

美国联邦政府推动量子信息科技的政策和布局

谷峻战¹, 王滨勇²

(1. 中国科学技术信息研究所, 北京 100038;

(2. 山东省生态环境监测中心, 济南 250012)

摘要: 2018 年通过的《国家量子法案》被认为是美国量子研发事业发展的里程碑, 标志着美国联邦政府正式介入这一蕴藏着巨大机会、有可能改变科技和经济竞争格局的新兴领域。美国政府从基础研究、人才培养、与产业界合作、基础设施、国家安全和经济增长、国际合作等几个方面统筹推进, 既强调基础科学和人才, 也考虑到未来的产业化和供应链, 力图打造一个产学研紧密结合的量子生态体系, 同时也开展了相应的投资和布局。美国这种规划未来产业的做法值得我国学习和借鉴。

关键词: 美国; 量子信息科技; 国家量子法案; 量子跃迁挑战研究所; 量子信息科学中心

中图分类号: G321; TN918.1 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2022.05.003

量子信息科技集合了量子力学和信息理论的概念, 它的兴起会极大地改变未来计算机、通信、传感和测量等诸多领域的面貌, 可能引发“第二次量子革命”(相对于催生了晶体管、激光、核磁共振、全球定位系统等技术的“第一次量子革命”而言)。因而与人工智能一样, 量子信息科技被认为是 21 世纪最重要的前沿科技之一。近年来, 美国明显加大了对量子信息科学和技术 (Quantum Information Science and Technology, QIST) 的支持力度。2018 年 12 月, 时任总统特朗普签署了由第 115 届国会两院提交的《国家量子法案》(National Quantum Initiative Act, NQI)。法案授权联邦政府部门和机构建立一系列中心来推动量子信息科学 (Quantum Information Science, QIS) 领域的进步。从投入上看, 2019 财年 (《国家量子法案》签署后的第一个财年) 美国政府为量子信息科学研究拨款 4.5 亿美元、2020 财年超 6 亿美元、2021 财年估计接近 8 亿美元, 2022 财年申请的预算已接近 9 亿美元 (见图 1)^[1], 呈逐年上升之势。而即将

出台的《2021 年美国创新和竞争力法案》也将大幅增加对量子基础设施和相关人才培养的投入。

可以说, 《国家量子法案》确立了美国联邦政府组织开展量子信息科学研发的架构, 除设立相应的协调机构和委员会外, 还投资建立新的科研机构, 如量子信息科学中心、量子跃迁挑战研究所 (Quantum Leap Challenge Institutes, QLCI) 等。这标志着除了私营企业 (如 IBM、谷歌、霍尼韦尔、Rigetti Computing、D-wave 等) 外, 美国联邦政府正式加入推动量子信息科学发展的行列。其主要措施如下。

1 成立国家量子信息科技协调机构

国家量子信息科技协调机构包括: 白宫国家量子协调办公室 (The White House National Quantum Coordination Office, NQCO) 和国家科学技术委员会量子信息科学分委会 (NSTC Subcommittee on Quantum Information Science, SCQIS)。

白宫国家量子协调办公室根据 2018 年《国家量

第一作者简介: 谷峻战 (1970—), 男, 副研究员, 主要研究方向为国际科技政策与管理。

收稿日期: 2022-02-24

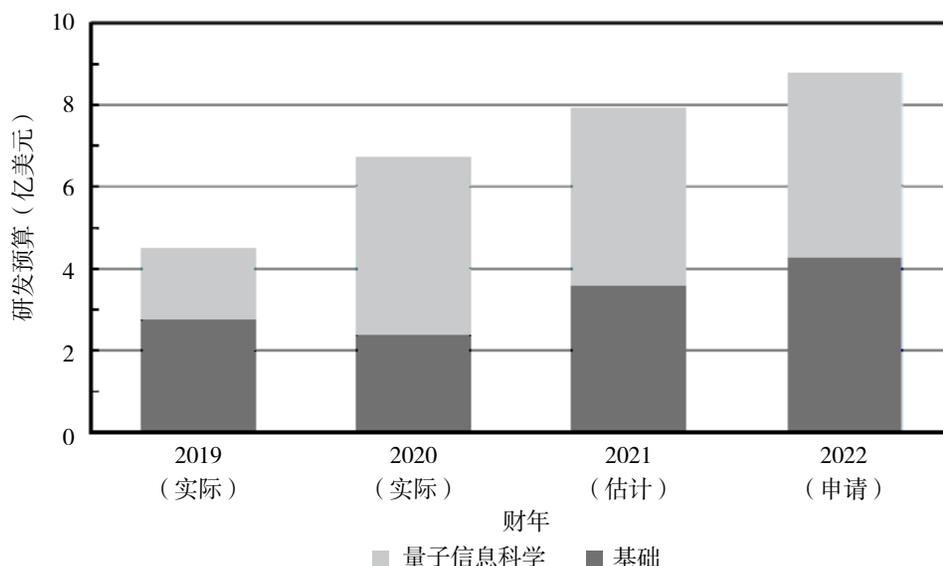


图1 美国量子信息科技研发预算

子法案》成立，设于白宫科技政策办公室（OSTP）内，负责协调整个联邦政府内与量子信息科学研究开发相关的事宜，也充当量子信息科学的联系机构。办公室主任及成员均来自白宫科技政策办公室。

