

欧美量子科技政策及其背后相关 科学家分析

叶珍珍 范琼* 汤书昆
(中国科学技术大学,合肥 230000)

摘要:量子科技是具有极强产业远景和关系国家战略发展的前沿领域,越来越多的国家和地区把量子科技的发展列入国家重点战略。了解量子科技发展强国的相关政策和科学家信息,可以管窥到其在政策制定上的一些特质,也可以为预测下一步的政策制定提供参考。本文梳理了欧盟和美国的量子政策发展轨迹,重点分析了其中最新的重大战略部署以及影响政策制定的相关科学家,通过与我国情况进行对比,为我国未来量子科技政策的制定提出了加快国家战略顶层设计、通过国家项目推动量子产业发展、建设量子科技人才梯队等几点建议。

关键词:量子科技;量子科技政策;欧盟;量子技术旗舰计划;美国;量子信息科学国家战略概述

DOI:10.16507/j.issn.1006-6055.2020.12.007

Analysis of European and US Quantum Science and Technology Policy and the Related Scientists Behind It

YE Zhenzhen FAN Qiong* TANG Shukun
(University of Science and Technology of China, Hefei 230000, China)

Abstract: Quantum technology is a frontier field that has a strong industrial vision and is related to the development of national strategies. More and more countries or regions have included the development of quantum technology in their national key strategies. Understanding the relevant policy formulation and scientist information of the quantum technology development power can give a glimpse of some of the characteristics of quantum powers in policy formulation, and can also provide a reference for predicting the next step of policy formulation. This article combs the development track of quantum policies in the EU and the United States, focusing on the latest major strategic deployments and related scientists who influence policy formulation. By comparing with our own situation, we propose several suggestions for the formulation of our country's quantum technology policy: speed up the top-level design of the national strategy, promote the development of the quantum industry through national projects, build an echelon of quantum technology talents and so on.

Keywords: Quantum Science and Technology; Quantum Science and Technology Policy; EU; Quantum Technology Flagship Project; US; National Strategic Overview for Quantum Information Science

量子科技是近年来重要的新兴技术,越来越多的国家把量子科技作为国家战略级科研方向,在量子通信、量子计算机、量子传感器、量子导航、

量子网络等细分领域也都有突破性进展^[1]。量子科技涉及物理学、数学、计算机科学、工程学等学科,多学科研判均认为其发展势必会影响到科

* E-mail: qfan@ustc.edu.cn

学领域新方向的出现,因此无论是出于民用还是军用,各国都迫切希望能有进一步突破。

在众多国家/地区中,美国一直高度重视量子信息技术的研究,将之作为引领未来军事革命的战略性和颠覆性技术;欧洲作为量子理论的发源地,想要通过实施量子技术旗舰计划引领第二次量子革命。自2016年起,无论是欧盟的量子技术旗舰计划还是美国的《量子信息科学国家战略概述》,都在世界范围内产生了很大的影响。前者是欧盟迄今为止涉及国家最多、投入经费最多、时间跨度最长、覆盖范围最广的量子科技政策,是欧盟相关政策的集大成者,包含了科研领域、人才培养和商业等各个方面。后者与之类似,也有很强的代表性。

欧盟和美国在现代科技发展方面早于我国许多年,在科技政策尤其是新兴领域科技政策的制定上有着更多的经验,包括量子科技领域。我国在量子科技领域虽起步较晚,但发展迅速,在许多方向都有赶超之势,甚至已经领先全球。这得益于我们的举国体制,但在总结自身优势的同时,我们也应该了解他人的发展轨迹,通过与我们的成功因素进行对比,发现其可借鉴之处,以帮助我国量子科技更好地发展。同时,政策制定背后的人,尤其是有行政权力的科学家,对政策的推动起着非常大的作用,一定程度上影响着国家或组织下一步的政策制定,对这些科学家进行研究,了解其学科构成、身份背景等信息,挖掘其特质,可为我国的政策制定提供参考。与政策制定相关的核心科学家应当具有较强的前瞻性、国际视野和影响力,是国家在相关政策制定时找到合适战略点并快速发展、延伸的关键。欧盟量子旗舰计划和美国白宫国家量子战略概述背后的相关科学家都极具代表性,能够包含量子科技领域政策相关的大

部分核心科学家。

因此,本文梳理欧盟和美国的量子科技政策变迁和最新动态,关注欧盟量子旗舰计划和美国量子信息科学国家战略及其背后的核心科学家,进而为我国对量子科技领域的发展研判以及政策支持提出启示。

1 欧盟量子科技重点政策及其背后的核心科学家

量子理论发源于欧洲,欧盟十分看重量子通信技术在国家经济安全等方面的应用潜力,并投入大量资源进行技术研发^[2]。

1993年以来,量子通信的相关研究逐渐从理论迈向实验,并向实用化方向发展。欧盟自1993年起加大量子通信领域的研发力度,并在理论和实验研究上均有突破性进展。研究领域最早聚焦于量子远程传态,2012年实现传输距离10千米光纤传输到143千米隐形传输的突破^[3]。2007—2014年,欧盟专注于量子密码通信和量子密集编码的研究,实现了量子漫步,进行了地球与太空间的信息传输,使卫星和卫星、卫星和地面站间的量子通信成为可能^[3]。

