

美国大科学计划和工程管理的制度与模式 ——以美国 NSF 大型研究设施建设计划为例

仲平¹, 李昕², 汪航¹

(1. 中国21世纪议程管理中心, 北京 100038;

2. 中国科学技术部, 北京 100862)

摘要: 凭借强大的整体科技实力和长期的巨额科研投入, 美国引领着几乎所有重要领域的大科学研究与国际合作。本文梳理了20世纪中叶以来美国国内关于国际大科学项目的态度变迁, 分析总结了美国大科学项目组织和管理体系的4个特点: 并未制定国家层面的大科学规划; 国际大科学合作是国内大科学项目管理体系的有机组成; 项目酝酿组织自下而上, 由科学界驱动; 管理与决策程序细致公开透明。本文还以美国国家科学基金会大型研究设施建设计划为例解析了美国大科学项目的组织、资助与管理模式, 以期为中国牵头组织国际大科学计划和大科学工程有关工作提供借鉴和参考。

关键词: 美国; 大科学计划; 大科学工程; 大型研究设施建设计划;

中图分类号: G327.712 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2017.11-12.008

国际大科学工程和国际大科学计划名称相近, 但有明显区别。国际大科学工程一般指为了解决或验证某一重大科学技术或工程问题, 多国联合出资建造和运行一个新的科学研究设施。设施建成后将成为国际科学技术与工程合作的平台, 设施所在国称为该国际大科学工程的东道国。国际大科学计划类型多样, 可以是国际组织或多国联合发起的国际联合研究计划, 或是多国出资建立基金联合资助研发活动, 还可以是多国以联合观测、共享数据为目标的科学合作, 往往侧重研究阶段的数据共享与合作, 不涉及联合出资新建大型的科学装置或设施。相比国际大科学计划, 国际大科学工程的筹备、组织和实施往往更为复杂。本文聚焦美国政府主导组织和发起的相关大科学工程和大科学计划(以下简称大科学项目), 以其共性特征为主进行介绍和分

析, 并以美国国家科学基金会(NSF)为例解析美国大科学项目相关制度体系和管理模式。

1 美国国内关于国际大科学项目的态度变迁

“大科学”(Big Science, 或称 Mega Science) 是美国科学家于20世纪60年代早期首先提出的概念, 一般指研究目标宏大、投资强度巨大、多学科交叉、参与科研人员众多且多需要先进复杂实验装置的研究类型^[1]。其中, 研制原子弹的“曼哈顿计划”被认为标志着大科学时代的开始, 此外国际空间站(ISS, 1998年首舱升空)、欧洲核子研究中心(CERN)大型强子对撞机(LHC, 2009年运行)、人类基因组计划(HGP)、国际热核聚变实验堆(ITER, 建设中)等均是美国发起或参与的典型国际大科学项目。美国大科学项目组织管理架

第一作者简介: 仲平(1979—), 男, 工学硕士, 理学硕士, 副研究员, 主要研究方向为科技政策与管理、环境管理、气候变化、可持续发展等。

通讯作者简介: 汪航(1975—), 男, 国际开发硕士, 主要研究方向为科技政策与管理、气候变化、可持续发展等。邮箱:wanghang@acca21.org.cn

收稿日期: 2017-11-15

构高度复杂, 层级多, 多依托国立科研机构 and 大学来实施, 主要集中在高能物理、核物理、能源、空间科学、天文学、生命科学、环境、海洋、极地、地质等领域。

美国国内对将更多资源投入“小科学”还是“大科学”一直存在争议, 但凭借强大的整体科技实力和巨额的科技投入, 美国引领着几乎所有重要领域的大科学研究。到 20 世纪 90 年代, 美国在大科学领域的研发投入基本稳定在联邦年度研发投入的 10%~12% 左右^[2]。尽管当时围绕大科学设施运行阶段的具体研究合作已相对普遍, 但出于对自身实力的自信和相关大科学项目的战略敏感性, 美国直到 20 世纪 90 年代一直多以独立支持的方式设计和建造大科学项目, 依托有关国家实验室建成了费米直线加速器(1967)、聚变能托克马克装置(1978)、斯坦福直线对撞机(SLC, 1987)、连续电子束加速器(CEBAF, 1995)、先进光子源(APS, 1996)等一系列有代表性的大科学设施^[3]。

