

创新策源视角下中美量子计算“科技—产业” 进路特征、模式比较及镜鉴启示

李振东¹, 陈劲^{2,3}, 赵晨¹, 余江⁴

(1. 北京邮电大学经济管理学院, 北京 100876; 2. 清华大学经济管理学院, 北京 100084;
3. 清华大学技术创新研究中心, 北京 100084; 4. 中国科学院科技战略咨询研究院, 北京 100190)

摘要:量子计算技术产业愈发成为未来科技高地竞争的关键变量,但其创新发展路径与进路模式尚待探析。本文通过专利量化与质性分析结合法,解析了中美量子计算科技创新与产业创新发展特征,并从创新策源视角对比分析了中美在政府政策、产业创新主体及要素机制方面的主要经验做法,以此凝练得到发展进路模式。研究发现:美国量子计算呈现以头部科技企业为创新策源的产业发展进路模式,具体为“政府引导支持—头部科技企业主导的创新联盟—基于既有平台优势培育产业生态”。中国量子计算以头部高校/科研院所为创新策源的产业发展进路模式,具体为“政府战略牵引—高校/科研院所主导的创新协同—初创企业为成果转化载体—央企应用示范与场景创新”。由此提出我国量子计算技术产业进一步发展的镜鉴启示。

关键词:创新策源;量子计算;科技创新;产业发展;进路模式

中图分类号:F062.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1005-0566(2026)01-0001-15

Characteristics, patterns, and implications of the S&T-industry development pathways in quantum computing between China and the United States from the perspective of innovation origination

LI Zhendong¹, CHEN Jin^{2,3}, ZHAO Chen¹, YU Jiang⁴

(1. School of Economics and Management, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China;
2. Tsinghua University School of Economics and Management, Beijing 100084, China;
3. Research Center for Technological Innovation, Tsinghua University, Beijing 100084, China;
4. Chinese Academy of Sciences Science and Technology Strategy Consulting Institute, Beijing 100190, China)

Abstract: Quantum computing technology has increasingly become a critical variable in the competition for future technological supremacy, yet its innovation pathways and development models remain inadequately clarified. This paper systematically examines policy reports and textual materials from recent years in the quantum computing domains of China and the United States, employing qualitative analysis to elucidate the current S&T innovation layouts and industrial development characteristics of both nations. From an innovation origination perspective, it comparatively analyzes the fundamental approaches of both countries in governmental policymaking, industrial innovation entities, and institutional mechanisms, thereby crystallizing distinct developmental pathway models. Research findings: The United States quan-

基金项目:国家自然科学基金资助项目(72474033,72232004);清华大学国家治理与全球治理研究院高端智库重点专项(2022THZWYX10);教育部人文社会科学研究规划基金资助项目(24YJC630119)。

作者简介:李振东(1989—),男,山东潍坊人,北京邮电大学经济管理学院特聘副研究员,管理学博士,研究方向为技术创新管理。通信作者:赵晨。

tum computing presents an industrial development approach model with leading technology enterprises as the source of innovation, which is specifically “government guidance and support-innovation alliances dominated by leading technology enterprises-ecosystem cultivation based on existing advantages”. Conversely, China exhibits an academic-driven development model with top universities/research institutes as innovation sources, structured as “government strategic steering-innovation collaboration led by academic institutions-start-ups as the carrier of achievement transformation-application demonstration and scenario innovation by central state-owned enterprises”. Based on comparative analysis, the paper concludes with policy implications for advancing China’s quantum computing technology industry.

Key words: innovation origination; quantum computing; S&T innovation; industrial development; route mode

大国博弈与科技革命相互交织,高技术领域成为国际科创高地竞争最前沿与主战场。尤其是量子计算领域的颠覆性技术突破涌现速度不断加快,其蕴含的创新动能将彻底颠覆社会生产方式,重塑世界经济格局。因此,各国正不断加大量子计算的政策强度,激活各类主体投入积极性与创新活力,推动量子计算技术创新生态加快形成,抢抓量子计算产业先发优势。对此,习近平总书记多次强调“要加快量子计算等前沿技术研发和应用推广”^①。党的二十届三中全会也明确提出“建立未来产业投入增长机制,完善推动量子科技等战略性新兴产业发展的政策与治理体系,引导其健康有序发展”^②。这些都说明量子计算等关乎国家长远发展的未来技术产业,愈发成为国家政策关注焦点,而进一步释放主体创新动能、培育技术创新生态与产业体系成为主要发力锚点。

量子计算技术是一种基于量子位处理信息的全新计算模型。随着其关键核心技术不断获得突破、技术产业体系趋于完善,其相对经典计算模式的“量子优越性”将带来前所未有的技术跨越,未来一系列重大挑战也可能迎刃而解,如各类创新药物研发、极端复杂问题优化、宇宙深层奥秘揭示等^[1-3],尤其是其与新一代人工智能等技术的深度交融,将能彻底颠覆社会生产方式、创新范式及发展模式^[4-5]。基于此,量子计算是关系国家长远发展的、必须全力争胜的新赛道,也是中美科技高地博弈、未来产业竞争优势的关键技术与基座产业。

一方面,从量子计算科技产业体系看,美国初步实现在量子计算全产业链条覆盖,具有竞争优

势,如 IBM、谷歌等公司在量子计算技术与产业转化方面已形成了初步优势,亚马逊、微软等互联网科技巨头在量子计算软件、操作系统等软件方面取得先发优势,而英伟达等科技新贵也正在利用既有产业生态优势不断向量子计算领域进行生态迁移。另外,从全球量子计算生态体系建设态势看,美国主导“小院”国家推动量子计算领域的生态藩篱雏形已现。如 IBM、谷歌等头部科技企业牵头,联合盟友国家企业,建立了诸如国际量子计算产业联盟等组织。而 IBM、微软、英伟达等科技巨头凭借在经典计算领域累积的技术与市场优势,其主导的应用生态和技术体系正逐渐形成,这将为美企在未来量子计算产业中建立起生态壁垒。与此同时,我国也在量子计算科技产业体系中实现了追赶式创新,并在一些技术路线取得领跑优势,如“祖冲之号”系列、“九章”系列量子计算机分别在超导、光量子技术路线实现领先优势。我国还在算法优化、软件生态等方面取得了显著突破,如“本源悟空”系列量子计算机的硬件、芯片、操作系统及应用软件均实现自主可控,“天衍”“五岳”等系列量子计算云平台陆续上线,持续支撑着量子计算应用生态的完善与发展。

中美都在量子计算科技创新与产业发展中取得了显著成绩,但二者在创新策源视角下的科技创新与产业创新发展模式存在显著差异,因此需就此展开对比分析,为我国量子计算科技产业的进一步发展提出对策建议。既有研究在量子计算等未来技术的创新策源领域尚为空白,而中美科

① 习近平:当前经济工作的几个重大问题,求是,2023-02-16. <http://www.eppcc.gov.cn/zxww/2023/02/15/ART11676450073936516.shtml>.

