

英国量子科技发展战略及趋势研究

方 微, 冯高阳

安徽省高新技术发展中心(安徽省基础研究管理中心), 合肥 230088

摘 要: 对英国量子科技发展战略和趋势进行研究分析, 英国政府通过长期的国家战略计划、持续稳定投入、多部门协作等措施致力于建设全球领先量子经济体, 有力地推动了国家量子行业发展。从而对中国量子科技发展提出建立新型举国体制、抢占量子科技领域制高点、加速量子技术产业化应用、建立量子技术开放生态等建议, 以期进一步稳固中国在量子领域的优势地位。

关键词: 英国; 量子科技; 量子计算; 科技战略

中图分类号: G323/327; O413 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2024.03.004

量子科技是新一轮科技革命和产业变革的必争领域, 英国长期重视量子科技发展, 过去 10 年, 英国在量子计算、传感器和计时、成像和通信方面形成了领先优势。2023 年, 英国政府出台《国家量子战略》, 提出未来 10 年投入 25 亿英镑^[1], 通过设立研究中心、开展量子网络加速器计划、设立培训和人才计划、共建合作研发项目以及加大基础设施投资等, 大力发展量子科技产业, 致力于成为全球领先的量子经济体。本文对英国量子科技发展战略进行研究分析, 以期为中国量子科技发展提供借鉴和参考。

1 英国确立量子科技发展战略核心地位

全球金融危机之后, 西方国家重新认识到科技产业对市场的重要性。英国政府为增加产业界和学术界与政府之间的联动, 于 2013 年在全球率先启动国家量子科技计划(NQTP)^[2], 为英国量子科技发展奠定了坚实的基础, 2013—2022 年, 英国政府通过 NQTP 共计投入 10 亿英镑, 吸引了大量风险投资, 打造了量子领域领先优势, 并开拓了市场化道路。

2022 年英国政府连续更迭, 但各届政府在努力重振英国“科技超级大国”地位这一议题上始终

保持高度一致。2023 年, 苏纳克政府稳定政局后立即宣布启动机构改革, 将科技创新工作从原商业、能源和产业战略部(BEIS)剥离, 新组建科学、创新与技术部(DSIT), 旨在推动英国成为世界上最具创新性的经济体和科技超级大国。2023 年 3 月, 英国政府公布新的《科学技术框架》, 明确了 5 项战略核心技术, 包括量子科技、人工智能、工程生物学、未来通信和半导体; 同月发布英国《国际技术战略》, 再次明确了包括量子科技在内的 6 个关键技术领域。同月, 英国科学、创新与技术部制订并发布了《国家量子战略》, 明确量子科技是未来 10 年保障英国成为全球创新型经济体和科技超级大国的关键核心。这是英国为发展世界级的量子行业做出的关键战略决策。

2 英国量子科技发展现状及特征

英国政府积极提升量子技术的战略地位, 制订了全面的国家量子科技发展战略, 量子科技发展呈现以下特征。

2.1 多部门协作, 服务量子技术研发应用

英国国家量子科技计划的整体实施推进主要

第一作者简介: 方微(1986—), 女, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为科技项目管理、科技服务。

通信作者简介: 冯高阳(1983—), 男, 硕士, 研究员, 主要研究方向为科技创新政策研究与科技管理。电子邮箱: 394654236@qq.com

收稿日期: 2023-10-30

由英国工程和物理科学研究理事会（EPSRC）、创新署、国防科学技术实验室、国家物理实验室（NPL）等 4 个机构负责^[3]。机构之间建立了中心对话模式，确保各机构的广泛深入参与。由量子研究中心组成的量子技术全国网络，将促进技术发展，推动工业项目实施，为对量子技术感兴趣的企业提供便捷的沟通和合作渠道^[4]。

英国工程和物理科学研究理事会负责支持量子技术中心和人才队伍建设，投资 1.2 亿英镑建立了 4 个量子技术中心，并在全国建立了 3 个量子技术博士培训中心和 3 个量子系统工程培训和技能中心。投资 1 650 万英镑，支持量子技术人才计划，共支持了 14 个专家团队。

创新署负责支持企业主导以及企业与高校合作的研发项目。支持行业主导的可行性研究、合作研究和开发项目、建立跨部门的量子技术特别兴趣小组，探索量子市场机会，在英国国内建立供应链。