国家科学技术委员会量子信息科学分委会由总统根据《国家量子法案》授权在国家科学技术委员会（National Science and Technology Council, NSTC）下设立，在国家科学技术委员会的科学委员会（Committee on Science）下负责协调美国联邦政府在量子信息科学和相关技术领域的研究开发工作。主席由来自白宫科技政策办公室、国家科学基金会（NSF）、国家标准技术研究院（NIST）和能源部（DOE）的代表共同担任。成员则来自更多的机构，包括国家航空航天局（NASA）、国防部（DOD）、国立卫生研究院（NIH）、国家情报总监办公室（ODNI）、美国专利商标局（USPTO）、空军研究实验室（AFRL）、白宫管理和预算办公室（OMB）、国土安全部（DHS）等。

2 推进量子信息科技的相关政策与举措

为推进量子信息科技的发展，美国联邦政府出台了相应政策。2018年9月，国家科学技术委员会量子信息科学分委会推出《国家量子信息科学战略总览》（National Strategic Overview for QIS），提

出推进量子信息科学研究从六大领域入手，分别是科学、人才、产业、基础设施、安全和国际合作（见图2）^[2]。

2.1 科学研发布局

美国学界、商界普遍认为，量子信息科学是有着巨大潜力的革命性技术，但需要大量投资基础研究来探索其中的基本原理，以夯实其技术基础。因此在量子信息科学的科学发展上保持领先是美国的既定政策。为此，2020年10月，在吸收和采纳量子信息科学专家意见的基础上，国家科学技术委员会量子信息科学分委会与白宫国家量子协调办公室联合发布了《量子前沿报告》（Quantum Frontiers Report），提出了政府、私营部门和学术界未来要尽力取得突破的八大量子信息科学前沿领域，分别是：

- 扩大量子技术机会以造福社会；
- 确立量子工程学科；
- 针对量子技术的材料科学；
- 通过量子模拟探究量子力学；
- 利用量子信息技术开展精确测量；
- 为新应用生成和分发量子纠缠；
- 表征并减轻量子偏差和错误；
- 利用量子信息科学理解宇宙。

2.2 人才（劳动力）培养

与其他学科一样，美国量子信息科学领域的人



图2 美国《国家量子信息科学战略总览》

人才培养依赖于对基础研究的长期稳定投资和大学、实验室及相关产业创造的工作机会。

国家科学技术委员会量子信息科学分委会设立了一个跨部门量子人才工作组（IWG on Workforce），负责与教育界、产业界及量子经济发展联盟（QED-C）等利益相关部门进行接洽，协调各联邦成员机构在人才培养方面的事宜。

国家科学基金会、国家标准技术研究院、能源部、国家航空航天局等均设立自己的研究中心和项目，因此在人才培养方面也都有各自的规划。特别是国家科学基金会，由于其本身是人才培养的主要资助者，且认识到量子信息科学领域的跨学科性质，因此成立了一个工作组，以便在基金会的几个技术理事会间开展协调。例如，Q-12 教育伙伴计划是由国家科学基金会和国家量子协调办公室领衔的公私合作项目，目的是推动量子共同体（或社区）的形成和发展。这一伙伴计划的成员主要负责量子信息科学的教育和普及推广。相关领域教师的培训也已经于 2021 年夏天开展，由 NSF 和 Q-12 伙伴计划提供支持。

国家标准技术研究院也设立了一系列项目支持研究生和博士后，比如通过其分别与几所大学联合成立的研究机构（与科罗拉多大学联合成立的吉拉研究所、与马里兰大学联合成立的联合量子研究所及与马里兰大学联合成立的量子信息与计算机科

学联合中心等）进行支持。

能源部将量子信息科学内容纳入由其科学办公室负责的研究生研究（Graduate Student Research）活动项目。能源部的国家实验室组织各类夏校、实习及其他机会来普及和提高对量子信息科学领域的教育培训。能源部也通过“计算科学研究生奖学金”等项目，积极扩大对量子信息科学领域学生的支持。

