2018年以前,NSAF基金的资助率基本处于35%~55%之间,2019年以来资助率明显下降,表明NSAF基金在国内影响力和参与程度提升显著。

3 实施成效

3.1 吸引全国优势科技力量,形成军民科技协同创新模式

NSAF基金为中物院吸引全国科技力量开展国家安全需求牵引下的基础研究打开了新局面,结束了中物院由于事业特殊和地域偏僻而在国内一直保持沉默、独自耕耘的状况。设立NSAF基金之前,中物院与国内相关单位的合作主要依靠点对点签订合作协议或科研外协等方式,合作深度和广度受到了一定限制。NSAF基金设立20年来,共137家单位获NSAF项目资助。其中高等院校90家(占比66%)、资助项目数约占总项目数的81%,科研院所47家(占比34%)、资助项目数约占总项目数的19%;非军工类单位115家(占比84%)、资助项目数约占85%,军工类科研单位及高校22家(占16%)、

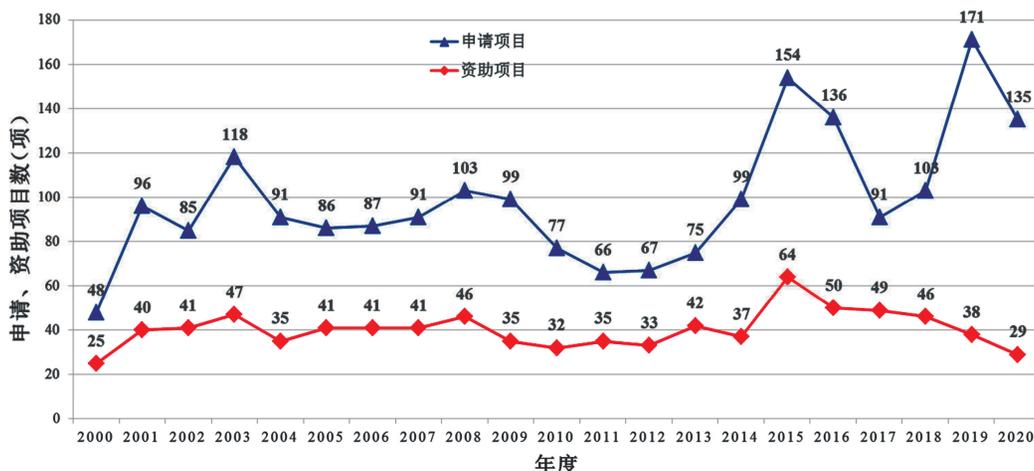


图2 NSAF基金历年申请和资助项目数

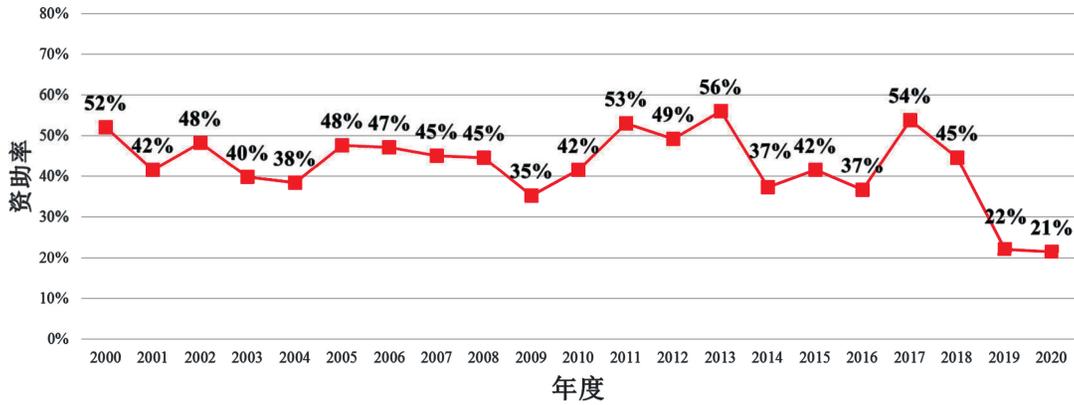


图 3 NSAF 基金历年资助率情况

资助项目数约占 15%，形成了科教融合、协同创新的新模式。

在 NSAF 基金资助和引导下，科研人员通过共同承担科技计划项目、参与中物院国防科技重点实验室和院级重点实验室科研工作、科研外协、共同培养研究生等方式，形成了等离子体物理与计算物理、含能材料等数十个以中物院需求为核心的跨机构科研合作创新团队。在此基础上，中物院与多所国内高校和科研院所建立了战略合作同盟，形成了以国家安全基础科学研究为核心的科技型协同创新网络。

同时，NSAF 基金的资助间接拓宽了国际合作研究渠道。NSAF 基金资助项目论文署名单位包含 64 个国家和地区的近 1 300 个研究机构(其中国外研究机构 524 个)。

3.2 坚持需求牵引和问题导向，服务国家安全和重大战略需求