② 第二十届三中全会审议通过的《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》,2024.07.18. https://www.gov.cn/zhengce/202407/content_6963770.htm?sid_for_share=80113_2.

技博弈烈度持续上升,亟须从创新策源视角,对量子计算科技创新与产业发展实践结构开展补位研究。基于此,本文全面剖析中美量子计算科技创新与产业创新发展现状,凝练得到两国量子计算“科技—产业”进路特征与发展模式,并基于对比分析提出创新策源视角下我国量子计算科技产业进一步发展的镜鉴启示。

一、理论基础与逻辑分析

(一)创新策源内涵特征及外延意义

创新策源起源于“中兴、华为事件”及中美贸易摩擦到科技脱钩。在此趋势演变背景下,习近平总书记于2018年在上海考察时,提出应在增强创新策源能力上下功夫。创新策源能力是一个国家和地区把握前沿科技发展趋势、抢抓未来科创高地的关键能力,充分激发原始创新策源能力是决定其成为基础科学引领者、技术发明创造者、产业创新开拓者的基础。只有不断提升我国科技创新策源能力,建成世界科技创新策源高地,才能促使我国勇立高水平世界科技强国潮头,持续提升我国未来产业价值链位势,以基础研究突破为驱动,筑牢未来产业技术优势。

关于创新策源的内涵,学界尚无一致认识,但普遍认可“策源”即策划与发源,而创新策源则是指创新活动的策划与发源过程。最早是麻省理工学院创新管理教授 Eric von Hippel 在《创新的源泉》中提出的,其认为创新策源具有“首次”和“源头”两个特征,即强调“第一次研制或创造产品、技术或工艺,显著提升既有水平”和“主导方能够引发连锁带动效应,形成产业创新优势”^[6]。因此,创新策源相较一般创新,更加强调首次、首创的源头性创新活动,同时该活动能够带动相关主体协同发展。而相较基础研究而言,创新策源重点突出了带动、统筹相关各方主体,形成创新合力与共同发展的特征。

具体来看,创新策源是有组织地汇聚相关资源,创造重大成果,并进行有效转化,支撑并引领未来产业和经济发展的全过程活动^[7-8]。已有一些研究对创新策源相关能力进行研究^[9-10],通过定性与定量方式都证实了创新策源能力的辐射引

领作用,并补位研究了相关影响要素与创新动力机制,强调了政府在其中引导作用^[11-13]。值得注意的是,一般意义上的创新能力是创新策源能力的下位概念,而创新策源能力的核心内容强调的是原创能力。也即,创新策源的核心是策划原始创新的源头活动,是“无中生有”的过程,这有别于一般意义上的创新活动多聚焦于“有中求新”“踵事增华”的过程。此外,创新策源的外显特征,体现为在主体关系、资源配置及环境机制方面具有较高的策划性、有组织性,这是因其对应的原始创新具有较高的技术复杂度与不确定性,需要主体间高度协同、资源高效配置、有利创新环境及支撑机制^[14-15]。因此,创新策源相较协同创新突出了源头策引特征,较原始创新更突出了主动辐射引领特征。基于此,本文将创新策源的核心指征具象为一定协调下的“无中生有”的创造活动与强辐射带动效应。

(二)创新策源与未来技术产业发展

创新策源能力聚焦的原创性、引领性能力特征,较好契合了量子等未来技术发展规律。一方面,相较于广义创新能力,创新策源能力更强调全新知识创造、开创性技术研发等活动的颠覆性、原创性能力^[13,16],这与量子等未来技术特征高度一致,适配其创新活动。量子计算等未来技术尚处于探索阶段,存在较大的技术不确定性与较多的堵点难点,需要“从无到有”的知识创造活动。通过强化创新策源能力的注意力,能够促使创新主体对于基础研究、原创技术的重视,促进集中资源开展从0到1的突破性创新活动,以助力量子计算等前沿未来技术的突破^[17]。另一方面,创新策源能力的原创性、引领性等特征外生的引领辐射效应^[7,18],能够通过资源的不断积累、成果的示范推广,引领技术扩散、创新生态完善,这将助力量子计算等未来技术扩散、构筑更加丰富的技术应用生态^[19]。

创新策源活动的有组织性、统筹策划性等特征,又能较好地契合了未来技术产业长期规划、系统发展。创新策源主体有组织、统筹规划地开展科技创新活动,强调政策引导下的多元创新主体协同、资源汇聚与高效配置,以及各类创新要素、

环境机制的支撑等^[14-15]。这些特点高度适配量子计算等未来技术创新生态建设与产业发展需求。量子计算等未来技术需要各类产业主体的协同与资源支撑,但其高技术风险致使基于市场机制的主体投入不足^[20],因此需要适度地有组织调配,政府引导主体协同、资源汇聚,并制定适配环境机制^[21]。由此可见,创新策源活动有益于量子计算等未来技术创新生态完善与产业体系培育。

基于此,在创新策源视角下,量子计算等未来技术产业的高质量发展,需要政府适度给予政策支持、汇聚资源,推动策源主体主导下的各类创新主体的协同,不断完善技术创新生态,同时需策引更多产业主体参与,健全产业体系。

二、研究方法

通过收集与梳理近年来中美两国在量子计算领域的政策文件、报告文本及新闻材料,穿插文献对话与专家沟通,本文凝练得到创新策源视角下的中美量子计算“科技—产业”进路特征与发展模式。在此基础上,进一步提出适配中国量子计算产业未来发展的镜鉴启示。