2.3 与产业界深度合作

将科学发现成功转化为可实际应用的技术是一件极具挑战性的任务，它要求科学家、工程师、开发人员、风险投资家、创业者、制造商和客户在创新系统中紧密合作。美国政府推出的《国家量子信息科学战略总览》及《国家量子法案》都认为政产学联盟是推进新兴技术市场化、确立竞争前研究重点和方向、建立规范和标准的重要机制。为加快研究成果向实际应用转移，美国联邦政府机构围绕《国家量子法案》采取以下步骤来支持或参与与产业界的合作。

国家科学技术委员会量子信息科学分委会建立了“最终用户跨部门工作组”（End-User Interagency Working Group），试图将量子信息科学技术的开发者与其潜在的早期使用者联系起来。该工作组的目标之一是帮助其他政府部门了解量子信息科学领域的机会，开发潜在的应用。另外，无论

是能源部领导的量子信息科学中心还是国家科学基金会资助的量子跃迁挑战研究所都有产业界的合作伙伴，将有利于实现技术商业化。

2.4 基础设施建设

量子信息科学领域需要日益复杂的实验和技术设备供研究人员开展更深的探索。科研基础设施仍旧是吸引合作的基础。

能源部的量子信息科学中心和国家科学基金会的量子跃迁挑战研究所都可以看作是《国家量子法案》对量子信息科学基础设施的重大投资。

2.5 维护国家安全和经济增长

美国早已认识到量子科技对于未来国家安全和经济增长的意义，因此在成立国家科学技术委员会量子信息科学分委会的同时，还在国家科学技术委员会下设立了“量子科学经济和安全影响分委员会”（Subcommittee on Economic and Security Implications of Quantum Sciences, ESIX）。该分委会在层级上与国家科学技术委员会量子信息科学分委会并列，主席由国防部、国家安全局（National Security Agency, NSA）、能源部和白宫科技政策办公室共同担当，主要为应对量子信息科技中涉及经济和国家安全问题提供论坛。

2.6 推进国际合作

国际合作不仅有利于促进科技进步，还有利于增进国家间的信任和了解。美国持续鼓励国际合作，数家美国机构已经与其国际伙伴共同开展联合项目。

美国和日本于2019年12月共同签署了《量子合作东京声明》（Tokyo Statement on Quantum Cooperation）。

国家科学技术委员会量子信息科学分委会和白宫科技政策办公室与美国国务院相协调，促进量子信息科学领域国际合作，目前推动的事项主要包括：

美国-澳大利亚量子产业对话，召集双方产业界、学术界及政府相关方的代表分享对量子产业竞争力方面的看法，创造有利于提升双方私营部门合作及公私合作的方式。

美英量子工作组对话（United States-United Kingdom Quantum Working Group Dialogue）集合了双方跨部门利益相关者，探讨从基础研究、市场培

育到人才培养的合作。

国家标准技术研究院还参与了量子信息科学技术国际标准的制定。

3 美国联邦政府量子信息科技布局

同国家纳米技术计划的实施一样，美国政府试图通过引导和投资打造一个包含政府部门、学术界（含联邦资助的研究开发中心 FFRDCs）和产业界的量子信息科技生态体系。根据《国家量子法案》，国防部、国家航空航天局、国家高级情报研究计划署（IARPA）等均有各自的任务，但负有最特殊使命的是国家标准技术研究院、国家科学基金会及能源部。

3.1 国家标准技术研究院

美国国家标准技术研究院的主要使命是通过推进度量科学、标准和技术的进步来促进美国的创新和提升美国的产业竞争力。国家标准技术研究院当前的关注重点在于精密测量和网络安全研究，其在很大程度上可以被视作美国商务部直属的国家实验室。在《国家量子法案》授权下，国家标准技术研究院在保持其原有的量子信息科学研究项目的同时，还负责建立和协调量子技术及其未来的产业供应链联盟，因此它在帮助制定未来量子科技的标准方面或将起到重要作用。

量子信息科技是量子物理和计算理论结合的产物，美国国家标准技术研究院在这两大领域都有长期探索。目前，国家标准技术研究院开展的与《国家量子法案》相关的量子信息科技研发活动如下：

国家标准技术研究院发起成立了量子经济发展联盟，成员来自企业、非营利组织、学术机构等。其使命是在量子信息科技还未成熟的情况下，探讨建立未来量子经济的产业链问题，以确保和扩大美国在这一领域的领先地位。量子经济发展联盟指导委员会既包括来自大企业的代表，也包括来自小企业和初创企业的代表，以及来自国家标准技术研究院和能源部两个政府部门的代表。量子经济发展联盟的主要任务是就量子信息科技发展中的前沿问题以及在相关人才方面存在的缺口等事关量子信息科技发展的问题进行研讨，寻找解决方案，解决

量子信息科技的发展方向等问题，从而推动整个产业向前发展。活动的主要形式是国家标准技术研究院、能源部及空军研究实验室等参与量子经济发展联盟举办的会议及研讨会，提出自己的见解，并向技术咨询委员会（Technical Advisory Committees, TACS）提供建议。