NSAF 基金坚持需求牵引和问题导向，面向“强基础、补短板、拓方向”，致力于吸引和调动全国优势科技力量共同开展基础科学研究，服务国家安全和重大战略需求。在“强基础”方面，NSAF 基金资助了从基础科学层面阐释工程技术问题、实验现象等背后的机理、原理类研究约 310 项(占比 36%)，深化了对关键性“卡脖子”问题背后原理、规律的认识，从“知其然”向“知其所以然”转变；“补短板”方面，

NSAF 基金紧密围绕中物院科研生产任务中面临的关键科学技术问题，通过充分调动和发挥国内优势团队的科研力量，开展了新技术、新方法、新材料、新算法、新工艺等方面的研究 450 余项(占比 53%)，为国家安全领域科研生产任务提供了新思路和新手段，部分研究成果经过验证或持续发展已经得到应用；“拓方向”方面，NSAF 基金通过先后设置“鼓励研究方向”、大科学装置对外开放项目，发展和培育了太赫兹等面向国防需求的新兴科研方向。

在优化铀材料制备工艺方面，联合科研团队通过理论模拟与实验，在微观层面系统揭示氮、铀相互作用规律，基于氮化表面“自稳定化”的抗氧化性能认识，在阻断表面与腐蚀介质接触的传统防腐蚀理念基础上，提出了在铀表面通过氧化形成自稳定化膜以对表面进行防护的新设计，实现了氮化层的可控制备。表面氮化有效增强了金属铀的抗大气腐蚀性能，满足了工程应用对工艺稳定性的需求，为解决金属铀在工程应用中的腐蚀问题奠定了重要基础^[1, 2]。

基于精密实验需要，在 NSAF 基金的资助和引导下^[3, 4]，科研团队成功研制出紧凑型电磁驱动高能量密度动力学实验装置(简称“CQ-7”)，实现了从装置基础原理、加载关键技术到装置集成的一系列突破，开展了准等熵加载下材料的动力学行为研究，将电磁驱动高能量密度动力学实验装置从国内空白发展至国际同类装置最高水平。CQ-7 装置放电峰值电流 7.1 MA，上升时间 222 ns，能够将 6 mm×6 mm×0.35 mm 的铝飞片驱动至速度 16 km/s 以上，优于国际同类仪器水平(美国圣地亚国家实验室 VELOCE 装置、法国 CEA 的 GEPI 装置；放电峰值电流 3~4 MA，上升时间 400~600 ns，铝飞片速度 10.4 km/s)。不仅为武器物理、极端条件下材料物理力学研究奠定了基础，也为高能量密度物理研究提供了独特实验平台。