1.1 欧盟量子科技重点政策的制定与演化

欧盟在量子科技方面的政策规划起始于20世纪90年代,量子通信自那以后一直以来都是欧盟的重点发展方向。

2016年3月,欧盟委员会发布《量子宣言》,计划投入10亿欧元来推动量子技术旗舰计划,一半资金由欧盟提供,另一半由成员国提供,而且这10亿欧元将在10年内分给几十个实验室,实际上很难为单一实验室提供足够的支持。《量子宣言》2018年启动量子旗舰计划,主要关注4个细分领域:量子通信、量子模拟器、量子传感器和量

子计算机,并划分出短、中、长期目标进行有计划的研究,并且制定了时间表(表2)^[2]。

2017年,该旗舰计划公布了5个主要领域,包括量子计算机、量子模拟、量子传感与计量学、量子通信和基础量子科学,《量子宣言》中提出的建议大多被接纳。量子通信方面的资金,有一笔给予了由12家欧洲研究所和公司组成的量子互联网联盟,该联盟致力于研发覆盖欧洲大陆的

“量子隐形传态”网络;量子计算机的基金拨给了研究超导电路和真空单离子电磁技术的团队。其他获批项目的名称中也都含有“Q”(Quantum,量子),例如“PhoQuS”(Photons for Quantum Simulation)。此外,部分拟议中的技术比较接近市场应用,例如超精密、便携式原子钟,以及能用于安全网络、芯片大小的随机数产生设备。

2018年4月19日,欧盟委员会正式宣布支

表1 欧盟量子科技政策变迁

Tab.1 Policy Changes in EU's Quantum Technology Policy

政策名称	时间点/跨度	制定机构	主要内容
第五研发框架计划	1999—2002年	欧盟委员会	重点支持量子通信研究
量子信息处理与通信战略报告	2008年发布	欧盟委员会	提出欧洲量子通信的分阶段发展目标
星载量子通信计划	2008年起	欧盟委员会	27个研究组向欧洲航天局生命和物理科学部提交“Space-QUEST”实验方案,将开创超出地面上几个量级测试距离的量子通信和基础物理实验 ^[4]
基于量子密码学的全球安全通信网络开发项目	2008年成立	欧盟12国组建的41个小组	于奥地利维也纳现场演示了一个基于商业网络的安全量子通信系统
量子信息处理和通信:欧洲研究现状、愿景与目标战略报告(10年期)	2010年发布	欧盟	重点发展量子中继和卫星量子通信,实现1000公里量级量子密钥分配
量子宣言:量子技术旗舰计划(10年期)	2016年发布	欧盟委员会	旨在培育形成具有国际竞争力的量子工业,主题领域为量子模拟、量子计算机、量子通信和基础量子科学、量子传感与计量学
量子技术旗舰计划	2018年开始施行	欧盟委员会	长期愿景为建设欧洲量子通信网络,连接所有量子计算机、模拟器和传感器
欧盟量子通信基础设施计划	2019年	欧盟委员会	研发部署未来10年的量子通信基础设施,提升欧盟在量子技术、网络安全和产业竞争的实力
量子旗舰计划-战略研究议程	2020年发布	欧盟委员会	在未来三年推动建设欧洲范围的量子通信网络,完善和扩展现有数字基础设施,为“量子互联网”远景奠定基础

表2 2016年版欧盟量子技术旗舰计划时间表

Tab.2 Schedule of EU Quantum Technology Flagship Project in 2016

时间	量子通信	量子模拟器	量子传感器	量子计算机	材料科学难题
2018—2022	<ul style="list-style-type: none"> • A. 量子中继器核心技术 • 点对点安全量子通信 	<ul style="list-style-type: none"> • 材料中的电子运动模拟器 • 量子模拟器和网络新算法 	<ul style="list-style-type: none"> • 小应用程序量子传感器 • 由更加精准的高频金融交易时间戳操作的原子钟 	<ul style="list-style-type: none"> • 有纠错检测保护或拓扑性保护的逻辑量子比特位操作 • 量子计算机新算法 • 小量子处理器执行技术相关算法 	<ul style="list-style-type: none"> • 集成量子电路、低温经典控制硬件 • 通用量子计算机超过传统计算机的计算能力
2023—2028	<ul style="list-style-type: none"> • 远距离量子网络 • 量子信用卡 • 有加密和窃听检测功能的量子中继器 • 融合量子通信和经典通信以维护欧洲网络安全 	<ul style="list-style-type: none"> • 新型复杂材料研发设计 • 量子磁电通用模拟器 • 支持药物设计的量子力学和化学反应机制模拟器 	<ul style="list-style-type: none"> • 更大量地应用量子传感器 • 量子导航手持设备 • 基于引力传感器的重力成像设备 • 将量子传感器集成到客户端应用中 	<ul style="list-style-type: none"> • 用大于100量子比特量子计算机来解决化学材料问题 • 集成量子电路和低温经典控制硬件¹⁾ • 通用量子计算机超过传统计算机的计算能力¹⁾ 	