国家标准技术研究院通过合作研究与开发协议（Cooperative Research and Development Agreements, CRADA）与产业界接洽。该协议便于产业界使用国家标准技术研究院的实验室并加快技术转移。此外，国家标准技术研究院还与全球其他致力于量子测量的国家的测量研究院开展合作，包括确定国际单位制。

目前全球一些最基础的量子信息科学研究由美国国家标准技术研究院与部分顶尖大学合作开展，比如吉拉研究所由科罗拉多大学博尔德分校与国家标准技术研究院于1962年联合成立；联合量子研究所由马里兰大学物理系与国家标准技术研究院、国家安全局物理实验室（Laboratory for Physical Sciences, LPS）联合成立；量子信息与计算机科学联合中心同样由马里兰大学与国家标准技术研究院合作成立。

3.2 国家科学基金会

从20世纪80年代早期量子信息科学被提出伊始，国家科学基金会就开始支持这一领域的研究工作。2016年，国家科学基金会宣布重点资助“10大创意领域”（10 Big Ideas）——即10大前瞻性的研究和试验开发活动。美国政府认为这些领域对于国防、空间探索和经济竞争力都至关重要，“量子跃迁”（Quantum Leap）就是其中之一。目前国家科学基金会支持的许多项目都与此有关，这些研究作为《国家量子法案》的出台奠定了重要基础。在国家科学基金会向美国国会提交的2022财年预算申请中，对量子信息科学领域的支持包括3个目标：（1）回答关键的科学和工程问题，促进对量子现象和系统的理解并将基础知识转化为实际应用；（2）展示用于概念验证的设备、应用、工具或系统，以体现量子优势；（3）培养全能型的量子信息科学人才，从而实现目标（1）和（2）。

《国家量子法案》签署后，国家科学基金会继续加强相关的基础核心研究项目，并成立量子跃迁挑战研究所。根据《国家量子法案》授权，国家科学基金会将在5年内（从2020年开始）获拨7500万美元投资成立3家量子跃迁挑战研究所。这些研究所通过开展多机构参与的跨学科项目，力争在量子信息科学的基础理论和应用领域（包括量子计算、量子通信、量子模拟和量子传感等方面）取得突破，并培养和训练一支熟悉量子技术的人才队伍。2021年又增加了2家，这5家量子跃迁挑战研究所分别是^[3]：

（1）利用纠缠科学与工程量子系统（Quantum Systems through Entangled Science and Engineering, Q-SEnSE），设于科罗拉多大学博尔德分校^[4]。合作伙伴中来自学术界的有哈佛大学、麻省理工学院、斯坦福大学、特拉华大学、新墨西哥大学、俄勒冈大学以及奥地利的因斯布鲁克大学，实验室伙伴有麻省理工学院林肯实验室、国家标准技术研究院、洛斯·阿拉莫斯国家实验室和桑迪亚国家实验室。

该研究所主要致力于解决三方面的挑战。

挑战1：能显示量子优势的超精确传感和测量（Ultra-precise Sensing and Measurement with a Quantum Advantage）；

挑战2：适用于量子信息科学的工程原则（Engineering Principles Applied to Quantum Information Science）；

挑战3：应用于量子传感的国家基础设施（National Infrastructure for Applications in Quantum Sensing）。

（2）混合量子架构与网络（Hybrid Quantum Architectures and Networks, HQAN），设于伊利诺伊大学香槟分校^[5]。该研究所负责建设由小型量子处理器组成的互连网络，开展功能测试以供实际应用。合作伙伴除同样来自美国中西部的学术机构威斯康星大学和芝加哥大学外，来自政府实验室和产业界的伙伴也数量众多，包括麻省理工学院的林肯实验室、空军研究实验室（Air Force Research Lab）、费米国家实验室以及来自产业界的IBM、谷歌、ColdQuanta、Toptica、American Family

Insurance、AdvR、Northrop Grumman、Quantum Opus、Quibitekk、Xanadu、微软、Aliro Quantum Technologies 及 FlexCompute。研究所目前有 40 多位科学家致力于推进量子计算和网络。

(3) 量子计算挑战研究所 (Challenge Institute for Quantum Computation, CIQC)，设于加州大学伯克利分校^[6]，致力于将量子计算机变为现实，研究方向涉及量子算法、可验证的量子优势 (Verifiable Quantum Advantage)、可升级的量子系统 (Scaling Quantum Systems) 等。合作伙伴包括加州理工学院、麻省理工学院、加州大学圣芭芭拉分校、南加州大学、得克萨斯大学奥斯汀分校、加州大学洛杉矶分校以及西雅图华盛顿大学。