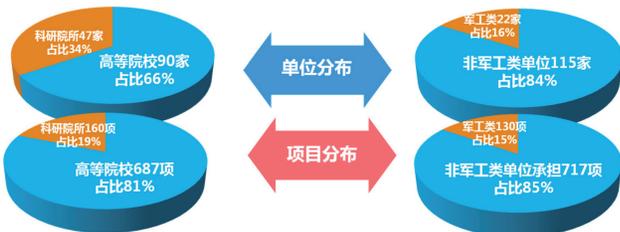


图 4 NSAF 基金资助项目分布情况

在武器实验诊断能力提升方面,原位、瞬态、无损、环境复杂对诊断技术和装置一直是“卡脖子”问题。项目团队在微惯性器件的稳定性控制方法研究上,建立了微加速度计闭环反馈接口电路系统模型,研制出的微加速度传感器模块稳定性得到极大提高,实现了核心部件的自主研发^[5]。

3.3 推进国家安全领域重点学科发展,促进产出原创性重大科研成果

从 NSAF 基金资助项目学科分布来看(图 5),NSAF 基金资助的主要学科方向包括电子科学与技术、力学、物理、材料与化学、光学工程,此外还包括机械工程、数学、核科学与技术、兵器科学与技术学科等。

从 NSAF 基金发表论文情况来看(图 6),截至 2020 年 12 月,NSAF 基金资助项目共产出论文 15 295 篇。NSAF 基金资助项目发表论文在前 25%期刊的占比为 44.4%,25%~50%期刊的占比为 28.7%,总体水平较高。其中,ESI 高被引论文共计 80 篇,研究方向涉及计算科学、含能材料、化学及交叉学科、纳米科学与纳米技术等,说明 NSAF 基金的资助有力提升了相关方向的学术水平和影响力。

以含能材料方向为例,NSAF 基金设立以来共资助含能材料方向重点支持项目 7 项,占重点支持项目的 12.5%。NSAF 基金资助国内优势单位与中物院合作,在新炸药设计、合成和机理研究、石墨烯及其改性在炸药中的应用探索、纳米含能材料与器件研究、PBX 炸药成型过程、爆轰过程研究等方面开展了广泛而深入的研究。例如,在超高能含能材料研究方面,某高校科研团队在 NSAF 基金资助下对全氮超高能炸药的新发现,引发国际同行广泛

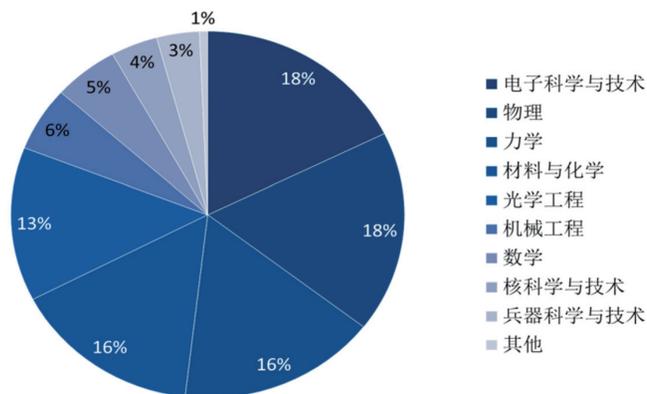


图 5 NSAF 基金资助项目学科分布情况

关注。全氮超高能炸药因其高能量(能量水平是 TNT 炸药的 3 倍以上)、低污染、低信号等优点,成为国际军事大国含能材料的研究热点。科研团队在稳定化合物的合成机理上开展研究,在离子型全氮超高能材料研究中取得重大突破,在国际上首次成功合成了全氮五唑阴离子的钠、锰、铁、钴和镁盐合物,占领了新一代超高能含能材料研究的国际制高点,为实际应用奠定了技术基础,有望提升我国武器装备的炸药能量水平。取得的相关成果为 2017 年我国首次在 *Science* 和 *Nature* 上相继报道全氮五唑阴离子的晶体结构提供了重要的数据支撑和理论基础^[6]。