英国国防部与国防科学技术实验室负责支持量子技术演示项目，投资 3 000 万英镑用于重力成像和量子导航领域的演示。

英国国家物理实验室负责建设量子计量研究所。其隶属英国商业、能源和产业战略部，负责建设的量子计量研究所将为英国提供开发量子技术所需的测量专业知识和设施。

2.2 政策先导，分阶段推进量子产业化应用

英国 NQTP 的制订是全球量子领域发展的一个

重要转折点，是全球首个量子国家战略，推动了美国国家量子计划（NQI）的启动（见表 1）。英国 NQTP 以技术应用和产业化为主导，目前已完成两个阶段的目标任务：第一阶段（2014—2018 年）投资 2.7 亿英镑建立四大研发中心（计算、通信、成像、传感和计量），开展学术与应用研究；第二阶段（2019—2024 年）投资 3.15 亿英镑，建设英国国家量子计算中心（NQCC）以及其他 4 个量子中心；英国研究与创新基金会（UKRI）通过“产业战略挑战基金（ISCF）”为量子技术商业化投资 1.53 亿英镑。相较中国和美国，英国的量子战略的规划性、目标性和系统性更强（见表 1、表 2）。

2023 年进入第三阶段，英国政府发布《国家量子战略》，为 NQTP 提供了两个新的 5 年扩展计划，投资 25 亿英镑进一步加大对量子技术的投资和研发。

2.3 持续投入，巩固量子技术发展优势地位

英国自启动国家量子科技计划以来，连续稳定进行量子科技发展相关研发投入，打造了量子领域优势地位。英国在量子计算、量子通信、量子传感等领域均有创世界纪录的成果产出，并在开发用于量子纠错的量子计算软件方面处于世界领先地位。2022 年英国牛津大学使用光子链路成功纠缠两个相隔 2 m 的⁸⁸Sr⁺离子，展示首个纠缠光学原子钟量子网络^[5]。英国在量子通信、量子测量等领域的专利申请量均位于世界前列，专利申请占比情况如图 1 所

表 1 中国、美国、英国主要量子科技政策

国家	政策名称	量子科技相关内容	启动时间
英国	国家量子科技计划	10 年投资 10 亿英镑，开展量子科技研发与商业应用	2013 年
	量子技术国家战略——英国的一个新时代	将量子技术发展提升至影响未来国家创新力和国际竞争力的重要战略地位；指导英国未来 20 年与量子科技相关的发展与投资，促进形成一个长期、可持续、增长式的英国量子产业	2015 年
	英国量子技术路线图	对原子钟、量子传感器、量子惯性导航和量子增强成像等技术领域的商业化时间和发展路线图进行分析和研究	2015 年
	量子信息处理技术布局 2020：英国国防与安全前景	量子信息处理不仅能够在防务体系中得到推广应用，并广泛应用于金融交易，飞机、导弹、火控和防御装备的控制系统，传感器数据处理等多个领域	2020 年
	2022 年春季声明	支持包含量子计算在内的新兴行业	2022 年
	英国数字战略	提出未来 10 年商业化和研究的许多方面将被量子计算改变	2022 年
	国家量子战略	描述了未来 10 年英国成为领先量子经济体的愿景及行动计划	2023 年

续表

国家	政策名称	量子科技相关内容	启动时间
美国	量子信息科学和技术发展规划（2004 年发布 2.0 版本）	给出量子计算发展的主要步骤和时间表。目标是若干年内在核磁共振量子计算、中性原子量子计算、谐振量子电子动态计算、光量子计算、离子阱量子计算及固态量子计算等领域取得重大研究进展	2002 年
	国家量子计划法	计划未来 10 年内向量子研究注入 12 亿美元	2018 年
	国家量子倡议法案	设立国家量子协调办公室，成立量子信息科学组委会，2019—2023 年共投入 12.75 亿美元发展量子技术	2018 年
	量子信息科学国家战略概述	明确量子信息科学作为美国研发实验新支柱	2018 年
	关键与新兴国家战略	将量子信息科学列为 20 项关键与新兴技术之一，对军事、情报和经	2020 年
	美国量子网络战略构想	确定发展量子互联网的两个目标：一是未来 5 年，美国公司和实验	2020 年
	量子网络基础设施方案	推进美国以量子为中心的基础设施发展，包括量子计算、量子测量	2021 年
	量子科学和基数用户扩展法案	鼓励和促进使用美国量子计算硬件和量子计算云进行研究	2021 年
	量子信息科学和技术劳动力发展国家战略计划	促进先进技术教育和推广，培育量子信息科学人才	2022 年
	《将量子传感器付诸实践》报告	扩展量子信息科学国家战略政策主体，未来 1～8 年，确立美国量	2022 年
中国	“量子调控与量子信息”重点专项	国家重点研发计划，支持量子信息重点技术领域研究	2016 年
	“十三五”国家科技创新规划	明确将设立“量子通信与量子计算机”重大科技项目	2016 年
	“十四五”规划和 2035 年远景目标	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	2020 年
	计量发展规划（2021—2035 年）	建成以量子计算为核心、科技水平一流、符合时代发展需求和国际	2021 年
	“十四五”数字经济发展规划	瞄准传感器、量子信息等战略性前瞻领域，提高数字技术基础开发	2022 年