1)前提是在0~5年内攻克相关材料科学难题。

持量子宣言计划,并表示2020年之前会在云计算领域投入20亿欧元。

2018年10月29日,欧盟委员会公布了基金的第一批获得者——包含企业和公共研究机构的20个国际联合研究组。他们将获得通过“地平线2020计划”拨出的经费1.32亿欧元,用于进行为期3年的示范项目。2018年10月至2021年9月为量子宣言计划的初始阶段(Ramp-up Phase),2021年以后基金将再资助130个项目,覆盖从基础研究到产业化的整条价值链,并将研究人员与量子技术产业汇集到一起。

此外,在2018年8月,德国联邦政府也宣布了一个量子项目,计划投入经费6.5亿欧元^[5]。

2020年5月,旗舰计划在其官方网站上发布了一份战略研究议程报告,表示将在未来三年推动欧洲范围的量子通信网络建设,完善和扩展现有数字基础设施,为未来的“量子互联网”远景奠定基础。

报告提到的短期目标(3年)包括:基于欧洲量子通信基础设施(European Quantum Communications Infrastructure, EuroQCI)端到端安全的考虑,应用案例和商业模型,开发用于城市间和城市内的经济高效且可扩展的设备和系统;开发可信节点网络的功能,提升光纤、自由空间和卫星链路之间的互操作性;利用量子密钥分发(Quantum Key Distribution, QKD)协议和具有可信节点的网络,开发用于全球安全密钥分发且基于卫星的量子密码;与欧洲电信标准化协会(European Telecommunications Standards Institute, ETSI)等欧洲主流标准组织合作开展标准制定工作,制定用于量子随机数发生器(Quantum Random Number Generator, QRNG)和QKD的认证方法;进一步发展QKD、QRNG和量子安全认证系统,为将之用

于关键基础设施、物联网和5G做好技术准备;实现欧盟国家间可信节点上的端到端安全通信^[6]。

中长期目标(6~10年)包括:演示一系列物理距离遥远(至少800公里)的量子中继器;演示至少20个量子比特的量子网络节点;演示设备无关的QRNG和QKD^[6]。

量子技术的巨大潜力不言而喻。就量子计算来说,真正的量子计算机能够在一秒内解决传统计算机需要100年才能解决的并行计算问题^[7],可对保密、金融、材料研发等领域产生巨大影响,并发展成数十亿美元的市场。

1.2 推动欧盟量子技术旗舰计划的核心科学家

欧盟量子旗舰计划的核心科学家主要来自高等院校和科研院所。他们是量子科技相关领域的领军人物,在学术界有着极高的成就和地位。高等院校和科研院所研究人员的工作普遍聚焦于基础研究,掌握着最顶尖的量子科技,对量子学科的研究和发展有着更精准的把握,对细分领域的发展潜力有着更专业的判断,能够洞悉量子领域基础理论的研究规律,在此基础上预估基础研究以及成果转化所需要的时间。

实际上,在欧盟量子旗舰计划的管理主体中,科学顾问委员会由国际顶尖量子技术专家构成,包括诺贝尔奖获得者、重大量子技术行动负责人等,他们会提供独立的科学建议,尤其是在指导委员会专业力量不足的某些领域。同时,他们还有为量子技术旗舰计划增添国际视野的重要作用^[8]。

表3为欧盟量子旗舰计划核心科学家的相关信息,可以看到各位科学家的研究方向包括量子测量、量子计算、量子通信、量子存储和量子光学。其中德国的Jürgen Mlynek教授是欧盟旗舰计划的主席,同时任德国柏林大学校长以及亥姆

表3 欧盟量子旗舰计划核心科学家

Tab.3 Core Scientists of EU Quantum Flagship Project

科学家	供职机构	研究方向	在计划中的职务
Jürgen Mlynek(德)	柏林洪堡大学(Humboldt University of Berlin)	用原子做量子测量	旗舰指导委员会主席
Tommaso Calarco(德)	乌尔姆大学(University of Ulm)	量子计算理论	量子路线图的第二撰写人
Rainer Blatt(德·奥地利)	因斯布鲁克大学(University of Innsbruck)	用离子做量子计算	离子阱量子计算项目的负责人
Ian Walmsley(英)	牛津大学(University of Oxford)	量子测量,量子存储和量子通信	量子路线图量子测量部分撰写人
Eugene Simon Polzik(丹麦)	哥本哈根尼尔斯玻尔研究所(Niels Bohr Institute Copenhagen)	用原子做量子存储和量子通信	丹麦代表
Lluís Torner(西班牙)	巴塞罗那光子科学研究所(Institute of Photonic Sciences Barcelona)	量子光学	西班牙代表
ir. Wim Van Saarloos(荷兰)	荷兰皇家科学院(KNAW)	凝聚态物理理论	荷兰代表

