

美国国家量子计划实施的特点及启示

朱庆平¹, 吴根¹, 车子璠¹, 刘耀虎²

1. 科技部高技术研究发展中心, 北京 100044

2. 中国科学院前沿科学与教育局, 北京 100864

摘要 美国国家量子计划已实施2年。梳理了该计划相关法案、管理机制、重点领域、经费投入、实施进展等情况, 分析了该计划战略部署、协调推进、多学科平台建设、人才培养和国际合作等方面的做法和特点。提出中国应加强和优化量子科技战略规划和顶层设计、加强统筹协调、构建量子科技创新生态等发展建议。

关键词 美国国家量子计划; 量子科技战略规划; 科技创新生态

量子信息科学(quantum information science, QIS)将量子力学和信息理论统一起来, 探索计算、通信和测量的基本极限。随着量子信息科学、量子工程以及量子产业发展, 世界正处于第二次量子革命的风口浪尖。量子信息科技创新可能对国际战略竞争、国家安全和未来产业带来重大影响, 促使美国加强战略布局, 积极实施国家量子计划, 加速量子信息科学发展。

2021年1月, 美国国家科学技术委员会量子信息科学小组委员会发布第1份“国家量子计划”预算相关的年度报告^[1], 介绍了美国国家量子计划实施2年来组织管理、经费投入、实施进展等情况, 其组织管理的一些机制和做法对中国进一步推动量子信息科学和产业发展有一定参考意义。

1 美国国家量子计划组织管理与投入机制

1.1 立法保障

美国《国家量子计划法案》(National Quantum Initiative Act)规定了国家量子计划总体框架。该法案授权美国国家标准与技术研究院(NIST), 国家科学基金会(NSF)和能源部(DOE)加强量子信息科学研究计划、研究中心和联盟的建设, 要求加强协调管理, 并倡议美国民用、国防和情报部门在量子信息科学研究工作上协调一致。

另外, 美国2019—2021年发布的《国防授权法案》中均规定了量子信息科学研究内容及年度预算, 强化国防相关部门量子信息科学研究计划及研

收稿日期: 2021-04-23; 修回日期: 2021-08-16

基金项目: 科技部科技创新战略研究专项(ZLY201633ZLY201633)

作者简介: 朱庆平, 副研究员, 研究方向为科技政策与科技管理, 电子信箱: zhuqp@htrdc.com

引用格式: 朱庆平, 吴根, 车子璠, 等. 美国国家量子计划实施的特点及启示[J]. 科技导报, 2021, 39(18): 9-14; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.18.001

究中心设立、评估量子计算风险等工作。

1.2 加强计划实施的统筹协调

为了管理和协调国家量子计划,美国按《国家量子计划法案》规定成立了国家量子协调办公室、量子信息科学小组委员会和国家量子计划咨询委员会等协调机构,明确了各自的具体职责。

一是国家量子协调办公室(National Quantum Coordination Office, NQCO),设立于白宫科技政策办公室内,负责协调和支持国家量子计划的日常工作,为量子信息科学小组委员会和国家量子计划咨询委员会提供技术和行政支持,并进行公众宣传,为联邦民用量子信息科学技术活动的协调中枢。

二是量子信息科学小组委员会(Subcommittee on Quantum Information Science, SCQIS)。在美国国家科学技术委员会内下设,由白宫科技政策办公室、国家标准技术研究院、国家科学基金会和能源部共同主持,协调联邦在量子信息科学及相关技术方面的研究与开发。

三是国家量子计划咨询委员会(National Quantum initiative Advisory Committee, NQIAC)。该委员会是按照《国家量子计划法案》要求,总统发布行政令建立,由行业、学术界和联邦政府机构人员组成,谷歌、IBM、微软等大企业均有人员担任该委员会委员。其任务是对国家量子计划进行独立评估,并向总统、能源部部长和SCQIS提出建议,以在审核和修订国家量子计划时参考。

四是量子科学对经济和安全影响小组委员会(Subcommittee on Economic and Security Implications of Quantum Science, ESIX),在美国国家科学技术委员会内下设,由国防部、国家安全局、能源部和白宫科技政策办公室共同主持,与SCQIS并行。该委员会促使有关机构了解量子信息科学的经济和安全意义,并开展量子信息相关研究的国家安全指导。

1.3 从6个方面强化美国在量子信息领域的实力

2018年9月,美国白宫科技政策办公室和国家科学技术委员会发布《量子信息科学国家战略概述》^[2]。美国国家量子计划重点关注6个领域:科学前沿、未来人才的培养、强化量子信息产业互动、关