20 世纪 80 年代以来, 美国对国际大科学合作的态度逐步转变, 开始积极寻求外部合作。这一方面是科技发展规律使然, 基础研究在微观和宏观层面不断深入, 各学科大规模交叉渗透融合, 包括全球变化在内的许多科学问题的范围、规模、成本和复杂性不断扩大, 使国际大科学合作成为一种必然。另一方面原因是随着冷战的结束、全球化的发展和其他国家科技实力的提升, 美国逐步调整了原有“在尽量多的领域建立和维持领先”的科技战略目标, 加之美国国内研发经费增长放缓, 美国开始尝试在天文、空间、高能物理等基础领域开展实质性的国际大科学合作。哈勃太空望远镜(HST, 1990 年运行)、国际空间站、大型强子对撞机、国际热核聚变实验堆等均是这一时期正式启动的国际大科学项目。

1994 年, 美国超导超级对撞机(SSC)的中途下马是本阶段因缺乏国际合作等原因导致失败的大科学项目典型^[4]。超导超级对撞机的设想于 1982 年由美国科学家提出, 旨在建成质能达到 20TeV 的质子对撞机。1986 年, 数百位科学家努力完成核心设计, 经总统批准后于 1987 年正式实施, 项目总预算约 83 亿美元。1988 年完成选址得州并于 1991 年动工兴建。但因建设预算严重超支, 1994

年在已投入近 20 亿美元后被国会立法叫停, 国会批评该项目的理由之一便是缺少外国政府资金的支持, 指责美国政府出于垄断科学前沿并与欧洲核子研究中心竞争的需要, 在项目设计和实施中未与有前景的国家开展合作。

目前, 国际合作已成为美国开展大科学项目的主流模式。美国旨在通过合作分担成本、降低风险, 充分利用各合作方工程技术优势, 解决全球性科学问题, 提高项目成功率。以美国国家科学基金会大型研究设施建设计划(MREFC)为例, 1995 年该计划设立以来支持了各领域的 28 个大科学项目, 都涉及程度不等的国际合作, 不少是全球选点, 共同设计、投资、建设和运行的深度合作。例如, 超导环场探测器(ATLAS)和紧凑渺子螺管探测器(CMS)是为大型强子对撞机建造的两大探测器; 阿塔卡玛大型毫米波天线阵列(ALMA)位于智利, 由美欧等共同出资建设; 双子星天文台(Gemini)位于夏威夷和智利, 由美国、英国、加拿大、智利等国共同出资; 冰立方中微子观测站(Ice Cube)位于南极, 由美国、瑞典、比利时、德国等共同出资; 近期取得引力波重大发现的先进激光干涉引力波天文台(advLIGO)位于美国, 除美国外, 德国、英国和澳大利亚均有投资; 决心号大洋钻探科考船(SODV)是国际大洋发现计划(IODP)的主力钻探科考船之一, 欧盟以及日本、中国、韩国、澳大利亚等国均是该计划成员; 等等。

2 美国国际大科学项目管理的主要特点

经过数十年的管理实践和经验积累, 美国已经形成了相对稳定的大科学项目组织和管理体系, 具有以下特点。

2.1 美国没有国家层面的大科学项目规划, 也没有国家层面的国际大科学项目规划

美国大科学项目相关的管理职能分散在能源部(DOE)、国家航空航天局(NASA)、国家科学基金会、海洋大气管理局(NOAA)、地质调查局(USGS)等具体部门, 各自负责资助相应领域的大科学项目, 因此没有国家层面的大科学项目规划。

不同部门对于大科学项目规划的做法各异。美国国家科学基金会为专门资助基础研究领域大科学

项目设立了 MREFC, 通过发布年度《大设施计划》(Facility Plan)^[5-7], 梳理处于预研、建设和已完成阶段的项目情况, 但未发布规划性文件。美国国家科学基金会认为基础研究各领域的新发现和新进展瞬息万变, 而大科学项目从概念提出到建成运行往往耗时数十年, 不便以规划预设优先领域和项目, 也不希望因规划产生不当的预期或竞争。

其他任务导向 (Mission Driven) 的联邦科技职能部门针对不同领域的大科学项目开展战略研究和调查, 并发布领域层面的规划性质文件和项目建议报告。这些规划和项目建议报告根据预算形势、最新科技进步等因素不定期进行更新。如美国能源部曾于 2003 年发布《面向未来的科学设施: 20 年展望》^[8], 提出 28 项拟于未来 20 年部署的大科学项目 (包括拟以国际合作模式开展的项目), 分为近期优先、中期优先和远期优先三大类别。虽不是规划文件, 但有规划性质。此外, 美国能源部还组织成立各科学领域的咨询委员会不定期开展战略研究, 并以委员会名义发布领域未来大科学重点方向和项目的报告, 例如美国能源部与美国国家科学基金会联合成立的高能物理咨询委员会 (HEPAP) 于 2014 年发布的《为科学发现而建设: 全球背景下美国粒子物理研究战略规划》等^[9]。