(4) 稳固量子模拟研究所 (Quantum Leap Challenge Institute for Robust Quantum Simulation)，设于马里兰大学^[7]，致力于运用量子模拟深刻理解和复杂量子系统。该研究所聚集了马里兰大学、杜克大学、普林斯顿大学、北卡罗来纳州立大学和耶鲁大学 5 家大学的研究人员来合作实现上述目标。

(5) 生物物理和生物工程量子传感研究所 (NSF Quantum Leap Challenge Institute for Quantum Sensing in Biophysics and Bioengineering, QuBBE)，设于芝加哥大学^[8]，致力于打造量子测量和成像系统。合作伙伴包括下一代量子科学与工程中心 (Q-NEXT，能源部 5 家量子信息科学中心之一)、芝加哥州立大学、伊利诺伊大学芝加哥校区、哈佛大学及加州大学圣芭芭拉分校量子工厂、以及 ADAMS NANO、P33、芝加哥量子交易所 (Chicago Quantum Exchange, CQE) 等。

除了以上量子跃迁活动及一些核心项目外，国家科学基金会还支持数家致力于量子信息科学的研究所和中心，包括 4 家物理学前沿中心：加州理工学院的量子信息与物质研究所 (Quantum Information and Matter, IQIM)；哈佛大学和麻省理工学院的超冷原子中心 (Center for Ultracold Atoms, CUA)；马里兰大学的联合量子研究所 (Joint Quantum Institute, JQI) 以及科罗拉多大学的吉拉研究所。

目前，国家科学基金会已经在量子信息科学方面取得了诸多进展。例如，超冷原子中心在 2021 年

7 月宣布开发出全球唯一的 256 个量子位可编程量子模拟器。

3.3 能源部

美国能源部的使命是支持包括但不限于能源相关领域的研究开发并制定能源政策，其研发活动集中体现在其下辖的国家实验室系统。能源部国家实验室因其在量子信息科学相关领域 (例如高能物理、核子物理及材料等) 取得的成就而理所当然被赋予推进量子信息科学的重任，也体现了它们作为美国国家物理科学研究领导者的地位。现今的美国能源部国家实验室多是多学科且多目标的，拥有诸多大型科学实验装置，在开展前沿交叉学科研究方面具有天然优势，往往既开展应用研究，也开展基础研究。但总的来说，与国家科学基金会相比，能源部国家实验室的研究项目距离市场更近。

2020 年 8 月，美国白宫科技政策办公室、国家科学基金会和能源部宣布未来 5 年总共投资超过 10 亿美元在全国范围内建立 7 家人工智能研究所和 5 家量子信息科学中心。能源部计划在 2020 财年到 2024 财年的 5 年间向 5 家量子信息科学中心投入总共 6.25 亿美元，鼓励私营部门和学术机构另外提供 3.4 亿美元^[9]。相比之下，对于人工智能，美国联邦政府只投入 1.4 亿美元。针对此次美国联邦政府在量子信息科学和人工智能投资金额上的巨大悬殊，时任美国能源部副部长 Paul Dabbar 认为，对美国国家利益而言，量子信息科学可能比人工智能更具影响力。5 家量子信息科学中心分别是：

(1) 下一代量子科学与工程中心^[10]，由阿贡实验室牵头，其使命是创建一个量子生态系统，开发可控制和分发量子信息的科技手段，以实现量子互联。同时，建立 2 家国家级量子工厂 (Quantum Foundries，一家位于阿贡实验室，另一家位于加州的 SLAC 国家加速器实验室)，培养量子人才队伍，确立量子标准 (通过建立国家量子设备数据库)，并为量子技术的商业化铺平道路。合作伙伴包括位于芝加哥及邻近地区的芝加哥大学、伊利诺伊大学香槟分校、西北大学、威斯康星大学麦迪逊分校以及位于美国西海岸的斯坦福大学、SLAC 国家加速器实验室、太平洋西北国家实验室等。下

一代量子科学与工程中心积聚了来自3家国家实验室、10所大学以及10家顶尖企业的约100名世界级研究人员，2家量子工厂将致力于为研究和工业提供标准化、高质量的量子材料和设备。下一代量子科学与工程中心主任，同时也是阿贡实验室资深科学家兼芝加哥大学分子工程学教授的David Awschalom认为，上述国家实验室、大学和私营企业间的合作对于建立美国量子材料和设备的供应链以及未来繁荣的量子经济至关重要。2020财年该中心获拨1500万美元，2020—2024财年的经费将视国会拨款情况，但根据《国家量子法案》，这5年能源部将总共为其拨款1.15亿美元。