键基础设施建设、经济增长与国家安全协同推进和促进国际合作。

科学前沿方面:加强量子信息科学研究计划,建立新的量子信息科学中心,并探索量子前沿,提出在量子工程学科、量子技术材料科学、量子力学、量子精确测量、量子纠缠新应用、表征和减少量子误差、量子技术应用和通过量子信息了解宇宙等研究重点^[3]。

人才培养方面:量子信息科学小组委员会协调国家科学基金会、能源部、国家标准与技术研究院及教育界和工业界,加大高中生、大学生、研究生和博士后在量子科学学习和研究方面的支持力度,培育基础广、多元化的人才队伍。

量子信息产业互动方面:建立规范和标准、支持行业合作伙伴建设,促进科技成果转化,培育量子技术相关产业。

关键基础设施建设方面:量子信息研究需要复杂的实验和技术系统,既加强量子退火机、低温量子测试平台、量子计算云平台等硬件建设,也支持量子软件系统架构等软件建设。

维护国家安全与经济利益方面:采用政府协调、适当的知识产权保护和监管措施、开发量子信息技术市场等方法,确保美国实现量子信息科技的经济和安全利益。

促进国际合作方面:美国与日本、澳大利亚、英国等建立了多个层面合作机制,促进科研、人才和资金的流动与紧密合作。

1.4 加大研发投入

近年来,美国将量子信息科学列为联邦政府研发预算优先领域,研发投入逐年增加,2019年为4.5亿美元,2020年为5.8亿美元,2021年为7.1亿美元,并承诺2022年研发预算比2020年翻1倍。

其研究经费主要投入量子传感和计量、量子计算、量子网络、量子技术等领域,其中根据美国量子网络协调愿景^[4],量子网络研究经费投入增加最多。

2 美国国家量子计划主要进展

美国国家量子计划实施2年来,美国国家标准

技术研究院、国家科学基金会和能源部布局了多个量子信息研究项目和研究中心,国防部(DOD)、国家航空航天局(NASA)等也对量子信息科技发展进行重点支持。

2.1 国家标准与技术研究院

该院着重于精密计量和网络安全工作,已发起成立量子经济发展联盟(Quantum Economic Development Consortium, QED-C)^[9],其指导委员会由国家标准与技术研究院、能源部及大型和小型/初创公司的代表组成,成员由企业、非营利组织和学术机构组成,旨在通过建立量子经济所需的未来供应链,打造强大的量子生态系统,推动美国量子研究和产业发展。

2.2 国家科学基金会

国家科学基金会正加强量子信息科学研究,设立量子飞跃挑战研究所计划,支持大规模、跨学科研究项目,2020年7月宣布在未来5年投入7500万美元资助加州大学伯克利分校当前和未来量子计算、科罗拉多大学量子态增强传感和分配、伊利诺伊大学香槟分校混合量子架构和网络等3个研究所^[6];创立量子创意孵化器,支持跨学科团队探索高度创新的、独创性的潜在变革性想法,2019年和2020年资助了9个项目,经费超过3200万美元;设立量子计算和信息科学人才计划,已资助13所大学增设量子信息科学教职^[7]。

2.3 能源部

美国能源部利用其国家实验室,正在加强量子信息计算、仿真、传感和通信研究,并建立新的研究中心。2019年8月,能源部宣布投入6070万美元推进量子计算和网络技术的发展^[8];2020年8月宣布成立阿贡国家实验室下一代量子科学与工程、布鲁克海文国家实验室量子优势联合设计中心、费米国家加速器实验室超导量子材料和系统中心、劳伦斯·伯克利国家实验室量子系统加速器和橡树岭国家实验室量子科学中心等5个量子信息科学研究中心^[9]。

2.4 国防部

量子科学是国防部11个现代化优先领域之一,研发重点涵盖原子钟、量子测量、量子计算和量

子网络的基础和应用研究,支持中型量子设备优化、分布式量子信息中心建设,与Griffiss研究所、纽约州立大学等合作创建创新推进中心等,推动量子科技现代化工作。

2.5 国家航空航天局

NASA已开始探索高速率和高保真的空地量子网络的设计、开发和部署。位于加州硅谷的NASA艾姆斯研究中心量子人工智能实验室是评估量子计算机潜在影响的枢纽,2019年与谷歌公司等合作证明了量子霸权优势,为未来量子计算机的设计提供了关键信息^[10]。

3 美国国家量子计划实施特点

美国国家量子计划实施中,从未来量子产业和国家安全的高度进行战略研究和全面部署,加强统筹协调,全面推进量子科学、人才队伍、关键基础设施、产业等方面的进步,意图争夺量子信息科学和技术的国际领先地位。

3.1 战略部署全面

美国从战略研究、立法、管理、经费预算等方面系统研究和部署国家量子计划,明确量子信息科学研究目标、重点和发展路径,以国会立法的方式确立为期10年的国家量子计划,设立国家量子协调办公室和量子信息科学分委会等专门的组织实施和协调机构,研究经费列入总统年度预算,保障国家量子计划实施。