美国大科学项目受政府预算的影响较大。值得一提的是, 项目多采取分阶段开展的模式, 即便按时、按要求完成了上一阶段的工作, 也并不确保项目能自动获得资助进入下一阶段 (特别是在建设阶段前)。在预算紧缩的情况下, 许多项目还有可能延长某一阶段的时间, 或者推迟开始下一阶段的工作直至经费到位。此外, 由于很难对不同领域 (甚至是同一领域)、不同规模的大科学项目进行对比和重要性排序, 科学界和政府部门均倾向于根据能争取到的预算额度及项目的紧迫程度来建议或决策哪些项目先行启动。

经费方面, 联邦层面没有针对大科学项目或国际大科学计划的国家预算科目, 近年也缺乏相关的经费统计。部门层面, 美国能源部、国家航空航天局和国家科学基金会是美国最主要的大科学项目资助部门, 但各部门预算往往按照领域 / 计划分配, 一般不针对大科学计划或是国际大科学项目进行专门统计。2016 财年, 美国国家科学基金会投入约 12

亿美元支持大科学项目建设和运行, 其中支持大科学项目建设的 MREFC 预算约 2 亿美元, 各学部资助设施运行经费约 10 亿美元^[10]。美国能源部科学办公室在 2016 财年共投入 53.5 亿美元, 其中不小比例用于其管理的大科学设施的建设和运行, 包括向密歇根州立大学投入 1 亿美元建设稀有同位素束流设施 (FRIB), 向托马斯杰斐逊国家加速器实验室投入 1 亿美元建设 12GeV 连续电子束加速装置^[11], 向国际热核聚变实验堆计划投入预算 1.15 亿美元等。2016 财年, 美国国家航空航天局投入 14.3 亿美元维持国际空间站的运行和研究, 投入 6.2 亿美元建造詹姆斯·韦伯太空望远镜 (JWST)。

2.2 美国大科学项目管理不专门区分国际国内, 国际大科学合作完全整合在国内大科学项目管理体系内

由于美国是世界第一科学强国, 其开展的国内大科学项目处于国际领先水平, 对其他国家具有吸引力, 而近年来美方也欢迎外国参与项目的设计、建设和运行阶段工作并提供资金或实物贡献。这些建在美国国内的大科学项目虽是美方主导, 但在评估时已考虑到其国际影响力及国际参与。对于国际大科学项目, 美方通常根据本国研究规划和优先领域, 在分析收益的基础上遵循“为我所用”的原则来共同发起或参与, 并寻求美国的领导地位或独特作用。美国还通过 G8 科技部长会议设立的研究基础设施高官会 (GSO on GRIs, 成员除 7 国集团的加拿大、法国、德国、意大利、日本、英国、美国外, 还包括澳大利亚、巴西、中国、印度、墨西哥、俄罗斯、南非, 以及欧盟)、经济合作与发展组织 (OECD) 科技政策委员会 (CSTP) 全球科学论坛 (GSF) 等多边渠道来影响国际大科学项目的发起及合作进程, 制定设施开放和数据共享等国际规则。

在这种国内、国际一体化考虑的思维下, 美国并未专门针对国际大科学合作设定相关管理程序, 国际合作作为大科学项目的一个组成部分整体推进, 仅要求有关管理部门在开展国际合作中与主管外交的美国国务院和主管联邦科技政策的白宫科技政策办公室保持政策协调。在国际大科学项目的组织、资助和管理上与国内大科学项目并无二致, 项目的内外部评审和决策均按照统一的标准执行, 国际合作只是增大了项目组织管理上的复杂程度。

以美国国家科学基金会为例, 其《大设施手册》(以下简称《手册》)明确了资助大科学设施的要求和推荐程序, 也包括了大科学项目中涉及国际合作时需要注意的各个方面^[12]。一是处理好“文化冲击”(Culture Shock), 不同合作方在资助、管理、监管、建设和运行大科学项目的程序和要求上存在差异, 要通过全面透明的程序和密切的沟通减少误解。二是尽早开展合作磋商与谈判, 在项目早期就大科学项目的设计、资助、建设和运行中各方的权利义务细节达成一致, 充分考虑项目风险和相关预案。三是各国牵头机构建立有效沟通渠道并保持密切联系, 及时协商处理项目中的各类突发问题。

《手册》要求, 在涉及国际合作的大科学项目早期酝酿阶段, 美国国家科学基金会项目管理部门需通过美国国家科学基金会国际合作办公室与美国国务院、白宫科技政策办公室就合作可能涉及的外交、政治、合作协议等问题进行沟通和协调。《手册》还针对大科学项目联合资助中统一经费核算标准、设立应急资金(Contingency Funds)、考虑汇率变化, 以及合作谅解协议(MOU)的内容框架提出了建议。