自20世纪80年代阿贡实验室荣誉退休科学家Paul Benioff首次提出量子计算机的理论框架后，阿贡实验室成为最早探索量子技术的机构之一。目前，阿贡实验室在量子信息科学领域的研究重点主要集中在量子信息材料（用于下一代量子系统的材料，如量子计算和网络架构的基础——量子位）、量子计算、量子传感。鉴于阿贡实验室与费米国家实验室、芝加哥大学所在的芝加哥地区已成为全球开发量子信息技术的重要基地之一，下一代量子科学与工程中心还有一个重要使命，即构建量子信息科学创新生态系统——通过将约100名来自国家实验室、大学和工业界的专家集聚到一起，加速量子科技的商业化，为即将到来的“量子经济”做好准备。

(2) 量子优势协同设计中心 (Co-design Center for Quantum Advantage, C2QA)^[11]，由布鲁克海文国家实验室 (BNL) 领衔，致力于克服“有噪声中尺度量子” (Noisy Intermediate-scale Quantum, NISQ) 计算机系统的局限性，取得在高能物理等领域科学计算中的量子优势。合作伙伴包括太平洋西北国家实验室、麻省理工学院、普林斯顿大学、耶鲁大学、IBM公司等。布鲁克海文实验室的国家同步加速器光源 (National Synchrotron Light Source II) 及功能纳米材料中心 (Center for Functional Nanomaterials) 将为量子优势协同设计中心提供材料学方面的经验和能力，而太平洋西北国家实验室的环境分子科学实验室将提供世界级的成像能力。

(3) 超导量子材料和系统中心 (SQMS)^[12]，由费米国家实验室领导，主要使命是在理解和消除超导2D和3D设备的退相干机制 (Decoherence Mechanisms) 方面取得实质性进展，为建造和部署高级量子系统铺平道路。费米实验室拥有世界级的高能物理实验设施。该实验室在量子网络、超导技术 (腔、材料、系统)、算法和量子传感器以及将高能物理应用于初级量子计算机方面进行了多年探索，尤其在超导腔研究中获得了世界领先的相干时长。

(4) 量子系统加速器中心 (Quantum Systems Accelerator, QSA)^[13]，2020财年获拨款1500万美元、2020—2024财年预计共投入1.15亿美元。该中心由劳伦斯·伯克利国家实验室领导，桑迪亚国家实验室、科罗拉多大学博尔德分校、哈佛大学、加州大学伯克利分校、麻省理工学院、加州理工学院、得克萨斯大学奥斯汀分校、杜克大学、塔夫茨大学、马里兰大学、新墨西哥大学等为主要合作伙伴，致力于协同设计算法、量子设备及工程解决方案。该中心集合了桑迪亚国家实验室在量子制造、工程和系统集成方面的优势以及劳伦斯·伯克利国家实验室在量子理论、设计和开发方面的优势。哈佛大学的一个团队则将领导另一个主攻领域：算法和应用。

(5) 量子科学中心 (QSC)^[14]，由橡树岭国家实验室领导，合作伙伴包括大学 (加州大学伯克利分校、哈佛大学、普林斯顿大学、加州理工学院、华盛顿大学等)、国家实验室 (洛斯·阿拉莫斯实验室、费米实验室、太平洋西北国家实验室) 和企业 (微软、IBM等) 等共16家机构。该中心致力于克服量子态恢复、量子技术可控性及可扩展性方面面临的障碍。橡树岭国家实验室的量子研究可追溯到近20年前，在量子计算 (Quantum Computing)、量子材料 (Quantum Materials)、量子网络 (Quantum Networking) 和量子传感 (Quantum Sensing) 四大领域都形成了自己的核心能力，并取得不少突破，包括创造了量子信息转移的纪录，提高了量子分布系统覆盖的范围，与谷歌协作展示了量子优越性 (Quantum Supremacy) 等。

总的来说，5家量子信息科学中心侧重不同的

技术路线，既有竞争又有合作。如费米实验室领导超导量子材料和系统中心，致力于研发超导量子材料和设备（超导量子系量子计算的其中一种技术路线），同时又在橡树岭国家实验室领导的量子科学中心中担当重要角色——利用该实验室在粒子物理方面积累的成果及先进实验设备开发全新的拓扑量子位（Topological Qubit），后者是下一代量子计算机的基础。从地理分布上看，除在美国东部（量子优势协同设计中心）、东南部（量子科学中心）、西部（量子系统加速器中心）各一家外，位于中西部的芝加哥地区独占两家（下一代量子科学与工程中心及超导量子材料和系统中心）。这可以看做是对该地区近年来在量子科技领域持续耕耘的认可。在传统互联网时代相对落伍的芝加哥地区（特别是相对西海岸的硅谷和东海岸的波士顿等地而言）近年来押注量子科技这一新兴领域，于2020年2月由阿贡实验室与芝加哥大学在52英里长的量子环上实现了光子纠缠，建立了美国最长的陆地量子网络之一。该网络随后被延伸到费米国家实验室，成为一个拥有3个节点、80英里长的试验性网络。同年7月，美国能源部在芝加哥大学发布“量子互联网蓝图”，正式提出10年内开发出一套安全可靠的量子互联网，并能与现有因特网架构共存。该系统的构想是首先连接5家量子信息科学中心，最终连接能源部整个国家实验室系统。美国目前已有两个试验性网络在运行，除了上述的阿贡实验室-费米实验室-芝加哥大学网络外，另一个是布鲁克海文实验室和石溪大学合作的网络。