霍兹学会主席;同样来自德国的 Tommaso Calarco 教授担任欧盟量子旗舰计划中量子路线图的第二撰写人,同时也是德国马普学会集成量子科技中心的负责人;奥地利的 Rainer Blatt 教授是欧盟旗舰计划离子阱量子计算项目的负责人,其所在小组是最早做量子信息的小组之一,他和诺贝尔奖得主 Wineland 同时发表离子阱的文章;英国的 Ian Walmsley 教授是欧盟量子旗舰计划路线图中量子测量部分的撰写人,担任牛津大学校长,是英国国家量子技术计划的负责人;丹麦科学院院士 Eugene Simon Polzik 教授和中国的潘建伟院士同时在 *Science* 杂志发表量子隐形传态的研究论文,其所在小组也是国际上最早研究量子信息的小组之一;西班牙的 Lluís Torner 教授是西班牙光子科学中心的负责人(该中心是光学方面的世界顶级机构之一);荷兰的 ir. Wim Van Saarloos 教授是荷兰科学院院长。

2 美国量子科技领域政策及其背后的核心科学家

美国开展量子通信的理论和实验研究比较早,也最先将之纳入国家战略和国防安全的规

划。在美国,量子通信产业已经渗透到国家发展的各个层面,涉及国防、外交、经济、信息、社会等各个领域。美国国防部高级研究计划局(Defense Advanced Research Projects Agency, DARPA)自20世纪末开始启动了多项量子通信相关研究计划,对其进行了广泛研究,量子通信技术被认定在军事领域有着独一无二的广阔应用前景^[9]。

量子计算机技术的研究也十分受重视,谷歌、微软、IBM 等美国最具代表性的科技公司都已经加入量子计算机技术的研发,设想是从量子计算机技术突破,在物质科学、生命科学和能源科学等领域形成多领域贯通的规模发育优势^[10]。

2.1 美国量子科技政策的制定与演化

美国自1994年开始启动量子科技相关的政策规划,重点发展量子信息、量子计算等,负责推动的部门包括 DARPA、美国能源部、国家科学技术委员会等等。

近年来,随着中国与欧洲在量子信息技术研发方面的快速发展,深感威胁的美国对量子信息技术进一步调整思路并加强投入,对于国际的对抗性博弈也做了新的布局。美国科技巨头在量子物理领域的追加性投资大幅提高,谷歌和微软

表4 美国量子信息科技政策变迁

Tab.4 Policy Changes of Quantum Technology in the United States

政策计划	时间点/跨度	推动部门	主要内容
量子通信技术研究计划	1994年发布	DARPA	用3~5年时间全面推进量子通信技术研究
量子信息科学与技术规划	2002年发布 (2004年发布2.0版)	DARPA	明确量子计算发展的主要步骤和时间表
量子科技作为核心技术基础列入DARPA战略规划	2007年	DARPA	- ¹⁾
微型曼哈顿计划	2008年启动	DARPA	说明了量子计算芯片在下一代产业和国家安全等方面的重要性
高级研究与发展活动	2013—2017年	美国国防部	至2014年扩展量子通信应用到卫星通信、城域和长距离光纤网络
将量子物理学定为DARPA三大技术前沿之一	2015年	DARPA	量子物理在2015年战略投资领域成为DARPA三大技术前沿之一
2015—2019年技术实施计划	2015年发布 (15年期)	美国陆军研究实验室(ARL)	提出2015—2030财年量子信息科学研发目标与基础设施建设目标
三军量子科学与工程制造项目	2016年实施	国防部长办公室	建立可扩展的量子网络原型,开发实用量子存储,并在该网络原型中示范高灵敏度的传感器应用
推进量子信息科学:国家的挑战与机遇	2016年发布 (10年期)	国家科学技术委员会	认为量子计算可以促进化学材料科学与粒子物理发展,可能颠覆众多科学领域,为时空和宇宙提供新解释,并认为十年内可以实现这些发展
国家量子倡议法案	2018年发布 (10年期)	美国众议院科学委员会	通过能源部、国家标准与技术研究所和国家科学基金对量子信息科学投入12.75亿美元,全力推动其发展;对量子密码学进行组织和投资,提升国家安全;加速量子信息学科的研发和技术应用,并建立一个量子信息学分会,通过投资和与私有部门合作,对相关研究提供支持
首个实用型量子计算机项目	2018年通过 (5年期)	美国国家科学基金会	由麻省理工等七所高校研究者五年内设计实现首台离子阱量子计算机的软硬件,项目总额1500万美元 ^[11]
量子信息科学的立法	2018年发布 (5年期)	美国国会众议院	制定统一的国家量子战略,在2023年前提供13亿美元资金支持
量子信息科学国家战略概述	2018年发布 (10年期)	白宫国家科学技术委员会、美国能源部、国家科学基金会、国家标准与技术研究院	明确希望取得突破的领域:计算应用,传感器技术,用于军事和商业应用的定位导航系统,网络安全系统,量子密码学,机器学习的新算法,通过量子信息理论理解材料、化学甚至引力的新方法 ^[12]
美国量子网络的战略构想	2020年发布	白宫国家量子协调办公室	提出开辟“量子互联网”,保证量子信息科学(Quantum Information Science, QIS)惠及大众

1) 保密状态。

等科技公司在量子计算领域呈现出竞争态势。

2018年9月24日,美国政府在白宫举办量子峰会,美国科技巨头和联邦政府官员均有出席,国家量子战略概述发布^[13],美国能源部和国家科学基金会率先公布投资计划,主要从国家的宏观层面统筹可用资源来支持和推进研究。