4 管理举措

4.1 顶层战略指引,持续优化改革

NSAF 基金作为国内第一个由自然科学基金委与国家行业部门设立的联合基金,一直以来得到自然科学基金委和中物院双方领导的高度重视。以每 5 年签订协议为契机,双方主要领导会晤商谈 NSAF

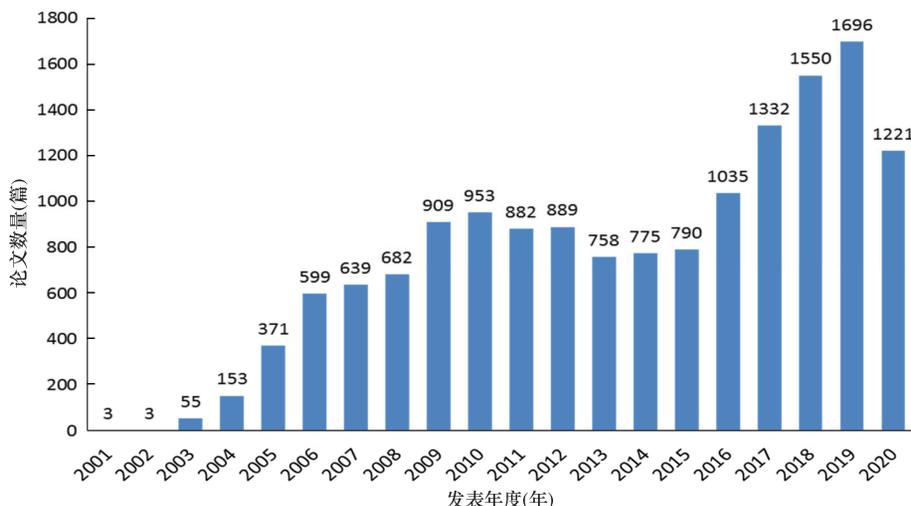


图 6 NSAF 基金资助项目发表论文情况

基金顶层发展战略,指明未来发展方向。自然科学基金委数理科学部与中物院科研技术部联合成立 NSAF 联合基金办公室,负责指南编制、立项评审、跟踪管理、结题验收等工作。

在顶层战略指引下,NSAF 基金 20 年来持续优化改革。2000 年试点时,NSAF 基金主要设置了“培育项目”,其中包括“明确目标课题”和“鼓励研究方向”2 类。“明确目标课题”类重点引导国内科研人员面向中物院提出的国家安全领域具体需求相关的基础科学问题开展研究;“鼓励研究方向”类引导面向需求相关领域开拓新的研究方向。2006 年起,NSAF 基金增设“重点支持项目”,资助围绕国家安全领域重点基础科学问题开展更加系统深入的研究。2015 年起,NSAF 基金增设“研究中心项目”,聚焦国家安全相关领域具有重大潜在应用价值的科研方向,提供相对稳定、潜心开展基础科学和前沿研究的平台。2019 年,NSAF 基金面向新时代的新形势与新挑战,围绕“进一步聚焦需求、前瞻布局、扩大开放”的目标实施了第五期协议改革,培育项目旨在扩大中物院承建的国家大科学装置的开放共享,促进交流合作;重点支持项目聚焦国家战略安全领域关键瓶颈问题,面向未来潜在应用和学科交叉创新,开展前瞻性、颠覆性基础科学研究;研究中心项目指南面向全国公开发布。

4.2 坚持需求牵引,把握指南源头

NSAF 基金始终牢记初心使命,坚持需求牵引。第 1~4 期协议期间,采用三级审议机制开展指南编

制工作。一是由中物院各研究所自下而上提出课题方向建议,研究所审核后报送院;二是由中物院组织院级学科组专家召开会议进行遴选,重点对学科方向布局及需求相关性进行把关;三是联合基金办公室组织专家组审议,对指南的基础性、创新性以及总体质量进行把关。这种自下而上、三级审议的模式保障了资助方向与需求的一致性,指南内容覆盖面较广,引导解决了一大批具体科学技术问题。