本文梳理了中美两国量子计算领域的相关政策文件、政府工作报告及智库研究报告,具体如下表 1 所示。以“量子计算”为关键词,遍历头条新闻、百度新闻与 Google 新闻,经爬取并人工去重,梳理了 198 条直接相关的新闻文本和 97 篇相关文献。

表 1 文本资料获取与整理

资料类型	资料来源	资料内容/渠道/使用目的		
中国政策报告	国家政策文件	《“十三五”国家科技创新规划》《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》《“十三五”国家基础研究专项规划》《关于加强基础研究专项规划》《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》《“十四五”国家信息化规划》《新兴产业标准化领航工程实施方案(2023—2035)》《计量发展规划(2021—2035)》《关于推动未来产业创新发展的实施意见》《推动数字金融高质量发展行动方案》《信息化标准建设行动(2024—2027 年)》《中共中央关于进一步全面深化改革、推进中国式现代化的决定》		
	评价报告	《数字中国发展报告(2020)》(中共中央网信办);《新质生产力系列专题之中国量子信息产业链全景与机会洞察专题研究报告》《中国量子计算行业市场前景及投资机会研究报告》(中商产业研究院);《量子通信/计算政策汇编》(锋行链盟);《中国量子科技行业市场全景调研及未来趋势研判报告》(智研咨询);《量子信息技术发展与应用研究报告(2024)》《量子计算发展态势研究报告(2025 年)》(中国信通院);《量子计算性能评估基准研究报告》(量子科技产学研创新联盟)		
美国政策报告	国家政策文件	《推进量子信息科学:国家挑战与机遇》《量子前言:国家量子信息科学战略参考报告》《量子信息科学国家战略概述》《国家量子倡议法案》《国家战略性计算计划(更新版):引领未来计算》《国家量子信息安全法案》《量子网络研究的协调方法》《国际人才在量子信息科学中的作用》《量子信息科学和技术劳动力发展国家战略计划》《美国量子网络战略愿景》《芯片和科学法案》《更新国家量子计划:维持美国在量子信息科学领域地位的建议》《国家量子计划重新授权法案》《量子技术政策指南》		
	评价报告	美国数据创新中心评估报告(2023):《The U. S. Approach to Quantum Policy》;美国国家量子计划咨询委员会综合报告(2024):《Quantum Networking: Findings and Recommendations for Growing American Leadership》;IVC:《2024 Global Quantum Computing Industry Development Prospect》;MIT:《Quantum Index Report 2025》;量子经济发展联盟(QED-C):《2025 Global Quantum Industry Snapshot》		
量子计算补充材料	公开新闻报道	头条、百度、Google 新闻网络爬取	198 条	与政策文件质性分析结果进行对比分析,并发现和补充更多有效信息增量
	公开文献资料	以“quantum science and technology”“Policy”“量子计算”与“政策”分别在 WoS/知网检索	WoS(56 篇) 知网(41 篇)	从外部视角,交叉验证前述研究发现的普适性与研究贡献,同时闭环三角验证

基于梳理归集后的材料,由两名编码者分别对中美量子计算“科技—产业”发展特征、路径模式进行背对背编码,同时由于政策材料抽象性和战略内容宽泛性,给予两名编码者较大自主裁量权,但其最后都凝练得到了相似现状与路径模式。进一步地,通过新闻文本与文献资料分析,从政府政策、产业创新主体、技术市场、产业链体系、要素机制等维度,凝练得到了主要研究结论,闭环三角

验证。

同时,本文进一步通过量子计算专利网络,对比分析中美两国量子计算领域的创新策源地情况。本文通过 incopat 专利平台,选取世界知识产权局、美国专利商标局、我国国家知识产权局等 26 个世界主要知识产权局,作为具体专利数据来源。具体分析过程是:首先,以“量子计算”“Quantum Computing”为检索关键词,截至 2024 年共检索得

到去重专利数据 11 178 条;其次,提取其“专利权人”国别为中国和美国的数据,分别得到 3 767 条和 4 717 条;最后,过滤掉专利权人为个人、政府等类型的数据,以出现频次大于等于 5 为筛选条件,

通过 Gephi 分别构建量子计算领域中国和美国的合作网络图,见图 1。图 1 中节点大小反映专利持有主体在网络中的中心度,也在一定程度表征了其创新策源情况,见表 2。

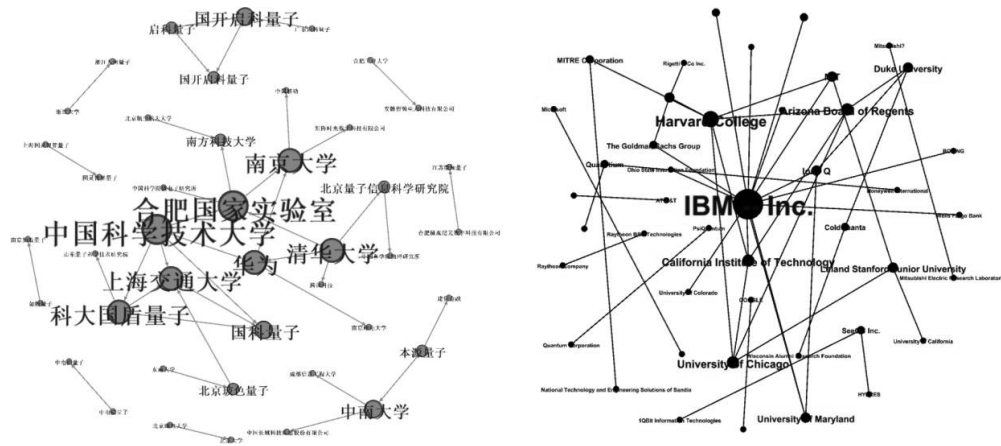


图 1 中美量子计算专利网络与主体中心度情况

表 2 中美两国量子计算专利主体的网络中心度

中国		美国	
专利主体	网络中心度	专利主体	网络中心度
中国科学技术大学	5	IBM	11
合肥国家实验室	5	Harvard College	6
华为	4	Google	4
科大国盾量子	4	University of Chicago	4
上海交通大学	4	California Institute of Technology	4
清华大学	4	Arizona Board of Regents	4
南京大学	4	Microsoft	3
中南大学	3	MIT	3
国开量子	3	IonQ	3
国科量子	3	University of Maryland	3
本源量子	2	Duke University	3
启科量子	2	Leland Stanford Junior University	3
国开量子	2	The Goldman Sachs Group	2
北京量子信息科学研究院	2	Quantum	2
南方科技大学	2	ColdQuanta	2
北京玻色量子	2	SeeQC Inc.	2
		MITRE Corporation	2