美国一直以来都是通过研发项目支持量子

信息科技的基础研究。提供资助的政府研发机

构以美国能源部、美国国家科学基金会以及美国国家标准与技术研究院为主。美国能源部和美国国家科学基金会都为此次国家量子战略提供资金支持:美国能源部共拨款2.18亿美元为85个研究项目提供支持,美国能源部科学办公室下属的3个项目办公室——高级科学计算研究办公

室、基础能源科学办公室和高能物理办公室,将负责管理这些项目。其中高级科学计算研究办公室主要研究量子计算硬件在科学应用中的适用能力,从而推动适用于量子计算科学应用的设备架构的研发,也加深科学家对量子计算的认识^[13];美国国家科学基金会预备拿出3100万美元,一方面支持量子计算和量子保密通信的基础研究,另一方面资助量子领域的科学家、工程师以及企业家等的培育。美国国家科学基金会此前在2018年8月还通过了首个实用型量子计算机项目,提供1500万美元,资助来自麻省理工等七所高校的研究者共同进行研究,计划在五年内设计和实现首个离子阱量子计算机^[11]。

2020年2月,白宫国家量子协调办公室发布《美国量子网络的战略构想》,明确了两个具体目标:一是在未来5年,美国公司和实验室将演示量子互连、量子中继器、量子存储器到高通量量子信道和探索跨洲际距离的天基纠缠分发等量子网络的基础科学和关键技术,并查明这些系统在商业、科学、卫生和国家安全等方面的潜在影响和改进应用;二是在接下来的20年中,利用网络化量子设备实现经典技术无法实现而量子互联网特有的新功能,也让人们更进一步认识纠缠能够起到的作用。文件认为,量子信息技术仍处于早期阶段,其未来发展决定于可靠地连接量子设备的基础设施平台的能力,以及开发量子信息科学在安全、传感和计算模式等方面应用的能力^[5]。这份构想来自美国总统特朗普在2018年12月签署成法的《国家量子倡议法》(National Quantum Initiative Act, NQIA)以及相关科研机构的推动。2019年10月,特朗普下总统令筹建白宫科学技术委员会,再度提及量子计算的重要性。

根据美国国会审议的预算,特朗普政府将

2021年科研经费整体削减了近10%,但出人意料地将量子信息科学的开支增加约20%至2.37亿美元。其中,能源部要求2500万美元来加速量子互联网的发展,以达成其长期愿景,即把美国所有的国家实验室连接起来。

2020年7月,美国能源部又公布了一份规划美国量子互联网发展战略蓝图的报告,列出了研究的关键部分:构建并整合量子网络设备,为量子纠缠创建中继、开关和路线,以及量子网络功能的纠错等。这份报告为《国家量子倡议法案》提供了实施的具体路线,以保证美国在全球量子竞争中处于前列,要引领通信新时代。

2.2 推动美国量子信息科学国家战略概述的核心科学家

美国白宫的这份量子战略概述出自美国国家科学技术委员会量子信息科学分会,委员会成员大都是政府部门的代表(表5),比如Ted Wackler,白宫科技政策办公室的负责人之一,作为政府主管部门代表担任委员会主席。在联合主席中,白宫科技政策办公室成员Jacob Taylor是一位量子信息领域的科学家,主要研究量子计算,也是美国国家量子战略计划的主要撰写人;美国国家标准与技术研究院院长Carl Williams作为政府下属部门以及科学界的代表担任联合主席,也是一位著名科学家,曾经因为激光冷却原子获得2001年度诺贝尔物理学奖。

美国这次的量子峰会由政府主导,推动部门包括白宫国家科学技术委员会、美国能源部、国家科学基金会和国家标准与技术研究院。战略制定的核心人员具有政府人员和科学家的双重身份。国家对量子科技的重视对美国量子科技的发展有极大帮助,政府部门的主导也为美国量子科技的发展提供了保障。谷歌、微软、IBM等美

表5 美国白宫国家量子战略概述制定委员会主要成员

Tab.5 Main Members of the Development Committee of National Strategic Overview for Quantum Information Science

委员会 职位	来源	成员身份		
		在所属机构/部门的职位	姓名	
主席	政府主管部门代表	白宫科技政策办公室负责人	Ted Wackler	
		白宫国家科学技术委员会负责人	Chloe Kontos	
联合主席	政府主管部门代表	白宫科技政策办公室成员	Michael Kratsios	
		美国国家卫生研究院院长	Francis Collins	
		美国国家自然科学基金委主任	France Coórdova	
	政府下属部门代表	美国能源部科学办公室副主任	J. Stephen Binkley	
		美国国家自然科学基金委数学物理分部主任	Anne Kinney	
		美国国家标准与技术研究院院长	Carl Williams	
	政府下属部门代表、科学界代表	美国国家量子战略计划主要撰写人	白宫科技政策办公室成员	Jacob Taylor
执行秘书	政府下属部门代表	美国国家安全局	Charles Tahan	