第 5 期协议起,围绕进一步聚焦需求、体系化布局的目标,中物院成立 NSAF 基金专家组,由中物院组织直接从事国家安全任务的战略科学家,围绕国家安全任务中面临的核心关键问题开展研讨,自上而下凝练形成重点支持项目的指南。指南的范围更加聚焦,重点支持方向保持 5 年不变,有助于推动聚焦关键问题持续深入研究。

4.3 全程密切交流,推动项目实施

组织签订《NSAF 基金项目协议书》是 NSAF 基金自设立以来坚持的一项管理举措。新项目获批后,由指南提出单位、项目依托单位与 NSAF 联合基金办公室签订三方协议,明确研究计划与成果形式,明晰各方职责,制定合作交流计划。协议书作为项目结题验收的依据之一。

此外,从 2019 年开始,每年 NSAF 基金指南发布后,中物院组织召开面向全国相关领域同行专家的 NSAF 基金指南宣传交流会。通过专家解读和现场交流加强宣传,加深国内同行对需求的理解。这一举措有效提升了 NSAF 基金影响力和申请书

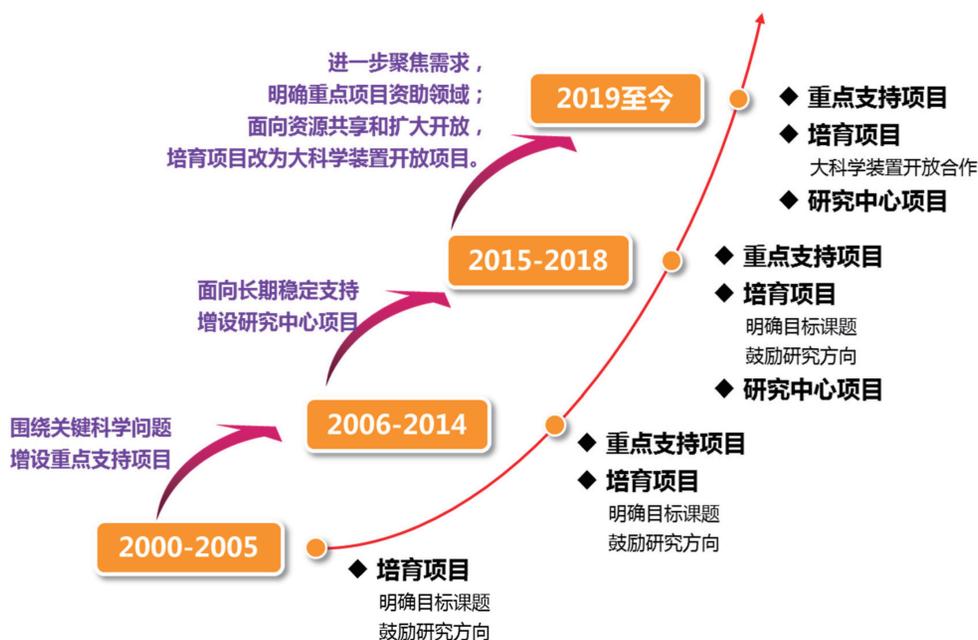


图 7 NSAF 基金资助模式改革发展图

与指南的契合程度,2019年申报数量较2018年增加66%,2021年较2020年增加32%,申请书质量也有显著提升。

NSAF基金实施管理过程中注重发挥指南提出单位和项目责任专家的作用。通过《中国工程物理研究院NSAF基金管理办法》赋予指南提出单位全过程组织跟进项目实施的责任;重点支持项目设院内责任专家,参与协议签订及项目启动,跟进项目实施(年度交流、领域会议、中期检查等),确保项目策划实施紧密围绕需求开展,为项目成果最终走向转化应用奠定基础。