注:采用点度中心度,仅列示网络中心度大于等于 2 的专利主体。

三、创新策源视角下中美量子计算“科技—产业”进路特征

通过质性与专利量化结合分析,可发现创新策源视角下中美量子计算“科技—产业”进路的总体特征:中国以头部高校、科研院所为核心创新策源高地,而美国虽有高校深度融入量子计算的创新策源活动,但总体上表现为以头部科技企业为核心创新策源高地的特征。进一步地,本文对创新策源视角下中美量子计算“科技—产业”进路中

的科技创新(创新主体功能定位、创新技术路线布局、创新动力生成机制)及产业创新发展(产业链完善、产业应用创新生态建设)特征开展具体分析。

(一)中美量子计算科技创新进路特征

1. 头部科技企业策源下的美国量子计算科技创新发展特征

(1) 政府强力支撑下头部科技企业为核心、高校、科研院所为智辅的创新主体功能定位

与以往其他领域“自下而上”由市场推动的创新发展战略不同,美国量子计算领域的创新发展,是由白宫政府统管、联邦各机构高度联动下的创新发展路径。2018 年,美国政府便于白宫科技政策办公室下设置国家量子协调办公室(NQCO),以协调联邦政府各机构之间在量子技术领域的工作,同时,在国家科学技术委员会下设立量子信息科学小组委员会(SCQIS),负责量子技术对美国经济和国家安全的影响事务,辅助国家量子相关政策咨询,由此形成了完善的量子专班体系。从 2016 年开始,政府便密集出台了《推进量子信息科学:国家挑战与机遇》《量子信息科学国家战略概述》《国家量子倡议法案》《美国量子网络战略愿景》等国家政策文件,通过直接的资金、财税及其

他红利手段引导更多力量聚焦量子计算领域的技术创新发展。在既有技术优势与不断利好的政策刺激下,美国量子计算的创新策源地逐渐向头部科技企业聚集。同时,美国科技企业也表现出了一定优势,如 IBM、谷歌公司在量子计算基础技术创新、产品创新方面处于行业领先地位,英伟达也基于既有 GPU 技术优势向量子计算的应用创新方向进行快速拓展,而亚马逊、微软与谷歌也结合既有云平台技术优势持续推进量子计算云平台融合与架构能力的创新发展。

高校、科研院所在美国量子计算创新生态中也扮演着重要角色。一方面,高校、科研院所为头部科技企业的技术创新持续供给基础研究成果;另一方面,为企业技术瓶颈的协同攻关贡献智慧。首先,从 2018 年特朗普签署《国家量子倡议法案》到拜登政府 2022 年发布的《芯片与科学法案》,美国政府为高校、科研院所的量子计算基础研究提供了稳定而充足的资金支持,并将量子信息服务等纳入美国国家科学基金会(NSF)的技术、创新与合作局(TIP),而诸如能源部也都在自己的国家实验室建立了跨学科量子研究中心,以发展量子计算基础理论与技术,这为企业量子计算的创新发展提供了基础理论。其次,如图 1 所示,在以头部科技企业为中心的专利合作网络中,高校、科研院所也是其重要合作主体,这说明高校、科研院所量子计算的一些重要创新突破中扮演着技术协同角色。最后,在具体量子计算技术发展实践中,高校、科研院所也已深度融入在科技企业的技术创新活动中。例如,谷歌正与斯坦福大学、麻省理工学院等高校紧密合作,共同探索量子计算的未来应用;IBM 与麻省理工学院、耶鲁大学等高校合作,正致力于量子算法的研发和优化;亚马逊与加州大学伯克利分校、橡树岭国家实验室等高校、科研院所合作,共同研究量子计算在机器学习领域的应用。但这些研究合作中头部科技企业一般更具主导权,合作也以契合企业技术需求的研究问题为导向,通常是企业技术委托或科技服务咨询

等形式。

(2) 自由探索与多元资金支持下的全技术路线覆盖

美国量子计算的技术发展得益于政府政策引导和各类资金的支持。2016 年,美国政府将量子信息科学的发展上升为国家战略,并在 2018 年发布了《量子信息科学国家战略概述》,确定了联邦政府量子投资的 6 个政策机遇和优先事项。而在同年实施的《国家量子倡议法案》中,直接投资 12 亿美元支持量子计算在内的量子技术研发。此外,美国国防高级研究计划局、能源部、NSF 等机构也通过直接资金或项目形式,积极支持量子计算的研究与发展。美国政府亦出资建立了多个国家级量子计算相关研究中心,如 Q-NEXT 国家量子信息科学研究中心等。这些研究中心汇聚了来自不同领域的顶尖科学家和工程师,通过自由探索与跨学科交叉,推动美国覆盖超导、光量子、离子阱、中性原子、硅半导体、拓扑等全技术路线,并在各技术路线取得了一定成绩^③。

同时,支撑美国量子计算全技术路线覆盖的另一个重要原因是从事量子计算技术路线探索的核心主体较多为头部科技企业,其在既有优势的业务中已实现巨额资本积累,拥有支撑其开展高风险技术路线探索的存量实力。同时,美国科技巨头已充分融入全球金融与人才网络,能够撬动国际资本与人才增量,以支撑其全技术路线的自由探索。此外,美国有 100 余家从事各类技术路线的量子计算初创企业,且占据 2023 年全球量子计算领域融资的 2/3 以上,而初创企业中的 Rigetti、IONQ、D-Wave 及 Quantinuum 等都已完成企业上市,其量子计算技术及原型机开发方面也取得了显著成绩。综上因素,多元资金支撑下的自由探索活动,推动美国能够覆盖量子计算领域的全技术路线与潜在应用创新方向。

(3) “技术驱动”与“需求拉动”下的创新动力机制

从技术供给角度看,量子计算技术是一种基

^③ IVC:《2024 Global Quantum Computing Industry Development Prospect》<https://www.icvtank.com/newsinfo/897610.html>