表 2 中国、美国、英国推进量子科技发展主要措施

国家	主要措施
英国	到 2024 年量子技术项目总投资将超 10 亿英镑；未来计划投入 25 亿英镑，吸引 10 亿英镑的额外私人投资；启动 NQTP，NQTP 包括 4 个量子研究中心；设立量子技术产业战略挑战基金；资助博士培训中心；投资量子初创公司
美国	2019—2023 年投入 12.75 亿美元进行量子研究；设立立法保障：《国家量子计划法案》规定国家量子计划总体框架；成立国家量子倡议咨询委员会（NQIAC）和国家量子协调办公室（NQCO），作为量子协作行业研究的总协调机构；美国国家科学基金会设立了 3 个新的量子飞跃研究所，创立量子创意孵化，设立量子计算和信息科学人才计划；美国能源部提出建立全国性量子互联网的战略蓝图，成立 5 个量子信息科学研究中心；国家标准与技术研究院发起成立量子经济发展联盟（QED-C）；创建“国家 Q-12 教育伙伴”创新试点项目

续表

国家	主要措施
中国	2014 年建立中国科学院量子信息与量子科技前沿卓越创新中心；发起“空间尺度量子实验”（QUESS）关键技术项目；开展“国家广域量子保密通信骨干网络”项目，开通远距离光纤量子保密通信骨干网“京沪干线”；将量子信息纳入国家重点研发计划，开展“量子调控与量子信息”重点专项项目；在《中国制造 2025》《中华人民共和国国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》《国家创新驱动发展战略纲要》《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》《国务院关于全面加强基础科学研究的若干意见》《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》等重要国家文件中，明确提出要积极推动量子技术发展；通过广泛的国家计划招募顶尖人才，如清华大学成立量子信息班；为量子研究提供国家专项资金，地方和省级项目日益增多

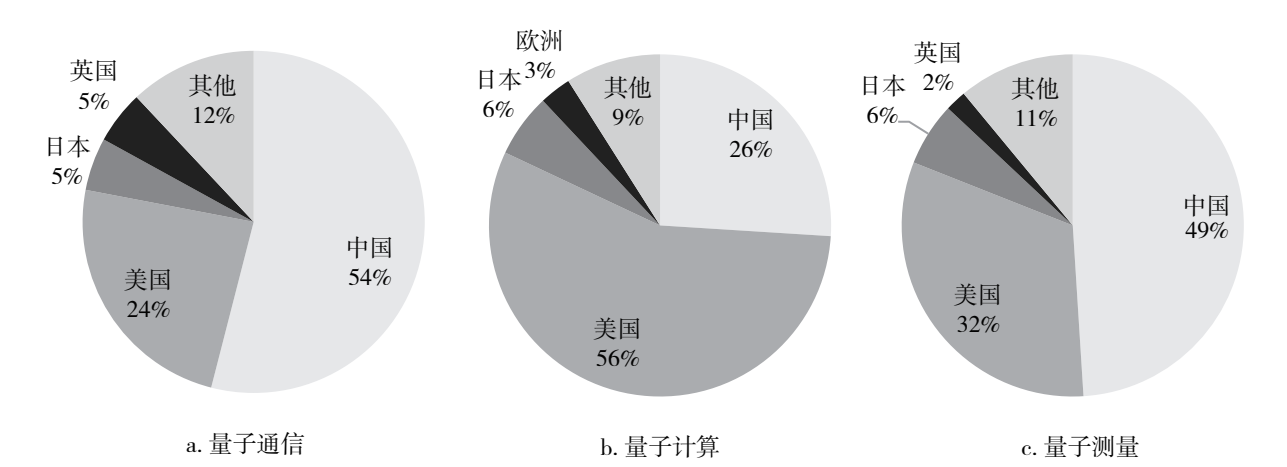


图 1 量子信息三大领域专利申请排名前 4 位情况（截至 2022 年 9 月）^[5]