2.3 美国大科学项目的酝酿和形成多“自下而上”, 由科技界驱动产生

美国的大科学项目均由科技界驱动产生。美国国家科学基金会、能源部、国家航空航天局等部门均围绕重点大科学领域建立了层次高、覆盖全、代表性强的专业咨询委员会, 如美国国家科学基金会每个学部都设有对应的咨询委员会^[13], 美国能源部设有部长咨询委员会(SEAB), 科学办公室6大科学研究计划均建立了相应的咨询委员会等^[14], 成员可以包括外国知名专家, 在重点领域大科学项目的识别、技术路线设计与选择、可行性论证等方面发挥重要作用。科技界在考虑预算限制的前提下, 经广泛参与和充分讨论, 基于科学优点和技术可行性而达成的项目建议共识, 是政府决策的基础。

以美国国家科学基金会的MREFC计划为例, 所有大科学项目设想均由科研人员提出, 经科技界广泛讨论、长期酝酿形成共识, 得到美国国家科学基金会相关学部(NSF Directorate)初步认可并经美国国家科学基金会MREFC指导委员会审议后, 作为备选项目开展具体设计和论证。设计论证工作在美国

国家科学基金会学部资助下以科学界为主开展, 经MREFC程序审议和批准后进入建设阶段, 建设经费由MREFC计划资助。项目自下而上产生, 其酝酿、设计、论证均由科技界主导; 政府部门负责设定遴选程序、评审标准, 根据优先目标和经费限制决策选定优先支持的项目。相关大科学项目中国际合作的安排往往也源于酝酿讨论期间各国学者之间的交流。

2.4 美国大科学项目管理制度和决策程序细致完善, 且完全对外开放

美国大科学项目管理虽分散在美国能源部、国家航空航天局、国家科学基金会等多个部门, 但各部门管理都遵循程序公开透明、学界广泛参与、科学价值至上、监督执行有力等原则, 全生命周期管理理念贯穿于大科学项目管理始终。透明且相对稳定的程序令科技界能够清楚把握政府要求, 管理领域发展预期, 从而源源不断地输送最优秀的项目设计, 提高国家层面大科学计划管理的效率。

以美国国家科学基金会的大科学项目管理为例, 美国国家科学基金会先后制定了《设施管理与监管指南》和《手册》, 旨在: (1)明确美国国家科学基金会在大科学项目全生命周期各阶段管理中的政策、程序和要求; (2)向美国国家科学基金会管理人员和科技界就如何强化大科学项目的管理和监管提供指导; (3)归纳整理多年来大科学项目管理中的相关经验、教训、最佳实践, 推动管理体系持续优化。《手册》细致地阐释了大科学项目从产生、设计论证、建设、运行到退役全生命周期过程每一阶段中, 包括美国国家科学基金会项目专员、项目提议机构、项目研究团队、项目顾问组、MREFC专家组、国家科学委员会(NSB)、美国国家科学基金会主任在内的相关各方的行为指南, 包括所需遵守的要求、应承担的权利义务、需要注意的方面等。《手册》共200多页, 2007年首次发布后又于2013年、2015年更新。

3 美国国际大科学项目组织、资助与管理实践——以美国国家科学基金会MREFC计划为例

美国国家科学基金会的MREFC计划于1995年设立, 主要支持前沿大科学与工程领域大型研

究设施和设备的购买、建造,包括大型望远镜、科考船、加速器、天文台、观测网络以及地震模拟装置等。单个设施建设成本从数千万美元到数亿美元不等,由 MREFC 账户资助^[12,15]。设施建成后美国国家科学基金会通过研究及相关活动账户(R&RA)提供经费,支持设施的运行、维护、升级和改造。目前,MREFC 计划已支持建设了 28 项大型设施,除南极站项目外,美国国家科学基金会均通过签订合作协议(CA)来授权外部实体(大学、大学联盟或其他非营利性组织)建设、管理和运行大科学设施^[16,17],美国国家科学基金会仅负责监督设施的建设和运行。

3.1 MREFC 计划主要相关人员和组织职责

为了规范 MREFC 计划的管理,美国国家科学基金会建立了科学严谨的内外部咨询和决策机制,明确规定了相关人员或组织的职责,主要包括:

(1) 项目专员(NSF Program Officer)。由美国国家科学基金会相关学部正式雇员担任,一般是该大科学项目领域资深专家,对项目整个生命周期负最主要的监督管理责任,包括推动学术界提出项目建议,组织外部评审,制订和实施项目内部管理计划(Internal Management Plan, IMP),并监督设施建造、调试和运行。