于量子位处理信息的全新计算模型,美国诸多科研机构已验证了量子计算技术的优越性,且谷歌、IBM 等企业在量子计算的基础研究、应用开发等方面取得重要突破。例如,谷歌在 2019 年宣称其设计的“悬铃木”量子计算机已实现了“量子霸权”,即其量子处理器在特定问题处理上显著快于传统超级计算机;IBM 也持续在量子计算领域发力,公布了实现 50 个超导量子比特的消息;2024 年,Quantinuum 公司又开发了 56 量子比特量子计算机,性能超谷歌悬铃木 100 倍;2024 年年底,谷歌 Willow 量子芯片取得“量子纠错”的里程碑式突破。这些持续的技术突破与美国政府一系列的政策支持,促使更多创新主体感知量子计算技术的可及性及发展潜力,也驱动更多创新主体与资金、人才等要素深度涉入量子计算领域。

从应用需求角度看,随着量子计算被应用到更多场景,及其表现出的性能优越性,引起了更大市场与更多应用场景创新的需求,特别是量子计算在药物发现、材料科学、金融优化等领域展现出巨大潜力与潜在需求^[22-23],促进了量子计算技术的快速发展^[24]。如罗氏(Roche)、辉瑞(Pfizer)、默克(Merck)等医药行业巨头都已与量子计算企业建立了合作关系,而在过去的 10 年里,制药行业与量子计算相关的专利申请量激增了 70%。2022 年,美国洛杉矶港与量子计算和数据优化公司 SavantX 合作,大大提升了 300 号码头吞吐效率,日卸货量增加一倍。微软、苏黎世联邦理工学院和西北太平洋国家实验室基于量子计算模拟催化化学反应,实现了 30 倍加速和成本降低 10 倍。量子计算在实际场景中的创新应用与优越表现,进一步提振了创新动力与市场需求。

2. 头部高校科研院所策源下的中国量子计算科技创新发展特征

(1) 政府战略牵引下科研院所为核心、初创企业为载体的创新主体功能定位

我国于 2016 年首次将量子科技列入政府工作报告,同年发布《“十三五”国家科技创新规划》,将量子计算机列入“科技创新 2030—重大项目”,其后“量子计算”“量子科技”“量子技术”等内容逐

渐成为中央相关文件内容的表述“热词”。2016—2024 年,共计 12 份中央重要决议文件中提及量子科技相关内容,量子科技由此写入国家顶层设计。而近年来发布的相关政策更是将量子计算纳入中央单列前沿技术方向与经济工作会议范畴。透过政策内容解析,可发现我国量子计算政策以战略大方向引导为主,贯穿了从量子基础理论探索、技术研发到应用推广的全过程^[25],较好地推动了各类创新主体涉入量子计算领域,尤其是强化了高校、科研院所的使命担当,激发了争先勇为精神。

整体来讲,我国量子计算领域的创新主体功能定位为:头部高校、科研院所为创新策源高地,为技术创新的核心主体;而依托高校、科研院所创设的量子初创企业,为技术应用创新与转化落地载体。具体地,头部高校及科研院所,承担了量子计算主要的基础理论、技术创新活动,而在应用创新环节,主要是由依托前者科研平台成立的诸如国盾量子、本源量子等量子计算初创企业及科研单位开展,而部分企业如阿里、百度、华为及中国电信等大型企业也有部分量子计算研发活动。

但同时,创新策源主体结构也呈现出“民退国进”的趋势,具有相关资源基础的民营头部科技企业纷纷选择退出或放缓量子计算研发节奏,而国家部委直属的头部高校、科研院所持续加速量子计算技术突破。具体地,2023—2024 年,阿里、百度相继关闭了其量子实验室,而华为与腾讯的量子计算技术研究也相继放缓。民营头部科技企业放缓量子计算的发展步伐,一方面是由于自身经营绩效的持续下滑,另一方面是由于当前量子计算产业化商业化尚未完全成熟,短期内不能为企业带来可观收益。但与此同时,中国科学院、中国科学技术大学等国家科研单位连续发布多项量子计算技术重要突破,如构建了 255 个光子的原型机“九章三号”、第三代自主超导量子计算机“本源悟空”核心部件——高密度微波互连模组的完全国产化。同时,本源、华翊、国盾等量子计算新兴企业开始冒尖,依托头部高校、科研院所平台的技术与资源优势,在产品技术突破与应用创新方面取得了一定成绩。此外,2024 年召开的中央企业科

技创新大会,明确了中央企业应在量子科技等前沿领域布局,发挥担当与表率作用,这也将引导更多头部企业涉入量子计算领域。

(2) 重点布局与前沿导向下的多技术路线推进

我国近年来公布的一系列量子科技相关的政策文件,基本都是从宏观设计层面给予了战略重视。如 2017 年发布的《“十三五”国家基础研究专项规划》与 2018 年发布的《关于全面加强基础科学研究的若干意见》,都将量子计算研究纳入战略性技术领域予以考量,并将具体的实现路径的技术选择权让渡给科研机构。基于此,国内量子计算的技术路线方向依赖高校、科研院所的基础研究支撑,形成了深度互嵌的产学研一体化发展模式,其主要技术资金源自纵向科学基金支持。而

国家主要科研基金的“申请—考核”制,促使申请人更愿意聚焦技术路线清晰的课题方向,以提升基金获批概率与应对过程考核压力。此外,一些科研基金的出题机制,也可能使技术路线聚焦在国家战略导向上,促使我国量子计算重点布局几条战略重点技术路线。结合前述美国量子计算技术路线布局分析,可总结中美量子计算各技术路线主要研究与领先机构,如表 3 所示。总体看,国内量子计算研发主要聚焦在超导、光量子两条技术路线,也存在少数机构在离子阱等技术路线进行创新活动,虽不如美国覆盖全面,但在相对更为成熟与更具应用创新潜力的技术路线上重点布局,且国家政策的前沿战略导向,推动我国量子计算取得了显著技术成绩。