示。在量子领域学术成果中，英国在量子科学影响力方面位居世界第三，量子公司数量位居世界第二，量子初创公司为 39 家^[6]。

2.4 强化合作，打造量子技术开放生态

英国加强国内、国际交流合作，通过在前沿领域的共研、交流，建立了一个充满活力的量子生态系统。2021 年，与美国签订《促进量子信息科学与技术合作的联合声明》，促进了英国国家物理实验室和美国国家标准与技术研究院在下一代原子钟和量子传感器等量子技术的计量研究和标准的交流合作^[7]。2023 年，英国政府与欧盟达成的新协议——地平线欧洲计划和哥白尼计划，为量子研究合作提供了机会^[8]。英国电信与东芝欧洲研究所合作在伦敦启动量子加密城域网商用试验。

英国支持跨部门量子协作。通过创新英国商业化量子挑战赛，政府资助了 139 个项目，涉及 141 个量子组织，促进了量子领域不同环节（从硬件到

软件、组件等）主体间的协作。2023 年，英国科学、创新与技术部和创新署联合发起一项竞赛，以小企业研究计划（SBRI）为基础，30 个项目获得 1 500 万英镑的英国量子催化剂基金资助^[9]。牛津大学责任技术研究所（RTI）正在与量子计算和模拟中心（QCS）以及安永建立新的研究合作关系——ResQCCom 项目^[10]，专注于与行业、政策制定者和公众合作，讨论量子计算如何影响社会。英国持续推动工业界、学术界和政府之间的合作，并通过针对研究生技能、技术专业人员 and 学徒的培训和人才计划，为英国提供量子研究需要的人员、创新者和从业者。

3 英国量子科技发展战略方向

3.1 英国量子科技发展战略目标

为抓住量子技术发展机遇，奠定英国在未来量子技术市场中的领先地位，推动英国产业链升级，

英国在《国家量子战略》中制订了其在量子领域未来 10 年的计划, 确保英国成为量子领域的首选市场, 推动量子技术应用并创造收益, 同时确保英国在量子技术的监管和使用道德方面处于国际领先地位。具体包括以下 4 个发展目标。

一是确保英国成为世界领先的量子科学和工程基地, 建成不断发展的量子知识和技能体系。到 2033 年, 英国在量子领域论文发表及出版物方面继续保持世界前 3 位; 加大人才培养力度, 资助 1 000 名量子科技领域的科研人员; 开展国际合作, 与 5 个世界领先的量子科技国家达成双边协议。

二是支持量子科技产业化, 吸引全球量子科技领域人才和投资, 使英国成为量子产业布局的首选市场并融入全球供应链。到 2033 年, 英国量子领域全球私人投资资金占比升至 15%, 同时英国量子领域全球市场份额升至 15%。

三是推动量子技术在经济、社会和国家安全领域的应用, 大力创造社会价值。到 2033 年, 英国主要行业的所有企业都认识到量子科技的应用潜力, 75% 的重点企业将为实施量子计算做好预案。

四是创建国家和国际监管框架, 确保英国在量子科技的监管和应用方面处于国际领先地位, 并维护国家安全。到 2033 年, 英国成为全球量子科技领域标准制定的领导者。

3.2 英国引导量子科技发展的行动计划

为实现上述目标, 英国将优先开展以下具体举措引导英国量子科技发展。

一是加大对量子技术的投资和研发。在投资方面, 自 2024 年开始的 10 年内, 政府投资 25 亿英镑 (约 31 亿美元) 用于量子技术研发。包括启动量子计算和量子定位、导航、授时项目; 继续发展量子计算、量子通信、量子传感 / 成像 / 授时等领域研究; 加速量子网络合作研发; 扩大量子技术的公共采购等。在研发方面: (1) 以应用为中心。在量子技术和科学领域建立一个由研究中心组成的未来网络, 由量子技术和相关学科专家联盟以及工业界、政府或其他合作伙伴, 围绕特定应用领域或主题活动, 促进未来量子经济增长并提高国家综合能力, 确保英国长期处于尖端量子科技全球卓越中心地位。(2) 以行业为主导进行创新。鼓励行业研发, 对商业化领域进一步投资。该计划包括探索