国科技公司巨头都出席了该峰会,他们拥有量子科技领域的科学家,且对产业发展规律较为熟悉,对于该领域的发展现状,以及有潜力、有实用性的发展方向都有着较深刻的认识。如此由政府主导、科学家参与,最终由具有政府人员和科学家双重身份的学者作为主要撰写人,能够把决策和学术判断良好地结合起来。

3 我国量子科技发展

我国量子信息领域虽然起步较晚,但由于国家在战略上提供了极大的支持和投入,年轻科学家团队卓有成效地培育和创新,使得我国在量子科技领域后来居上,在量子通信领域里达到领跑位置,量子计算领域奋力追赶,而在需要厚实积累的量子基础理论和元器件领域还有较大的差距需要填补。同时,工业环境的后续政策和人才建设部分,还需要在国家政策指引下,尽快完善起来。梳理我国量子通信发展与国家政策支持的重要时间节点如下:

2002年,“国家中长期科学和技术发展规划”将“量子调控”基础研究纳入规划,作为四个重大基础研究计划之一。

2008年,潘建伟团队搭建的兼顾纠缠交换和量子存储的量子中继器节点,为未来实现基于原子系综系统的量子中继器打下坚实基础。

2010年,量子信息“超级973”项目获得科技部1.3亿拨款支持,该项目集聚国内十多家大学和研究所的50多名研究人员,几乎囊括了当时该领域所有的主要研究队伍。其中,中国科学技术大学郭国平研究组2013年在科技专项“固态量子芯片”的研究取得重大突破,在“一个电子”上实现了10皮秒级量子逻辑门运算,高出原来的纪录近百倍,推动了基于半导体的“量子计算机”的实现。

2015年,习近平对《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十三个五年规划的建议》的说明中把量子通信列入国家重大战略科技项目。2016年,国务院“十三五”规划继续加强科技前瞻布局,要求着力建设量子通信,构建安全物联网,力争在量子通信和量子计算等重点方向率先突破,加强关键技术和产品研发,持续推动量子密钥技术应用。同年8月,世界第一颗量子通信卫星在中国发射,意味着涉及国民信息安全重要领域的量子保密通信实现产业化。

2017年印发的《“十三五”国家基础研究专项规划》指出,在信息技术的新一轮竞争中,我国的优势基础和方向将是量子通信和量子计算,规划中提到首先要在量子保密通信技术上取得突破进展,架构超远距离的光纤量子网络,研发星地量子通信系统,实现地空一体的广域量子通信网络体系建构,无缝对接经典通信网络。同年9月29日,我国成功将世界首条量子保密通信干线“京沪干线”与“墨子号”科学实验卫星进行天地链路,从此我国成为世界上首个拥有天地一体化广域量子通信网络的国家^[14],并进行了世界首次洲际量子保密通信视频通话。

2018年,国务院印发《关于全面加强基础科学研究的若干意见》,强调了对一些前沿、新兴、交叉学科的建设,要求加快实施量子通信与量子计算机等“科技创新2030—重大项目”。由人民银行牵头,发展改革委、科技部、工业和信息化部、财政部、农业部、商务部、银保监会和证监会等九部委共同编制的《十三五现代金融体系规划》计划加强量子保密通信在金融领域应用研究,适时投入应用。中共中央办公厅、国务院办公厅下发的《金融和重要领域密码应用与创新发展工作规划》(2018—2022)也要求大力推动密码与量子技术、云计算、大数据等新兴技术融合创新。

2018年1月,中科大郭光灿院士领导的量子重点实验室全球首次实现半导体体系中三量子比特逻辑门的操控;同年12月,中国科学家首次在三维空间发现量子霍尔效应,证实了量子在三维空间的存在;2019年7月,潘建伟团队在国际上首次实验实现全光量子中继器的原理性验证,提供了量子通信技术实现的新方式,2020年3月,该团队与清华大学、山东济南量子技术研究

院等机构合作,实现500公里级真实环境光纤的双场量子密钥分发和相位匹配量子密钥分发,传输距离达509公里,创造了新的世界纪录。可以看到,我国在量子通信领域毫不逊色,有着许多全球首创。

从前文对欧盟和美国量子科技相关的政策梳理可以发现,量子网络是欧盟和美国接下来的发展重点。中国目前还未提出量子互联网等战略,但2019年12月中共中央、国务院发布的《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》明确,“加快量子通信产业发展,统筹布局和规划建设量子保密通信干线网,实现与国家广域量子保密通信骨干网络无缝对接,开展量子通信应用试点”^[15]。2020年3月,科技部在《关于科技创新支撑复工复产和经济平稳运行的若干措施》中表示,要加大对5G、人工智能、量子通信、工业互联网等重大科技项目的实施和支持力度。

从世界范围内的研究进展来看,目前中国的研究重点领域为量子通信,并且在该领域地位全球领先,形成了潘建伟、郭光灿等高水平创新团队,也涌现出一批掌握领先技术的高科技公司,如2020年7月科创板上市的科大国盾量子技术股份有限公司等。中国量子通信产业的迅速追赶并取得领先优势,来自于国家实力的提升,来自于国家鼓励创新创业的产业政策和人才政策,无论是《国家中长期发展规划纲要》还是《“十三五”国家科技创新规划》,都给量子科技领域的研究提供了支持。