3.2 多部门协调推进

美国联邦政府10多个部门参与了国家量子计划,为指导落实国家量子计划,国家量子协调办公室协调国家标准与技术研究院、国家科学基金会、能源部等民用量子信息科学研究,国防部及情报部门均是量子信息科学分委会和量子科学对经济和安全影响小组委员会成员单位,共同参与推进量子研究和应用开发。

3.3 注重多学科平台建设

量子科学发展需要跨部门多学科的密切合作,发挥资源整合和学科互补优势,促进数学、物理、信息、材料、化学、工程等领域专家共同解决量子科学

及其工程问题,推动量子研究和产业化发展。为此,能源部依托 11 个国家实验室、39 个学术机构和 14 家企业组建了 5 个研究中心,国家自然科学基金会依托 16 所大学、8 个国家实验室和 22 个行业单位建立了 3 个研究所^[1],打造多学科合作平台,促进量子科技创新链、产业链融合协调发展。

3.4 加强人才培养

量子信息人才短缺,美国《国家量子计划法案》明确要求国家自然科学基金会制定量子信息科学教育计划和目标,国家自然科学基金会已设立量子计算和信息科学人才计划和行业-学术界联合培养研究生计划等,并计划开发适合中小学生阶段的量子信息科学与工程教育资源,为多元化量子信息科技人才需求奠定基础。国家标准与技术研究院和能源部主要通过项目或奖学金支持参与研究的学生和博士后。

3.5 推动国际合作

美国加强量子信息科学国际合作,扩大创新空间,增加全球人才库,促进量子信息科学技术和产业发展。近年,美国通过与日本签署了《东京量子合作声明》,与澳大利亚、英国开展量子产业工作对话,探讨基础研究、产业发展和人才队伍的合作领域,建立双边私营部门和公私合作渠道。另外,联邦机构与非营利机构和大学合作建立开放式创新中心,通过举办“国际量子 U 技术加速器”(International Quantum U Tech Accelerator)项目路演活动^[11],资助量子相关的颠覆性基础研究,加速技术开发并建立国际伙伴关系。

4 建议

近年来,中国对量子科技发展日益重视,“十一五”和“十二五”部署了量子调控研究重大科学研究计划,“十三五”期间设立国家重点研发计划“量子调控与量子信息”重点专项。经过 20 余年的努力,中国在量子通信的研究和应用研究方面已处于国际领先地位,在量子计算方面与发达国家处于同一水平线,在量子精密测量方面发展迅速^[12]。但中国科学家在量子科学方面提出开创性的科学概念和

路径还偏少,部分尖端设备、高端原材料和关键器件受制于人^[13]。

党的十九届五中全会明确提出,要瞄准量子信息等前沿领域,实施一批具有前瞻性、战略性的国家科技项目。“十四五”期间,中国将继续加强量子重大科技计划与实验室体系建设统筹,推动量子科技领域取得重大进展和技术突破。

美国国家量子计划组织实施过程中,从战略研究、立法、管理、经费预算等方面系统部署国家量子计划,实施过程中加强多部门统筹协调,全面推进量子科学、人才队伍、关键基础设施、产业等方面的发展,其有关组织实施机制和举措对中国推动量子科技发展有一定启示借鉴意义。

4.1 加强战略规划和顶层设计

美国加强战略研究,专门设立国家量子计划协调办公室,保障国家量子计划实施。为抢抓量子信息科技发展的重大战略机遇,中国要加快制定国家量子科技发展规划,多部门协调推进,指导科技计划统筹和产业协调发展,促进形成完整的创新研发、成果转化和产业发展链,避免重复分散或同质化现象。

4.2 打造量子科技创新生态

量子科技的发展取决于充满活力的创新生态系统,需要跨部门多学科的密切合作,发挥资源整合和学科互补优势,共同解决量子科学及其工程问题,推动量子研究和产业化发展。中国要加强政府、科研机构、企业和社会资本等方面的资源整合和优化利用,通过探索打造量子科技及产业发展联盟、加强军民融合发展战略支撑国家安全和经济发展、推动量子科学与人工智能等变革性技术的融合发展等方式,锻造政产学研用深度融合的创新生态系统,努力实现更多“从 0 到 1”的原始创新,尽快解决一些“卡脖子”问题。

4.3 完善人才聚集和培养机制

随着量子信息科技和产业发展,中国量子信息科技人才将更加紧缺,人才需求也更为多元化。要进一步加强各类科技计划对青年科学家的支持力度,培养和壮大高端人才队伍;制定量子信息科学教育计划和目标,加强人才储备和梯队建设;完善