(2) 大型设施项目副主任(Deputy Director for Large Facility Projects, DDLFP)。大型设施项目副主任和大型设施办公室(LFO)共同制定大型设施酝酿、设计、建设到退役全生命周期的政策,负责 MREFC 项目的开发、实施,监督政策执行,确保过程合规。

(3) 项目顾问组(Project Advisory Team)。由熟悉大科学项目的技术、管理、法律、立法和行政事务专家组成,协助项目专员规划、评审和管理大科学项目。

(4) 提议机构(Originating Organization)。提议由 MREFC 账户资助开展大科学项目建设的美国国家科学基金会学部,对项目的酝酿、设计、评审和运行阶段提供资助并实施监管。

(5) 设施专家组(Facilities Panel)。由大型设施项目副主任担任组长,成员均有大科学项目所涉及领域技术或运行经验,负责评审项目内部管理计划,向美国国家科学基金会主任提供是否批准项

目内部管理计划的建议;还负责其他向 MREFC 专家组、主任评审委员会和国家科学委员会提交文件的预审。

(6) MREFC 专家组(MREFC Panel)。组长由美国国家科学基金会副主任担任,成员包括国家科学基金会所有助理主任、各学部负责人、首席财务官、总法律顾问,以及国际合作办公室、立法与公共事务办公室等国家科学基金会下属机构的负责人,全面负责管理 MREFC 大科学项目全过程,审议提议机构提出的大科学项目。

(7) 主任评审委员会(Director's Review Board, DRB)。由美国国家科学基金会副主任、首席财务官等组成,负责审议和批准所有提交国家科学委员会、申请资助的项目文件(包括 MREFC)。

(8) 美国国家科学基金会主任(NSF Director)。拥有 MREFC 账户资助决定的最终决策权,负责批准项目内部管理计划并向国家科学委员会、白宫管理预算局(OMB)及国会提出新的 MREFC 项目建议。批准所有提交国家科学委员会、白宫管理预算局和国会的文件。

(9) 国家科学委员会。依据 1950 年《国家科学基金会法案》建立,由总统任命并经参院批准的 24 名科学家、社会学家和管理专家组成,负责制定美国国家科学基金会各项政策并监督其运行。对于 MREFC 大科学项目,负责制定 MREFC 相关政策,评审和批准 MREFC 账户预算及对各项项目的资助。

3.2 MREFC 计划项目生命周期管理

MREFC 计划将大科学项目的管理分为酝酿产生(Development)、设计论证(Design)、建设(Construction)、运行(Operation)和退役(Termination)5 个阶段,在项目全生命周期不同阶段围绕不同的重点进行监管,各阶段之间和阶段内部设置多个内外部评审和决策环节,确保最具科学价值、最符合国家战略目标、科技界支持度最高、实施条件最成熟的项目才能得到支持。

3.2.1 酝酿产生阶段

酝酿产生阶段一般由美国国家科学基金会相关学部引导、科技界主导,是大科学项目概念提出、广泛讨论、凝聚共识的过程,耗时一般都在 10 年

以上。项目设想酝酿成熟后,由美国国家科学基金会负责该领域的处(Division)通过学部(相当于业务司)向国家科学基金会主任提出针对该设想开展概念设计的申请,国家科学基金会内部正式评估同意后,经国家科学基金会主任批准,该项目正式进入设计论证阶段。据美国国家科学基金会估计,只有约10%的大科学项目设想能够正式进入设计阶段。

若涉及国际大科学合作,则相关国际合作方在本阶段开始建立稳定的官方联系渠道,交流磋商合作意向。

3.2.2 设计论证阶段

设计论证阶段是承接大科学项目从设想到具体建设的重要环节,由提议该项目的美国国家科学基金会学部资助并组织科技界开展,该阶段一般耗时3至5年,经费投入可占项目建设成本的10%以上。鉴于其重要性,美国国家科学基金会又将设计论证阶段细分为概念设计(Conceptual Design)、初步设计(Preliminary Design)和最终设计(Final Design)3个分阶段,各分阶段间开展正式的内外评审,只有通过评审的项目才能继续进行下一分阶段的设计论证。

概念设计的目标是全面阐明项目内容,判定可行性。项目建议方(一般是科研人员)提出概念设计、初步的项目实施计划和资金申请建议,包括成本估算、工程周期预估、风险分析等内容。美国国家科学基金会项目专员负责针对该项目制订内部管理计划和实施计划,组织和实施概念设计评审(CDR)。由MREFC专家组进行评审,经美国国家科学基金会主任办公室批准进入初步设计阶段。