新的量子技术商业化可行性项目, 或协作创新项目, 以应对量子技术转化和商业化挑战。(3) 借力加速器项目。将发展特定技术部门和公司, 加速推动商业和技术成熟发展, 在具有重大市场机会的领域提升市场领导地位。通过加速器项目加快量子技术发展和商业化的步伐。(4) 支持基础研究。继续支持英国工程和物理科学研究理事会和科学与技术设施理事会 (STFC) 进行响应模式研究, 推动科学发展, 使量子技术作为更广泛研究的工具。

二是吸引和培养量子人才。培训 1 000 余名量子及相关领域的博士生; 制定一系列措施激励下一代量子科学家、工程师和技术人员, 制订量子产业安置计划和量子技术学徒计划; 积极吸引和支持最优秀的国际流动科技人才到英国, 提供资金、设施支持, 鼓励世界顶尖量子人才在英国开展研究和商业活动等。

三是加强国际合作, 发挥英国主导作用。与国际合作伙伴就量子机遇、挑战和关键用途进行协作并分享专业知识; 通过深化与国际合作伙伴合作, 继续参与全球先进的多边伙伴关系, 推动量子技术研发; 加强全球量子风险防控协作, 与国际合作伙伴合作制定负责任和安全的量子开发和部署共同原则等。

四是大力支持量子企业的发展。在未来 10 年及以后, 英国将促进关键行业和专业机构在量子领域进行密切合作; 开展商业化和加速器计划; 加大基础设施投资, 未来 10 年的创新将需要合适的研究和创新基础设施, 在实验室和现实环境中测试、试点和展示量子技术的价值, 以加速市场化进程; 提供商业化支持, 使英国成为创业和发展业务的理想之地; 将建立吸引海外量子公司的项目并提供投资机会, 以吸引量子企业进入英国市场。

五是推动量子技术的应用, 扩大政府采购。英国国防部已确定用于国防的关键量子技术, 包括传感、成像和授时, 以及随后在通信和计算方面的应用; 将至少 1/4 的国家量子计算中心访问计算平台和相关研究项目用于探索社会效益; 与政府合作, 商定行业或技术特定行动计划, 实现技术融合等。

六是引领量子监管并保护该行业发展。随着量子行业的发展, 英国也非常重视未来的量子监管,

推动“负责任的创新”，减轻与量子相关的风险，促进未来量子经济增长。

英国政府明确了 2023 年的政府资金分配计划，具体包括：为量子计算和量子定位、导航和计时（PNT）任务计划投入 7 000 万英镑；为量子计算、通信、传感、成像和计时领域的研究中心投入 1 亿英镑；为量子奖学金和博士培训计划投资 2 500 万英镑；为量子技术政府采购提供 1 500 万英镑专项资金；为量子网络协作研发等加速器计划投资 200 万英镑并为国家量子计算中心额外增加 200 万英镑。

4 对中国量子科技发展的启示

一是建立健全新型举国体制。中国量子科技发展已位于世界前列，但要稳固领域绝对优势，还需要进一步强化战略谋划和系统布局。目前中国尚未建立国家级量子专项战略计划，可通过建立健全新型举国体制，建立量子科技专项战略和计划，强化跨领域跨部门协作，丰富量子研究合作形式，促进政产学研衔接，全面推动量子科技基础研究、技术攻关和产业应用，加强量子科技战略的统筹推进和组织实施。

二是抢占量子科技领域制高点。量子科技是当前及未来一段时间内国际科技竞争的关键领域。世界主要科技大国均已在量子科技领域加大投入，已形成中国、美国领先，英国、日本和加拿大等国家紧随的国际竞争格局。中国要进一步加大量子计算方面的技术突破，通过计算能力指数级的提升为人工智能、工程生物学、基因编辑、未来通信和新材料研发等众多关键核心领域提供算力支撑；进一步强化量子互联网战略制定，发挥中国在量子通信领域领先优势，抢占量子互联网制高点；加快推进量子领域标准的研究制定，参与国际量子技术监管，确立中国在量子科技领域绝对优势地位。

三是加速量子技术的产业化应用。通过政府采购等方式，在重点行业开展量子技术商业化的先行先试，加大风险投资投入，加速成果转化应用；积极融入全球高端产业链，以产业发展的关键核心问题为牵引，开展共性技术研发；支持跨领域交叉研究，探索出量子科技和数字经济、人工智能等高端产业深度融合的新型发展道路，最大限度地发挥量