不过值得注意的是，上述5家量子信息科学中心的合作伙伴中没有谷歌和霍尼韦尔。谷歌和霍尼韦尔均被认为是全球量子领域的顶级企业，而它们的竞争对手IBM公司却成为3家中心的合作伙伴。能源部并未对此做出解释。

3.4 国防部等机构

量子科学是美国国防部的11个现代化重点领域之一，国防部对其已经持续投资了近30年之久。国防部通过其旗下的多家机构、办公室和实验室对基础量子信息科学研究活动予以支持，包括负责研究和工程的副防长办公室、国防先进研究计

划局（DARPA）、陆军研究实验室（ARL）、陆军研究办公室（ARO）、海军研究实验室（NRL）、海军研究办公室（ONR）、空军研究实验室以及空军研究办公室（Air Force Office of Sponsored Research）等。

国防先进研究计划在量子信息科学领域的研究主要包括有噪声中尺度量子设备的优化（Optimization with Noisy Intermediate Scale Quantum devices, ONISQ），陆军研究实验室和陆军研究办公室主要支持分布式量子信息中心建设。负责研究和工程的副防长办公室于2018年增设了量子科学首席主任这一职位，以领导国防部的量子科学现代化工作。

除上述联邦机构外，国家航空航天局、国家安全局、国家高级情报研究计划署都有适应自身业务的量子信息科学研究活动。

4 思考和结论

从以上美国联邦政府对量子信息科技的规划和布局来看，呈现出以下几个特点。

（1）重视基础研究。《国家量子法案》赋予美国国家量子计划10年的实现周期，即希望10年后量子信息科学有实质性的突破，并要求以5年为节点进行评估，以便根据实际情况重新制订战略规划。其中科学被置于首位。国家科学技术委员会量子信息科学分委会认为，基础科学构成了一个国家繁荣和安全的基础，美国在二战后取得的军事和技术主导地位得益于它对科学的大规模投资。目前美国学界、商界对于量子科技的潜力已取得共识——认为它极有可能催生出变革性的技术，但仍需要大力投资基础研究以建立关键的技术基础。历史上对量子力学的探索催生了“第一次量子革命”，产生了原子钟、全球定位系统、激光、晶体管和磁共振成像等改变现代社会面貌的技术。对于已看到曙光的“第二次量子革命”，则仍有许多需要解决的科学问题。因此，美国在量子信息科学领域的政策重点之一是保持在相关领域科学上的领先地位。国家科学技术委员会量子信息科学分委会认为，平衡好特定技术领域和基础科学研究的投入是当前面临的挑战之一。

(2) 强调产、学、研合作，打造全产业链生态体系。对于美国能源部指出的“未来经济竞争力的决定性因素之一，我们输不起”的量子信息科技，美国已感受到来自中国的巨大挑战，因此美国政府动员学界和产业界密切配合、多管齐下，力图在基础研究和应用开发研究方面协同取得突破，在这一新兴的科技领域再次取得支配地位。

美国向来重视产学研结合。无论是能源部的量子信息科学中心还是国家科学基金会的量子跃迁挑战研究所都有自己的产业界合作伙伴，这无疑有利于促进技术成果的实用化和商业化。且国家科学技术委员会量子信息科学分委会的几家参与机构（包括国家科学基金会、能源部、国家航空航天局、国防部等）都运营和管理着小企业创新研究计划 / 小企业技术转移计划（SBIR/STTR）项目。这些项目可为量子信息科学领域的初创企业和小企业提供种子资金，以支持其研发和产业化活动。能源部国家实验室被选作量子信息科学中心承办地，除了是对其在相关领域的研究和设施认可，也符合美国国家实验室成立的宗旨——服务国家战略，填补主要从事基础研究的大学和主要从事商业研发的私营企业之间的中间地带。以国家实验室为核心建设量子信息科学中心，有助于加强技术交流，在量子信息科学前景尚未完全明朗的情况下，共同确定量子信息科学未来发展中的关键问题和重大挑战，简化技术转化流程，形成包含政府（国家实验室）、学术界、产业界在内的量子信息科技生态体系。这样的生态体系也有利于产业链各个环节上的人才培养。美国在实施国家纳米技术计划时的做法也是类似的，值得我国深入研究和借鉴。■

参考文献：

- [1] Subcommittee on Quantum Information Science, Committee on Science of the National Science & Technology Council. National Quantum Initiative Supplement to the President's FY 2022 Budget[R]. Washington, D.C.: Subcommittee on Quantum Information Science (SCQIS), 2021.
- [2] Subcommittee on Quantum Information Science Committee on Science of the National Science &

Technology Council. National Quantum Initiative Supplement to the President's FY 2021 Budget[R]. Washington, D.C.: Subcommittee on Quantum Information Science(SCQIS), 2021.