海外引才政策,形成多元包容、国际化的量子信息科技人才队伍。

4.4 加强国际交流与合作

当前,美国、欧盟、澳大利亚、英国、法国等国家先后发布了量子科技战略,尽管科技竞争日趋激烈,要积极加强与各国的开放合作,在优势领域牵头或参与量子信息国际标准和治理规则的制订,建立包容互信、互利共赢的双边和多边合作机制,拓展企业、学术机构的民间交流渠道和机会,促进全球量子信息科学和产业良性竞争和协作发展。

参考文献(References)

- [1] Subcommittee on Quantum Information Science. National quantum initiative supplement to the president's FY 2021 budget [R/OL]. (2021-01-14) [2021-01-18]. <https://www.quantum.org/wp-content/uploads/2021/01/NQI-Annual-Report-FY2021.pdf>.
- [2] Subcommittee on Quantum Information Science of the National Science & Technology Council. National strategic overview for quantum information science[EB/OL]. (2018-09) [2021-01-25]. https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018_NSTC_National_Strategic_Overview_QIS.pdf.
- [3] The White House National Quantum Coordination Office. Quantum frontiers: Report on community input to the nation's strategy for quantum information science[EB/OL]. [2021-03-26]. <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/QuantumFrontiers.pdf>.
- [4] The White House National Quantum Coordination Office. A strategic vision for America's quantum networks[EB/OL]. [2021-03-26]. <https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2021/01/A-Strategic-Vision-for-Americas-Quantum-Networks-Feb-2020.pdf>.
- [5] NIST launches consortium to support development of quantum industry[EB/OL]. (2018-09-02) [2021-01-21]. <https://www.nist.gov/news-events/news/2018/09/nist-launches-consortium-support-development-quantum-industry>.
- [6] NSF establishes 3 new institutes to address critical challenges in quantum information science[EB/OL]. (2020-07-21) [2021-01-21]. <https://www.nsf.gov/news/special-reports/announcements/072120.jsp>.
- [7] NSF invests \$9.75 million into growing the academic faculty in quantum computer science and engineering[EB/OL]. (2020-08-01) [2021-01-22]. https://www.nsf.gov/news/news_summ.jsp?cntn_id=301001&org=CISE.jsp.
- [8] Department of Energy announces \$60.7 million to advance quantum computing and networking[EB/OL]. (2020-08-29) [2021-01-22]. <https://www.energy.gov/articles/department-energy-announces-607-million-advance-quantum-computing-and-networking>.
- [9] White House Office of Technology Policy, National Science Foundation and Department of Energy announce over \$1 billion in awards for artificial intelligence and quantum information science research institutes[EB/OL]. (2020-08-02) [2021-01-22]. <https://www.energy.gov/articles/white-house-office-technology-policy-national-science-foundation-and-department-energy>.
- [10] Arute F, Arya K, Babbush R, et al. Quantum supremacy using a programmable superconducting processor[J]. Nature, 2019, 574(7779): 505-510.
- [11] Swayne M. Innovare advancement center announces 18 teams qualified for \$1 million in basic research funding awards from the "Million Dollar International Quantum U Tech Accelerator"[EB/OL]. (2020-09-08) [2021-01-25]. <https://thequantumdaily.com/2020/09/08/innovare-advancement-center-announces-18-teams-qualified-for-1-million-in-basic-research-funding-awards-from-the-million-dollar-international-quantum-u-tech-accelerator>.
- [12] 潘建伟. 迎接第二次量子革命[J]. 前沿科学, 2020, 14(4): 1.
- [13] 吴根, 车子璠, 刘志辉. 厚积薄发构筑量子科学发展新优势[J]. 前沿科学, 2020, 14(4): 5-7.

Characteristics of the United State's National Quantum Initiative and the enlightenment

ZHU Qingping¹, WU Gen¹, CHE Zifan¹, LIU Yaohu²

1. High Technology Research and Development Center, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100044, China
2. Bureau of Frontier Sciences and Education, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100864, China

Abstract The United State's National Quantum Initiative has been implemented for 2 years. This paper reviews the relevant laws, the management mechanisms, the key policy areas, the funding and implementation progress of the National Quantum Initiative, and analyzes the implementation characteristics of the National Quantum Initiative from the aspects of the strategic deployment, the coordinated promotion, the multi-disciplinary platform construction, the Quantum-Smart Workforce and the international cooperation. Finally, some suggestions are put forward to strengthen and optimize China's quantum science and technology strategic plan, promote overall planning and coordination, and establish a quantum technology innovation ecosystem.

Keywords national quantum initiative; strategic planning of quantum technology; science and technology innovation ecosystem ●



(责任编辑 陈广仁)