表 3 中美量子计算各技术路线主要研究与领先机构

技术路线		主要研究机构(核心领域)		领先机构(产品)
超导量子计算	美国	IBM(原型机、云平台)、谷歌(原型机、云平台)、Rigetti Computing(量子计算系统)		谷歌(悬铃木、Willow 量子计算机)、IBM(Condor、Heron 量子计算机);中国科学技术大学(祖冲之号)、本源量子(本源悟空)
	中国	中国科学技术大学(原型机)、中国科学院量子创新所(量子芯片)、北京量子院(量子芯片、云平台)、清华大学(硬件技术设备)、国盾量子(原型机、云平台)、中电信量子(量子计算云平台)、本源量子(原型机、云平台)		
光量子计算	美国	PsiQuantum(原型机)、Quantum Opus(硬件技术设备)		中国科学技术大学(九章)、玻色量子(天工量子大脑)
	中国	中国科学技术大学(原型机);玻色量子(量子计算架构)		
离子阱量子计算	美国	IonQ(量子处理器)、霍尼韦尔 Quantinuum(原型机)		Quantinuum(量子阱原型机 Model H2-1)
	中国	清华大学交叉信息研究院(硬件技术设备)、华翊量子(原型机)、么正量子(原型机)、启科量子(原型机)		
中性原子量子计算	美国	QuEra(原型机)、Infleqion(原型机)、ColdQuanta(硬件、软件平台)、微软 & Atom Computing(计算机)		QuEra(Aquila 原子量子处理器)、Atom Computing(Phoenix 量子计算机)
	中国	中科酷原(原型机)		
硅半导体量子计算	美国	Intel(原型机)、IBM、EeroQ(量子芯片)、		—
	中国	本源量子(量子芯片)		
其他	美国	微软(“拓扑”量子计算机)、Quantum Computing Inc(“熵”量子计算机)		—
	中国	—		

(3) “政策牵引”与“技术推动”下的创新动力机制

量子计算尚处于产业化初期,其应用技术尚存在较多卡点,需要一定的政策支持与引导。我国从 2016 年起便陆续发布了多项相关政策,从顶层设计上为量子计算的创新发展提供了战略方向与政策保障。通过政策引导和支持,我国逐步形成了量子计算领域的技术创新生态,汇聚了头部科研单位、企业等,涵盖了量子计算硬件、软件、算法、应用等全流程要素,形成了政产学研用紧密结合的创新链条,互推共进、同向发力,释放了量子计算创新协同的乘数效应。

我国量子计算领域创新动力的另一个来源是不断取得的技术突破成绩持续激发科研人员的研发热情与创新主体的积极性。例如,中国科学技术大学团队成功构建了包含 255 个光子的量子计算原型机“九章三号”,在处理高斯玻色取样等数学问题上比全球最快的超级计算机快一亿亿倍。2025 年 12 月,“祖冲之 3.2 号”在量子纠错方向上实现了“越纠越对”重大进展,这为量子计算机走向产业化实用奠定了重要基础。这些技术突破充分展示了我国量子计算的应用实力与潜力,也为我国量子计算的进一步发展注入了强大创新动能。

(二)中美量子计算产业创新发展进路特征

1. 美国:政府引导与头部科技企业平台牵引的产业创新发展特征

(1)政府支持下头部科技企业主导的产业链体系持续创新完善

鉴于量子计算技术的前沿战略性与产业基础性,美国正加快量子计算产业创新发展的国际战略布局,通过头部科技企业牵头主要盟国企业,建立了诸如国际量子计算产业联盟等组织,以期加快形成产业创新突破。同时,IBM、微软、英伟达等科技巨头凭借在经典计算领域累积形成的技术与市场优势,正加快打造量子计算用户的封闭产业创新体系。2020年,为了构筑强大的量子计算产业和相关供应链,形成量子计算的产业技术标准体系,美国成立了包含其主要量子计算企业、研究机构 and 高校等近200家单位的量子经济发展联盟(QED-C),这进一步推动美国量子计算产业供应链的加速建设。

美国国内也围绕量子计算产业密集出台了一系列选择性产业政策,以期快速形成产业创新能力优势,而这些政策涵盖了支持量子计算产品创新、产业化创新,加强量子产业创新人才队伍建设及发展量子产业体系化创新等多个方面。具体表现:一是美国政府在量子计算产业的直接投资不断增加,美国国家科学技术委员会发布的《NQI 2024 年年报》显示,美国在量子信息领域实际投资中,量子计算产业细分领域的直接投资占比最高,5年共计投资约14亿美元,这为量子计算产业体系化创新能力的熟化提供了坚实保障;二是这些产业政策也主要以头部科技企业为载体,带动引领产业体系化创新发展,在政策引导下,美国头部科技企业通过设立量子计算实验室、举办量子计算竞赛、开展量子计算教育培训等,培育了一大批量子计算领域的专业人才,并牵引更多主体涉入量子计算产业体系,强化产业上下游创新突破能力。

通过一系列政策措施,美国量子计算产业体系的创新能力越发成熟,并形成对一些关键元器件、零部件的创新优势与供应垄断。依靠其主导的QED-C,美国充分聚拢了世界范围内的量子硬件相关供应企业,持续催熟其主导的量子计算产业供应链。此外,在量子计算的软件、系统及算法等产

业环节,美国头部科技企业也正凭借既有资源与市场优势,抢占全产业链环节的领先优势。如IBM、亚马逊、微软等企业凭借其传统云计算平台优势,正在快速搭建量子计算云平台。微软也正在通过提供统一开发环境和通用编程语言,加速搭建量子计算产业的通用基础系统。这些头部科技企业通过既有资源与市场优势,向量子计算产业对应领域进行优势转化,正促使美国量子计算产业供应链体系加速完整化、成熟化。

(2)基于平台资源的量子计算产业应用创新生态不断丰富

随着量子计算技术卡点不断取得突破与其商业化应用所显现的巨大潜力,美国量子计算的主要头部企业都已加快其产品化与场景化创新节奏,以期构筑量子计算应用创新生态领域的主导地位。IBM、谷歌、微软等企业,一方面正加快量子计算技术与商业场景的融合创新速度,纷纷在药物研发、金融分析、材料科学等领域进行了布局,并取得了初步成果;另一方面不断丰富应用场景需要量子计算各类软件、平台的标准化支撑,因此头部科技企业也正在加速角力量子计算产业基座的布局,如操作系统、开发平台、工具软件等,以期形成用户黏性,抢占量子计算产业的基座地位。