- [3] National Science Foundation. Quantum information science and engineering research at NSF, NSF quantum leap challenge institutes[EB/OL]. [2022-02-16]. https://www.nsf.gov/mps/quantum/quantum_research_at_nsf.jsp.
- [4] University of Colorado, Boulder. An NSF quantum leap challenge institute[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://www.colorado.edu/research/qsense/>.
- [5] University of Illinois Urbana-Champaign. Propelling quantum information into new era[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://hqan.illinois.edu/>.
- [6] University of California, Berkeley. NSF challenge institute for quantum computation[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://ciqc.berkeley.edu/>.
- [7] The Institute for Robust Quantum Simulation. The NSF quantum leap challenge institute for robust quantum simulation[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://rqs.umd.edu/>.
- [8] NSF QuBBE. Quantum sensing for biophysics and bioengineering[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://qubbe.uchicago.edu/index.html>.
- [9] U.S. Department of Energy. The State of the DOE national laboratories, 2020 Edition[R]. Washington.D.C: U.S. Department of Energy, 2021.
- [10] Argonne National Laboratory. Q-NEXT[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://www.q-next.org/>.
- [11] Brookhaven National Laboratory. Co-design center for quantum advantage[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://www.bnl.gov/quantumcenter/>.
- [12] Fermi National Accelerator Laboratory. Superconducting quantum materials and systems center[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://sqms.fnal.gov/>.
- [13] Lawrence Berkeley National Laboratory. Quantum systems accelerator[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://quantumsystemsaccelerator.org/>.
- [14] Oak Ridge National Laboratory. Quantum science center[EB/OL]. [2022-02-16]. <https://qscience.org/>.

(下转第50页)

- preparation_en.
- [5] European Commission. The long-term and annual EU budget[EB/OL]. [2022-01-01]. https://ec.europa.eu/info/strategy/eu-budget_en.
- [6] 陈媛媛, 赵宏伟. 欧盟与中国科技计划管理机制对比分析及启示 [J]. 科技智囊, 2020 (8) : 71-80.
- [7] European Commission. Horizon 2020 annotated model grant agreement[EB/OL]. [2022-01-22]. https://ec.europa.eu/programmes/erasmus-plus/resources/documents/model-grant-agreement-2020_en.
- [8] 程如烟. 欧盟对“地平线欧洲”计划影响的事前评估 [J]. 科技中国, 2019 (12) : 100-101.
- [9] 蔡立英. 欧盟启动“地平线欧洲”计划 [J]. 世界科学, 2018 (7) : 49-50.

Focus and Trends of EU Research and Innovation Investment in FY2021

PAN Xin-xin¹, SUN Yan-hong², ZHANG Ying¹

- (1. Center for Science and Technology Funds, Ministry of Science and Technology, Beijing 100038;
2. Institute of European Studies of Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100732)

Abstract: The EU is a collection of developed countries. Research and innovation investment at the EU level has become an important source of public scientific research funds and the core driving force of economic growth in the EU region. It plays a very important role in promoting the upgrading of industrial structure in the EU region and promoting regional scientific and technological development. This paper focuses on the total amount, structure and characteristics of EU research and innovation budget in FY 2021, as well as the changes and characteristics of research and innovation budget in FY 2019-2021, so as to provide useful reference for China.

Keywords: EU; research and innovation budget; annual budget; structural characteristics; change trends

(上接第22页)

The Policy and Deployment by the US Federal Government to Advance Quantum Information Science and Technology

GU Jun-zhan¹, WANG Bin-yong²

- (1. Institute of Scientific and Technical Information of China, Beijing 100038;
2. Shandong Provincial Eco-environment Monitoring Center, Jinan 250012)

Abstract: The National Quantum Initiative Act enacted in 2018 is regarded as a milestone of American quantum R&D. It means the US federal government has officially stepped in the emerging field which has the potential to shape the world arena in science and technology and beyond. The US government seeks to build a quantum science and technology ecosystem which can foster institutions, industry and government to work together closely, beginning with scientific research, talent, engagement with industry, infrastructure, national security and economic growth. This approach emphasizes the scientific base and talent pool while taking the future industrialization and supply chain into account. It deserves China to study and learn from.

Keywords: USA; quantum information science and technology; National Quantum Initiative Act; Quantum Leap Challenge Institute; Quantum Information Science Center