初步设计的目标是明确项目内容并完善项目实施计划,包括确定的项目总成本、关键技术指标、项目工程周期、风险分析和应急预案等。美国国家科学基金会每半年组织一次中期评审,直至进行初步设计评审(PDR)。初步设计评审由项目专员和大型设施项目副主任一起组织,由设施专家组、MREFC专家组和主任评审委员会(DRB)评估技术设计的可靠性、预算和施工计划的完整性,并向美国国家科学基金会主任报告。由美国国家科学基金会主任批准后进入最终设计环节,并提请国家科学委员会将其列入MREFC计划的未

来预算请求。

最终设计的目标是明确项目细节并进一步完善项目实施计划(包括项目建成后进入运行阶段的有关计划),证明项目已准备充分,资金到位即可启动。项目专员和大型设施项目副主任共同组织最终设计评审(FDR),由MREFC专家组和主任评审委员会对项目是否准备充分进行评审,经美国国家科学基金会主任批准进入施工阶段,并提请国家科学委员会批准拨付相关预算的请求。

为保障各环节内外部评审的科学严谨,美国国家科学基金会制定了3个层次的“MREFC计划项目优先度评估标准”。一是由领域研究人员评审项目的科学与技术指标,包括项目科学价值、技术可行性、牵头人资历水平和项目团队管理能力等。二是美国国家科学基金会内部多学科多领域共同评审项目的战略性指标,包括科学突破潜力、服务多学科研究能力、合作方资助承诺、教育和技能培训潜力、建设成熟度等。三是国家层面评估项目的综合性指标,包括引发社会变革的潜力、引发研究方式变革的潜力、拓展基础科学和工程前沿的潜力、维持美国重要科技领域领导地位的潜力、科技界支持度、项目实施紧迫性、时间窗口等。

如果项目未获批准,或者已批准但项目计划不够清晰、施工准备不够充分,国家科学委员会则退回该项目,重新回到初步设计阶段,可在下一年度重新提交给国家科学委员会。据美国国家科学基金会估计,进入设计论证阶段的项目中约有90%能够进入建设阶段。

若涉及国际大科学合作,在本阶段相关国际合作协议应已达成,各国出资规模比例也已明确。

3.2.3 建设阶段

美国国家科学基金会一般通过合同和/或合作协议授予设施建造方承建设施,建设阶段的经费由美国国家科学基金会MREFC账户支持。建设阶段一般持续2至6年,资助总额在1亿美元到8亿美元之间。建设阶段内,项目承担单位(设施建造方)定期向美国国家科学基金会提供财务和技术状况报告,美国国家科学基金会对项目技术指标、成本、进度和管理绩效状况定期进行评审,至少每年评审一次。

若设施建造过程中的费用和/或进度偏离预

定计划，需由变更控制委员会（Change Control Board）对项目不可预见的预算或实施进度进行调整。若涉及项目总费用变化，需由美国国家科学基金会批准；当增加的建造费用超支 20% 或金额超过 1 000 万美元时，需国家科学委员会审批。若涉及国际合作，此阶段的监管、变更、调整程序将更加复杂、耗时。

项目建设完成并经调试运行达到设计要求（包括测试、验收、用户培训、工程研究等），由项目专员和大型设施项目副主任负责组织运行就绪评审（ORR），评审通过并经美国国家科学基金会主任批准后，项目正式进入运行阶段。

3.2.4 运行阶段

运行阶段指设施运行方受美国国家科学基金会委托（通过合作协议等方式）管理大科学设施的日常运行和维护。一般项目运行 20 至 40 年，运行经费由提议该项目的美国国家科学基金会学部通过研究及相关活动账户予以支持，相关总运行成本往往大大超过项目建设成本。设施运行方按照要求每年提交相关运行、财务报告，美国国家科学基金会组织实施年度评审，将有关结果作为合作协议到期后是否仍选择该机构作为设施运行方的依据。

大型设施运行周期漫长，为保持设施持续处于科研前沿，需对相关设备进行升级和更新，所需经费一般作为运行经费由研究及相关活动账户资助。若更新升级资金需求达到 MREFC 账户资助的门槛（超过该美国国家科学基金会学部年度研发预算的 10%），则可向 MREFC 账户申请资金，其批准程序与新建 MREFC 项目相同。例如，先进激光干涉引力波天文台便是在原 LIGO 的基础上申请 MREFC 计划经费进行升级的。

3.2.5 退役阶段

在大科学项目运行阶段的末期，项目专员组织对设施的研究和教育成果、学术界的需要、设施管理和退役成本进行评审，基于相关结果建议是否将该设施退役。退役阶段产生的费用由 MREFC 账户资助。