首先,在支撑量子计算应用创新生态拓展的云服务方面,美国企业正凭借传统云服务优势,加快量子计算云平台建设。如IBM的Q Experience量子计算云平台,借助原有合作网络的产业生态系统,吸引了丰富的合作伙伴。亚马逊的Braket量子云平台,也通过向用户提供融合量子计算的云服务,转化AWS的云生态优势,逐渐形成在量子计算云服务领域的产业优势。其次,统一的开发环境与编程语言是推动量子计算应用创新生态走向成熟的基础。微软正搭建量子平台创新生态,意图复刻其在Windows操作系统的成功,形成量子计算产业的通用基础系统。IBM开发了全栈式量子软件Qiskit,谷歌开发了量子计算编程框架Cirq,进一步降低了量子计算的开发门槛。尤其是,英伟达正在全球多个国家量子计算中心安装其CUDA-Q平台,试图将其在GPU行业积累的CUDA编程优势迁移至量子计算领域。最后,量子

工具软件将直接助力应用场景的拓展,如亚马逊的云计算平台通过帮助客户识别最有潜力的量子技术应用场景,从而制定量子技术的长期战略和资源规划,这进一步促进了量子计算应用场景的创新。因此,基于既有资源优势,美国头部科技企业正通过向量子计算领域转移优势,实现应用创新生态的不断丰富与主导地位的确立。

2. 中国:政府牵引与学术创业推动下全产业链持续创新发展

(1) 高校和科研院所赋能下学术创业推动产业链一体化创新发展

量子计算产业是我国抢抓未来产业制高点的关键领域之一。近年来,国家出台了一系列政策文件以推动量子计算产业链各环节的协同创新活动,并逐渐形成了以头部高校、科研单位为核心平台,以学术创业为知识成果的产业化落地载体,逐渐形成了量子计算产业链各主体协同创新发展的产业体系。例如,在合肥,政府积极探索“学科+产业”的创新模式,通过政策引导量子学科优势释放,支持中国科学院、中国科学技术大学所属各量子科研单位为产业创新平台,聚拢了量子计算产业链上下游 30 余家企业,同时与周边企业建立了协同创新合作,这些企业不仅包括量子计算零部件、量子芯片、量子系统等产业链上游创新环节,也包括量子计算应用开发、技术服务与市场推广等产业链下游的创新环节,并不断补齐从产业技术到软硬件设备、零部件各环节进行链条。例如,中国科学技术大学团队的稀释制冷机、高密度微波互连模组等关键部件的研制成功,促使我国量子计算机供应链体系更加完备。

随着产业链体系的愈发完备,我国量子计算相关创新主体、产业主体交互也愈发活跃,尤其表现为量子计算产业主体愈发向集群化、一体化创新发展。量子计算是一类高度依赖前沿知识进阶与技术突破性创新的产业,而头部高校、科研院所是我国开展前沿基础研究与突破性技术创新的核心主体,因此产业主体需要紧密对接高校、科研院所。一方面,承接前沿知识成果,进行知识转化;另

一方面,推动各方知识共创,形成市场需求与场景创新导向下的产业技术知识创新,构筑企业核心竞争力。如在合肥市政府推动引导下,合肥高新区云飞路逐渐形成了量子计算产业创新集群,而其中的核心企业,皆是依托中国科学技术大学或中国科学院所成立的初创企业,如国盾、本源等,其企业核心技术人员大多曾经或正在高校、科研院所任职,这促进了量子企业的技术创新与产业转化活动^[26]。此外,这些初创企业亦与域外头部科技企业进行创新合作,如中国电信入股国盾量子共建产业创新平台,中国联通携手本源量子打造“四算一网”算网创新服务平台等,促使产业链主体衔接得更紧密,一体化创新发展特征更为突出。

(2) 政府牵引场景融合创新下产业应用创新生态的持续进阶

量子计算尚处于产业化初期,此时政策牵引成为推动产业应用创新生态持续进阶的保障,而这其中的着力点与作用中介,便是通过政策牵引实现传统场景中量子计算技术的融合与应用创新突破。尤其是,在我国新型举国体制优势下,通过政策牵引实现场景技术的迁移与创新,亦能够吸引更多应用主体涉入量子计算领域,推动产业应用创新生态持续进阶发展。例如,在国家政策牵引下,我国各地的国家超算中心纷纷开展“量超融合”建设,验证了量子计算在密码破解、特定问题求解、量子模拟等问题中的计算优越性,支撑了在金融服务、气象分析、生物化学、大数据及人工智能等具体应用场景的应用技术突破,吸引了更多主体涉入以持续丰富应用创新生态。

同时,量子计算应用边界的持续拓展与创新生态持续进阶,需要底层架构的支撑,而底层操作系统、工具软件是其关键。结合前述美国量子计算应用创新生态分析,中美量子计算产业应用生态发展对比见表 4。当前,我国较美国在量子计算的底层开发系统及云服务领域还存在一定差距,但在我国初创企业持续发力的同时,政策牵引下的中央企业也强化了对量子计算相关业务的创新涉入力度^④,取得了显著成绩。在与量子初创企业

^④ 国资委:将超前布局量子科技等未来产业 <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2643314/c31949116/content.html>

合作下,中央企业实现了从量子云操作系统到模拟、编译及图形化处理能力的创新供给,大幅改善了量子计算的可及性,降低了创新门槛,推动了量子计算在新药研发、新材料研制、气象分析,以及各类优化分析场景中的深度融入与创新应用。例如,中国电信量子集团及中国移动各自推出的“天衍”“五岳”量子计算云平台,通过量子计算课程体

系、开发者支撑工具软件与算法、开源创新社区的建设,着力打造国内最大的量子计算开源社区以助力场景创新,丰富应用创新生态。这些量子计算产业的底层架构系统、软件等,有力地支撑了国内量子计算应用场景的边界拓展及应用创新,也为未来量子计算产业应用创新生态的自主可控与持续进阶下好了“先手棋”。