4.4 鼓励深度合作,培养优秀人才

基础研究不仅是单位创新发展的源动力,也是培养创新人才的重要渠道。自NSAF基金设立以来,联合基金办公室在基金管理过程中非常重视对青年科技人才的培养,先后实施了一系列相关举措,取得了良好效果。具体包括:要求指南提出单位派1~2名参研青年参与各项目研究,并额外给予参研经费保障;项目结题后,参研青年按要求提交参研报告,并在项目预验收时作口头汇报。2000年以来,参与NSAF联合基金项目的中物院参研青年总数达1000余人次。参研青年深度参与项目实施,得到了国内优势团队资深专家的指导与培养。部分参研青年迅速成长为中物院主体任务重要骨干,许多早期项目参研青年现已成长为院所领导和学术带头人。

同时,NSAF基金的牵引使中物院科研人员更加重视工程技术任务中机理和规律性的基础问题探究,2000至2020年,全院年度获科学基金资助的项目数从5项增加至180项,资助经费从190万元增至超1亿元,远超科学基金资助总额的年均涨幅。其中,2011—2020年10年的科学基金获资助项数约为2001—2010年的6倍。这些有力促进了中物院相关领域学术水平和人才科学素养的提升。

4.5 推动资源共享,促进协同攻关

2019年起,NSAF基金培育项目改革为面向中物院建设和运行的大科学装置对外开放。基于先期开放的4个大科学装置/平台,共资助培育项目47项。其中微纳工艺平台、高平均功率太赫兹自由电子激光装置(CTFEL)均为新建成平台,通过NSAF基金扩大了国内影响力,吸引了13家单位优秀团队成为新用户(民口占92%)。2020年1月至今,克服疫情影响,开展线上线下项目交流52次,开展联合实验22次,其中绵阳研究堆中子科学平台累计提供

辐照时间765小时,星光III激光装置累计开展打靶实验31发,CTFEL装置和微纳工艺平台分别提供机时180和980小时。中物院以国防科技能力为国家科技创新做出贡献的同时,前沿交叉科学问题也为加快提升平台自身能力提供了重要牵引。在管理方面,NSAF联合基金办公室通过与各装置单位密切沟通,确保项目机时和条件能够满足开放项目需求;以协议书、项目启动会等方式建立装置责任单位与项目依托单位之间的合作共享机制。

4.6 系统总结成效,注重成果回归

在NSAF基金项目管理层面,注重结题阶段和结题后围绕指南进行“成果回归”研讨。培育项目结题后,以“结题预验收”形式,由指南提出单位组织与依托单位开展研讨,深入交流问题解决程度、探讨未来持续合作方向。重点支持项目由自然科学基金委组织验收会议,邀请中物院同行专家参加,系统梳理成果,综合评价效益。在NSAF基金宏观管理层面,重视阶段工作的系统总结。2018年第五期协议签署前开展的第四期协议实施情况总结,为第五期协议签订和管理改革奠定了基础;2020年12月,NSAF基金设立实施20周年之际,自然科学基金委数理科学部和中物院科技部联合组织召开NSAF基金20周年交流会,总结经验,查找不足,提出持续优化改革建议。自然科学基金委谢心澄副主任在会议发言中评价,“NSAF基金作为我国稳定实施时间最长的联合基金项目,为集全国基础科学研究优秀力量服务于国家安全和重大战略需求探索了一种卓有成效的可行模式”。

5 未来展望

20年来,NSAF基金坚持需求牵引和问题导向,围绕国家安全领域需求开展基础前沿研究,攻克一批核心关键基础科学技术问题,产出一批重要原创性成果,推动国家安全领域重点学科和新兴交叉学科发展,探索出以自然科学基金项目为载体的军民科技协同新模式,取得了良好的实施成效。当前,在持续深化国家自然科学基金管理改革,落实多元投入机制的形势下,多种联合基金进一步繁荣发展。面向国家重大战略需求、国民经济主战场、人民生命健康,以需求为牵引推动基础科研协同创新是联合基金的共同宗旨,也是联合基金的重要特点。NSAF基金坚持战略指引下的顶层设计和创新,在需求牵引的指南凝练、强化指南交流与宣贯、推动协同攻关、资源共享和成果反馈等方面的管理