但同时,我国量子物理在基础理论、核心材料与元器件、核心技术与应用等方面还与欧美先进科研团队有明显差距,尤其是大型科技企业在量子技术的研发上起步较晚,创新团队的技术创新能力和核心技术的转化水平都亟待提高。量

量子科技属于前端科技,相关技术只有创新团队自己培养训练的人才能实现,很难将技术交付给其他公司承接,目前就中国科学技术大学来说,一个量子通信实验室每年毕业的博士生只有几人,创新团队的运作规模较小。此外,我国的政策和战略规划制定比较滞后,远远落后于科学研究和产业化实践,这也是进一步发展的重要制约因素。

4 对中国的启示

量子科技是关乎我国未来科技话语权和国家安全的关键领域,我国在该领域虽已具有一定的优势地位,但在经济转型以及中美关系变化等因素的冲击下,接下来的长期发展将受到影响,优势地位也会受到威胁。通过梳理欧盟和美国的量子科技政策变迁,了解其最新政策规划及相关科学家,并与我国的情况进行比较,可以得到一些对于我国量子科技发展的启示:

1) **加快量子国家战略顶层设计,形成前瞻性布局。**与美国相比,我国的量子科技发展顶层设计较少,基本处于自发的状态,研发的持续性不够,相关政策规划的制定相对滞后,无法及时对科技研究和产业化实践提供指导和支持。中央政府应加快从国家层面进行整体规划,整合国内资源,前瞻性地制定科研计划,争取在量子科技领域竞争中的优势地位。

2) **政府部门积极参与,协同科学家共同制定方针政策。**由政府部门做牵头人,能够为项目的实施提供极大的保障,对实施效率和成果水平起到一定的监督作用;政府支持能够更广泛地吸引工程师和企业家加入;领域内科学家代表的话语权应得到较高的重视,因为他们不仅仅掌握着领先的科学技术,也往往对相关政策有着更深入的体会,对世界范围内最先进的量子科技进展有着

较高的敏锐度。政府和科学家之间密切合作和有效沟通是政策成功的保证。

3) **聚焦核心技术研发,给予重点领域持续性支持。**欧盟与美国都把量子通信网络作为接下来发展的重点,把量子互联网作为最终的目标和愿景。在这一方面,我国已有京沪干线的成功尝试,可以在此良好基础上进一步拓展和完善,抢占技术制高点,掌握领域内技术和标准的话语权。我国应将量子科技研发支出列入国家级财政预算,保证研发资金的持续性,同时最大化利用国家重大科技专项资金,以支持关键技术的攻关;同时,完善产学研协同创新机制,探索校企合作交流新模式,优先为量子核心领域的发展提供优势资源,不断攻坚,创造核心竞争力。

4) **通过国家层面项目实施,推动量子产业发展。**我国科技金融方面民间资本比较在乎眼前,须由国家层面设立项目,让民间资本看到量子科技相关产业的发展前景,主动进行投资。同时通过相关法律和政策的制定推动量子科技的产业化,顺应经济形式,融入实体经济。重点扶持量子科技龙头企业,培养更多优秀企业,同时深化国际合作,建设量子产业布局。

5) **多维发育核心科学家网络,建设量子科技人才梯队。**领域内核心科学家之间存在交流与合作网络,有必要在了解现有核心科学家网络的基础上,尽量通过国际交流合作和人才培养,在多个维度发育这一网络,尽量保持重要战略领域的前沿性、科技政策领域的前瞻性,以及在量子信息产业领域的活力。引进掌握关键技术的专业人才,以更好地应对可能的国际封锁,同时推进高校内的量子学科建设,着重培养重点领域年轻的专业人才,逐步形成人才梯队,鼓励高校、科研机构和企业一起发展和壮大我国的量子科技