3.3 MREFC 计划项目预算管理

预算贯穿于大科学项目生命周期的各个阶段，是设施资助建议中极重要的一部分，也是影响最终

授予决定的重要因素。美国国家科学基金会对设施每个阶段的预算内容和详尽程度都有规定，并据此实施管理。

当提议机构（美国国家科学基金会学部）向美国国家科学基金会主任建议通过 MREFC 账户资助一个设施项目时，即承诺为设施运行和使用提供充足的资金。在概念设计阶段，被授予方要以工作分解结构（Work Breakdown Structure, WBS）格式提出相应预算和不可预见费用估算，以及将来设施运行经费估计。在初步设计阶段，设施总费用估算必须有充足的不可预见费以覆盖尽可能多的可预见风险，一旦有超出不可预见费的费用增加，将通过减少项目内容来进行调整。

建造预算包含设施调试、测试、验收和调试运行过渡期的费用，所有信息技术费用（包括硬件、软件、维护、升级和运行的初始费用和持续费用），以及不可预见费，同时包括为项目管理、工作人员活动和培训提供的充裕的资金。对于部分需要在建造活动全部完成之前即开始运行的设施，运行经费预算和建造预算分开编制管理。

3.4 MREFC 计划项目监督管理

报告和评审是美国国家科学基金会发挥其监督作用的重要方式。在建设阶段，设施承建方按月或按季度提供报告，并在规定时间提供年度报告。项目专员负责将报告信息总结提交给大型设施项目副主任，再由其提交美国国家科学基金会首席财务官和主任办公室。

在运行阶段，美国国家科学基金会每年组织一次运行评审，评审设施是否完成年度计划目标，讨论面临的运行挑战。运行评审一般在设施现场进行，组织外部评审专家开展，并形成正式书面报告。

除运行评审之外，美国国家科学基金会每 5 年对设施进行系统绩效评估，旨在保证业务系统（人员、工作流程和技术）能满足大型设施的行政管理要求，确认已制定行政、财务政策和程序，评审这些政策和程序是否符合白宫管理预算局的要求、美国国家科学基金会的期望以及其他适用的联邦法规。业务系统评审由美国国家科学基金会的大型设施办公室负责，采用文件评审和现场访问的方式。如果设施的资助水平、管理、范围

或大型设施任务发生重大变化或者处于阶段过渡期(设施从建造过渡到运行和维护), 业务系统评审将更频繁。

4 启示

中国共产党的十八届五中全会提出了“积极提出并牵头组织国际大科学计划和大科学工程”的重大决定, 国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要提出要“积极提出并牵头组织国际大科学计划和大科学工程, 建设若干国际创新合作平台”, 《国家创新驱动发展战略纲要》也提出“积极参与和主导国际大科学计划和工程”。在全球新一轮科技革命、产业变革加速演进的当前, 提出并牵头组织国际大科学计划和大科学工程是增强我国自主创新能力的重要举措, 是提升我国国际科技竞争力和培育高层次科技人才的重要抓手, 也是增强国家创新体系的开放性、构建深度融合开放创新格局的重要手段^[18]。

近期召开的 2018 年中央全面深化改革领导小组第二次会议审议通过了《积极牵头组织国际大科学计划和大科学工程方案》, 预示着我国组织发起国际大科学计划和大科学工程将进入实质推动阶段。他山之石, 可以攻玉。在筹划和部署相关工作时, 可充分研究借鉴美欧发达国家组织开展大科学计划和管理模式和经验, 审慎务实推进。■

参考文献:

- [1] Alvin M Weinberg. Impact of large-scale science on the United States [J]. Science, 1961, 134 (3 473): 161-164.
- [2] Genevieve J Knezo. Major Science and Technology Programs, Megaprojects and Presidential Initiatives, Trends Through FY 1996 [R]. Washington DC: Congressional Research Service, 1995.
- [3] US Congress, Office of Technology Assessment. International partnerships in Large Science Projects[EB/OL]. [2017-09-20]. <https://www.princeton.edu/~ota/disk1/1995/9527/9527.PDF>.
- [4] 张九庆. 从超导超级对撞机(SSC)看大科学工程研究的实施[EB/OL]. (2005-06-13) [2017-09-20]. http://www.lssf.cas.cn/glyj/201108/t20110823_3326447.html.
- [5] NSF. Facility plan 2005[EB/OL]. [2017-09-20]. <http://www.nsf.gov/pubs/2005/nsf05058/nsf05058.pdf>.
- [6] NSF. Facility plan 2007[EB/OL]. [2017-09-20]. <http://nsfnf.gov/pubs/2007/nsf0722/nsf0722.pdf>.
- [7] NSF. Facility plan 2008[EB/OL]. [2017-09-24]. <http://www.nsf.gov/pubs/2008/nsf0824/nsf0824.pdf>.
- [8] DOE/SC. Facilities for the future of science: a twenty-year outlook[EB/OL]. [2017-09-24]. http://fire.pppl.gov/doe_20yr_science.pdf.
- [9] HEPAP. Building for Discovery: Strategic Plan for US Particle Physics in the Global Context[R/OL]. [2017-09-24]. http://science.energy.gov/~media/hep/hepap/pdf/May-2014/FINAL_P5_Report_Interactive_060214.pdf.
- [10] NSF. NSF FY 2017 major multi-user research facilities budget[EB/OL]. [2017-09-24]. http://www.nsf.gov/about/budget/fy2017/pdf/33_fy2017.pdf.
- [11] American Institute of Physics. FY 2016 appropriations: Department of Energy Office of Science[EB/OL]. [2017-09-24]. <https://www.aip.org/fyi/2015/fy-2016-appropriations-department-energy-office-science-grow-56>.
- [12] NSF. NSF large facility manual[EB/OL]. [2017-09-24]. <https://www.nsf.gov/pubs/2015/nsf15089/nsf15089.pdf>.
- [13] NSF. Directorate and Office Advisory Committees[EB/OL]. [2017-09-24]. http://www.nsf.gov/about/performance/dir_advisory.jsp.
- [14] DOE. Federal Advisory Committees[EB/OL]. [2017-09-24]. <http://science.energy.gov/sc-2/federal-advisory-committees>.
- [15] 贺飞. NSF 主要研究设备和设施建造计划简介[EB/OL]. [2017-09-24]. <http://blog.sciencenet.cn/blog-1015-949863.html>.
- [16] 杨春霞. 美国国家科学基金会设施的管理及启示[J]. 中国科学院院刊, 2015, 30 (3): 347-353.
- [17] NSF. Use of Cooperative Agreements to Support Large Scale Investment in Research, A Report by a Panel of the National Academy of Public Administration for the National Science Foundation, 2015[R/OL]. [2017-09-24]. http://napawash.org/images/reports/2015/NSF_Phase_2_Comprehensive_Report.pdf.
- [18] 赵俊杰. 国外发起和参与大科学项目的相关情况研究[J], 全球科技经济瞭望, 2017 (1): 21-28.

(下转第 73 页)

- 行模式分析[J]. 全球科技经济瞭望, 2015(11): 67-70.
- [2] 龚惠平. 俄罗斯国家科学中心[J]. 全球科技经济瞭望, 2006(7): 61-64.
- [3] 柳梧委. 俄联邦国家科学中心现状[J]. 全球科技经济瞭望, 1995(4): 64-65.
- [4] 傅勇, 杨华. 俄罗斯的产学研协同机制[J]. 中国高等教育, 2014(19): 61-63.
- [5] 戚文海. 转轨时期俄罗斯政府在技术创新中的地位与作用[J]. 中国软科学, 2005(11): 52-58.

Research on the Cooperative Innovation Mechanism of Russia's National Science Center

WANG Zhen¹, LI Bin¹, LIANG Zhen²

(1. China Institute of Marine Technology and Economy, Beijing 100081;

2. School of Public Policy and Management, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract: National Science Center of Russia has played a key role in advancing the defense technology and developing weapon equipment, as well as building the defense industry capabilities. Promoting the cooperative innovation is an important part of its efforts to maintain the potential and technological advantage. This paper investigates the major aspects and practices of the Russian National Science Center's collaboration with domestic and international universities, companies and scientific institutes, and puts forward some suggestions on how to promote relevant the open and sharing work in China.

Key words: Russia; National Science Center; open sharing; cooperative innovation

(上接第50页)

The Management of Big Science Projects in the U.S.: the Example of NSF's MREFC Account

ZHONG Ping¹, LI Xin², WANG Hang¹

(1. The Administrative Center for China's Agenda 21, Beijing 100038;

2. Ministry of Science and Technology of China, Beijing 100862)

Abstract: The U.S. is leading the big science projects and related international cooperation in almost all fields of the science domain, thanks to its overall predominant capacity on science and technology, and the long-term and steady investment in big science. This paper analyzes the development of big science projects in U.S. since 1950s. And it summarizes the U.S. big science project management system with 4 characteristics: there is no national level big science project planning; international cooperation is integrated into the overall domestic management system; projects are formed via bottom-up approach and driven by science community; open, transparent and detailed management and decision making processes and procedures are established. Finally, the paper elaborates further on how big science projects are identified, developed, prioritized, and selected for funding with the NSF MREFC Account as an example, in the hope of shedding lights on the endeavor proposed by China to sponsor big science international cooperation projects in the coming years.

Key words: U.S.; Big Science; Mega-Science; large-scale research facility building project