探索与实践, 为其他联合基金提供了可行的借鉴与参考。

新时期, 在国际形势复杂变化下, 在国防和军队现代化建设、创新型国家建设的目标指引下, NSAF 基金作为国家安全领域基础科研协同创新的重要平台, 希望赋予其新时期新的内涵和使命:

一是面向未来。面向装备需求中面临的关键问题和具有潜在重要应用价值的领域, 开展“独辟蹊径”类基础性研究, 以期未来 5~10 年内形成核心能力, 为武器装备升级换代和持续提升装备先进性提供支撑。

二是面向变革。面向可能产生“变革性”突破的战略性、前瞻性、颠覆性研究领域, 和当前薄弱/空白领域超前布局, 聚力国防科技自主创新、原始创新, 催生国家安全领域重大原始创新成果, 在国际科技和军事竞争中抢占先机。

三是面向共赢。持续推动军民科技资源共建共享, 以 NSAF 基金为平台扩大中物院具备条件的大科学装置、研究平台对外开放, 汇聚新思想、形成新能力; 持续推动军民深度科技融合, 推动建立成果公

开和共享机制, 探索优秀项目接续资助形式, 支持开展重要成果转化应用研究, 以获得更大的学术、军事和社会效益。

参 考 文 献

- [1] Liu KZ, Wang XF, Liu J, et al. Nitride layers on uranium surfaces. *Progress in Surface Science*, 2018, 93 (3): 47—84.
- [2] Luo LZ, Pan QF, Hu Y, et al. Insight into the initial oxidation of UN_{1.85} thin films. *Applied Surface Science*, 2020, 525(22): 146535.
- [3] 赵继波, 孙承纬, 罗斌强, 等. 磁驱动等熵压缩实验构形的磁流体力学计算模拟. *力学学报*, 2014, 46(5): 685—693.
- [4] 王桂吉, 赵剑衡, 孙承纬, 等. 磁驱动准等熵加载装置 CQ-4 的加载能力及主要应用. *实验力学*, 2015, 30 (2): 252—262.
- [5] Song ZH, Sun T, Wu J, et al. System-level simulation and implementation for a high Q capacitive accelerometer with PD feedback compensation. *Microsystem Technologies*, 2015, 21(10): 2233—2240.
- [6] Xu YG, Wang Q, Shen C, et al. A series of energetic metal pentazolate hydrates. *Nature*, 2017, 549: 78—81.

A Review of the Fund Support and Management of NSAF for 20 Years

Wang Na^{1†} Li Huihong^{2†} Lin Ting³ Liu Dongyan^{1*}

1. *Department of Science and Technology, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900*

2. *Department of Mathematical and Physical Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing 10085*

3. *Science and Technology Information Center, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900*

Abstract The National Safety Academic Fund (NSAF) was established by the National Natural Science Foundation of China and China Academy of Engineering Physics. NSAF supports basic scientific research focusing on the requirement of national safety. NSAF attracts the scientific and technological forces in China, and has produced a number of important basic scientific research achievements in special materials, energetic materials, precision physics experiment ability, test and diagnosis ability under extreme conditions, et al. We review the fund support and management of NSAF in the past 20 years (2001—2020), sort out the achievements supported by NSAF, ummarizes and reviews the exploration and practical experience of continuous reform and innovation, and prospect the future of the fund.

Keywords NSAF; Joint Fund; national safety; focusing on the requirement; basic scientific research

(责任编辑 李华一)

* Corresponding Author, Email: liudy@caep.cn

† Contributed equally as co-first authors