子科技在改善生活、提高国家安全和弹性、促进经济增长等方面的潜力。

四是建立量子技术开放生态。中国与世界主要科技国的合作紧密程度不及欧盟和美国，需要进一步提高国际化、开放化，通过在政府层面制订战略性合作计划，为量子技术研发和产业应用赋能赋智，引导形成量子领域开放创新、互利共赢的交流机制和良好生态；加强高校在量子领域的学科布局，推进量子科学与其他学科的融合，培育专业型人才和复合型人才，为量子科技可持续发展提供人才储备。■

参考文献：

- [1] 光子盒研究院. “未来十年，加注 25 亿” 英国官宣《2023 国家量子战略》[EB/OL]. [2023-11-22]. <https://new.qq.com/rain/a/20230316A082TO00>.
- [2] 全球技术地图. 英国发布《国家量子战略》[EB/OL]. [2023-11-22]. <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1763284696612576714&wfr=spider&for=pc>.
- [3] 王静. 英国量子技术计划第二阶段发展动向 [J]. 全球科技经济瞭望, 2019, 34(4): 33-37.
- [4] 邹丽雪, 刘艳丽, 董瑜, 等. 量子科技创新战略研究 [J]. 世界科技研究与发展, 2022, 44(2): 145-156.
- [5] 中国信息通信研究院. 量子信息技术发展与应用研究报告 (2022 年)[R/OL]. [2023-11-26]. <http://www.doc88.com/p-78139636396169.html>.
- [6] 信息安全与通信保密杂志社. 从《国家量子战略》看英国量子技术未来发展新动向 [EB/OL]. [2023-11-22]. <https://www.163.com/dy/article/I4PU47480552NPC3.html>.
- [7] Quantu Computing Report. UK Rejoins Horizon Europe under a new deal enabling renewed opportunities for quantum research collaborations[EB/OL]. [2023-11-22]. <https://quantumcomputingreport.com/uk-rejoins-horizon-europe-under-a-new-deal-enabling-renewed-opportunities-for-quantum-research-collaborations/>.
- [8] 光子盒. 2022 全球量子信息科技政策报告 [R/OL]. [2023-11-26]. https://wenku.so.com/d/6c6dfc9fdd03e23817dbe2e228dcf7ec?src=www_rec.
- [9] Department for Science, Innovation, Technology and George Freeman MP. £15 million competition to (下转第 62 页)

U.S. and Russia Research Institutions in Space Nuclear Power and Their Organizing Structures

GONG You, WANG Xinyan, ZOU Yisheng, Xia Mengdie, XIA Yun
(China Institute of Atomic Energy, Beijing 102413)

Abstract: As the countries with strongest capability in space nuclear power, the United States (U.S.) and Russia have long been developing space nuclear power as a national strategic and core technology. Driven by key strategic needs, the two countries consistently promote R&D in space nuclear power and have established strong technology basis. Space nuclear power has been applied in engineering in scale and is maintaining a momentum of rapid development in the two countries. The U.S. and Russia have established effective organizing/management systems of space nuclear power and research institutions with advanced capabilities. The characterized organizing/management systems unite outstanding domestic research forces to conduct synergized research. This paper investigates the status of the U.S. and Russia research institutions in space nuclear power and their organizing structures and then analyzes characteristics of and experiences in the organizing structures to provide corresponding suggestions and proposals for developing space nuclear power in China.

Keywords: the United States; Russia; space nuclear power; research institution; organizing structure

(上接第25页)

accelerate use of quantum in government[EB/OL]. [2023-11-23]. <https://www.gov.uk/government/news/15-million-competition-to-accelerate-use-of-quantum-in-government>.

[10] 光子盒. 英国开展产学研合作的量子计算项目 [EB/OL]. [2023-11-23]. <https://quantumchina.com/newsinfo/4895459.html>.

Research of Development Strategy and Trends of Quantum Technology in U.K.

FANG Wei, FENG Gaoyang

High Technology Development Center of Anhui (Basic Research Management Center of Anhui), Hefei 230088

Abstract: This paper conducts research and analysis on the strategy and trends of quantum technology development in the UK, and finds that the U.K. government is committed to building a global leading quantum economy through long-term national strategic planning, sustained and stable investment, and multi departmental collaboration, effectively promoting the development of the national quantum industry. Thus, suggestions are proposed for the development of quantum technology in China, such as establishing a new national system, seizing the high ground in the field of quantum technology, accelerating the industrial application of quantum technology, and building an open ecosystem, to further consolidate China's absolute advantage in the quantum field.

Keywords: the U.K.; quantum science and technology; quantum computing; technology strategy