创新团队。

参考文献

- [1] 高芳,徐峰. 全球量子信息技术最新进展及对中国的启示[J]. 中国科技论坛, 2017(6): 164-170.
GAO Fang, XU Feng. The Latest Development of Global Quantum Information Technology and Its Enlightenment to China [J]. China Science and Technology Forum, 2017(6): 164-170.
- [2] 宫学源. 2018 全球量子计算领域研发概况[EB/OL]. (2018-09-11). <https://mp.weixin.qq.com/s/ZGLvgJgCXv1-NOW11dCB2g>.
GONG Xueyuan. 2018 Global Research and Development Overview of Quantum Computing [EB/OL]. (2018-09-11). <https://mp.weixin.qq.com/s/ZGLvgJgCXv1-NOW11dCB2g>.
- [3] 周德旺, 皇安伟. 量子通信助力信息安全保密[J]. 保密工作, 2018(8): 6-8.
ZHOU Dewang, HUANG Anwei. Quantum Communication Facilitates Information Security and Confidentiality [J]. Confidentiality Work, 2018(8): 6-8.
- [4] 邹维荣, 赵金龙, 陶士亚. 量子发展国际前沿扫描[EB/OL]. (2016-08-16). http://www.mod.gov.cn/shouye/2016-08/16/content_4713034_4.htm.
ZOU Weirong, ZHAO Jinlong, TAO Shiya. International Frontier Scanning of Quantum Development [EB/OL]. (2016-08-16). http://www.mod.gov.cn/shouye/2016-08/16/content_4713034_4.htm.
- [5] 魏刘伟. 欧洲打出 10 亿欧元量子赌注的第一张牌[J]. 世界科学, 2019(1): 54-55.
WEI Liuwei. Europe's First Card in a Billion Euro Quantum Bet [J]. World Science, 2019(1): 54-55.
- [6] e 公司. 美国之后欧盟也推出量子通信发展计划! 瞄准量子互联网, A 股小伙伴又嗨了?[EB/OL]. (2020-05-09). <https://view.inews.qq.com/a/20200509A0B04A00?uid=&shareto=wx&devid=39D527B6-F1A2-4328-883F-8C13B54F8813&qimei=ddfd3836-53de-4b16-b200-0b9375559137>.
E Company. After the United States, the European Union Also Launched the Quantum Communication Development Program! Aiming at the Quantum Internet, A - share Partners "high" Again? [EB/OL]. (2020-05-09). <https://view.inews.qq.com/a/20200509A0B04A00?uid=&shareto=wx&devid=39D527B6-F1A2-4328-883F-8C13B54F8813&qimei=ddfd3836-53de-4b16-b200-0b9375559137>.
- [7] 科技日报. 量子计算:1 秒完成传统计算机 100 年的任务量.[EB/OL]. (2018-01-10). <https://china.huanqiu.com/article/9CaKrnK6ip9>.
Science and Technology Daily. Quantum Computing: 100 Years of Traditional Computer Tasks in One Second. [EB/OL]. (2018-01-10). <https://china.huanqiu.com/article/9CaKrnK6ip9>.
- [8] 宋海刚. 欧盟量子技术旗舰计划的部署及组织管理研究[J]. 全球科技经济瞭望, 2017, 32(Z1): 5-10.
SONG Haigang. Research on Deployment, Organization and Management of EU Quantum Technology Flagship Project [J]. Global Science, Technology and Economy Outlook, 2017, 32(Z1): 5-10.
- [9] 田倩飞. 美国公布《推动量子信息科学: 国家挑战与机遇》[J]. 科研信息化技术与应用, 2016, 7(5): 95-96.

- TIAN Qianfei. The United States Announces "Advancing Quantum Information Science: National Challenges and Opportunities" [J]. *Research In Information Technology and Application*, 2016, 7 (5):95-96.
- [10] 全球量子通信技术发展态势——美国篇[J]. *光通信技术*, 2017, 41(2):12-12.
- Development Trend of Global Quantum Communication Technology-America [J]. *Optical Communication Technology*, 2017, 41(2):12-12.
- [11] 黄龙光. 量子信息科学的发展:挑战与机遇并存! [EB/OL]. (2016-10-11). <https://mp.weixin.qq.com/s/cl7K5GmbUsnHqEi8rj-spQ>.
- HUANG Longguang. The Development of Quantum Information Science:Challenges and Opportunities Coexist! [EB/OL]. (2016-10-11). <https://mp.weixin.qq.com/s/cl7K5GmbUsnHqEi8rj-spQ>.
- [12] 黄珊, ALEX. 史无前例,美以举国之力发展量子技术:19页国家级科技战略曝光,考虑量子人才储备从小学开始 [EB/OL]. (2018-10-09). <https://mp.weixin.qq.com/s/WSdwKO9JP1IgZpTMOUQ16A>.
- HUANG Shan, ALEX. Unprecedented in History, the United States Develops Quantum Technology with a Nationwide Effort: 19 Pages of National Science and Technology Strategy Exposure, Considering that Quantum Talent Pool Starts from Elementary School [EB/OL]. (2018-10-09). <https://mp.weixin.qq.com/s/WSdwKO9JP1IgZpTMOUQ16A>.
- [13] National-Strategic-Overview-for-Quantum-Information-Science Subcommittee on Quantum Information Science under the Committee on the Science of the National Science & Technology Council. National strategic overview for quantum information science [R]. Washington: The White House, 2018.
- [14] 胡兆会. 中国量子通信网络技术发展概述[J]. *数字通信世界*, 2018(5):113-113.
- HU Zhaohui. Overview of China's Quantum Communication Network Technology Development [J]. *Digital Communication World*, 2018(5):113-113.
- [15] 新华社. 中共中央 国务院印发《长江三角洲区域一体化发展规划纲要》[EB/OL]. (2019-12-01). http://www.gov.cn/zhengce/2019-12/01/content_5457442.htm?tdsourcetag=s_pcqq_aiomsg.
- Xinhua News Agency. The Central Committee of the Communist Party of China and the State Council issued the "Outline of the Yangtze River Delta Regional Integration Development Plan" [EB/OL]. (2019-12-01). http://www.gov.cn/zhengce/2019-12/01/content_5457442.htm?tdsourcetag=s_pcqq_aiomsg.

作者贡献说明

叶珍珍:文章撰写和修改;

范琼:思路提示和修改指点;

汤书昆:文章宏观把控和建议。