表4 中美量子计算产业应用生态发展对比

生态要素	美国	中国
系统软件	IBM 量子编程语言 Qiskit;谷歌量子编程框架 Cirq;微软量子编程语言 Q#;intel 的 Quantum Software Development Kit、Quantinuum 量子语言处理软件 lambeq; Rigetti Computing 的量子开发测试软件 PyQuil;MIT 的 Forest 编程软件	本源量子的 QRunes、QPanda 量子计算编程框架与司南 PilotOS 操作系统;中国科学院软件研究所编程软件 isQ-Core;启科量子的编程框架 QuTrunk
应用软件	微软的计算优化软件 Azure quantum Elements;英伟达量子电路模拟软件 cuQuantum 及应用软件开发平台 CUDA-Q;是德科技仿真软件 QuantumPro	华为 MindQuantum;本源量子 ChemiQ、OriginQ QCFD;腾讯量子实验室 TenCirChem;机数量子、微观纪元、瀚海量子的应用服务
量子计算云平台	IBM Q Experience;亚马逊 Braket;微软 Azure Quantum;Quantum Computing Inc. Qubit 云平台;谷歌、Quantinnum、Rigetti Computing 等量子计算云平台	中国科学技术大学 & 国盾的量子计算云平台;北京量子院“夸父”、中国电信“天衍”、中国移动“五岳”、本源量子云、华为 HiQ 等量子计算云平台

四、创新策源视角下中美量子计算“科技—产业”发展模式比较

(一)创新策源视角下中美量子计算“科技—产业”发展模式分析

分析美国“科技—产业”创新发展进路特征可以发现,美国量子计算“科技—产业”创新发展模式是以头部科技企业为创新策源的发展模式,具体为“政府引导支持—头部科技企业主导的创新联盟—基于既有平台优势培育‘小院高墙’产业生态”的进

路模式,如图2所示。该模式下,头部科技企业处于创新策源核心地位,高校、科研院所更多地是发挥基础理论、应用技术创新方面的智辅作用,围绕头部科技企业的上下游企业为其提供量子计算整机系统所需的相配套的零部件、仪器设备等软硬件,而更大范围的盟友国家企业与美国头部科技企业形成产业联盟,进行技术合作,以抢先构筑“科技—产业”创新发展优势。而这其中既有的资金、人才及市场等要素机制优势,成为支撑其进路模式的运行保障。

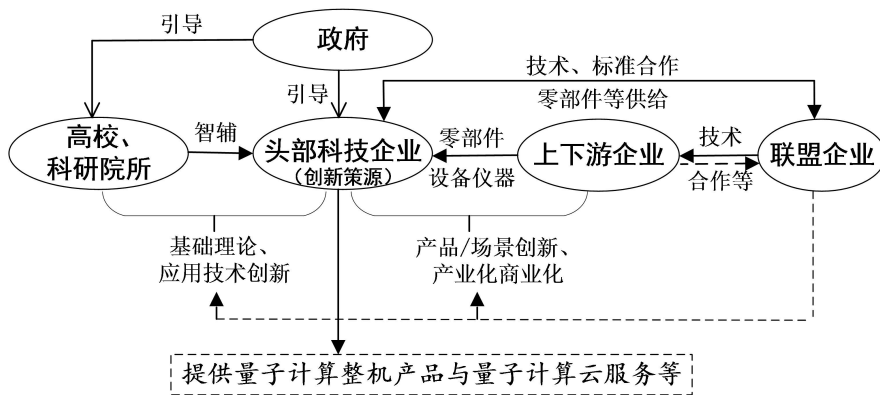


图2 创新策源视角下美国量子计算“科技—产业”发展模式

分析中国“科技—产业”创新进路特征可以发现,中国量子计算“科技—产业”创新发展模式是以头部高校、科研院所为创新策源的进路模式,具体为“政府战略牵引—高校/科研院所主导的创新协

同—初创企业为成果转化载体—央企强化应用示范与场景创新”的进路模式,如图3所示。该模式下,高校、科研院所为创新策源核心主体,而其相关科技创新成果以学术创业形成向产业端转移,具体承接

载体为依托高校、科研院所的初创企业,对接着高校、科研院所的关键技术、核心部件的智供与协同研发活动。在政策牵引下,中央企业、各类科技企业及产业链上下游配套企业也不断涉入量子计算产业,并通过合作开发零部件等活动,协同初创企业完成量子计算整机研发,并为中央企业与头部科技企业

提供量子计算机整机产品与技术服务,而中央企业与头部科技民营企业基于量子计算整机设备架构量子计算云服务平台,并提供量子计算云服务等^⑤。而其中新型举国体制下的高效协同、复合型人才培养及开放创新合作等要素机制,成为支撑我国量子计算“科技—产业”创新发展进路模式的运行保障。

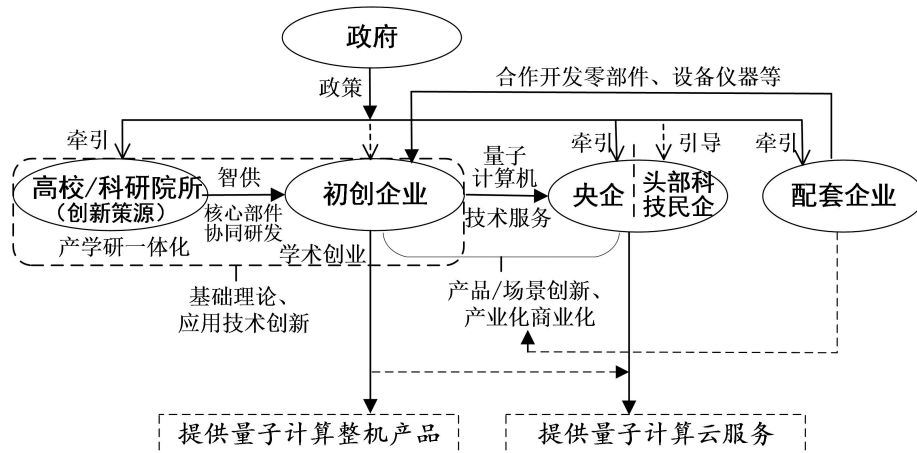


图3 创新策源视角下我国量子计算“科技—产业”发展模式

(二)创新策源视角下中美量子计算“科技—产业”发展模式对比优化

从政府政策方面的比较来看,得益于国有各级科研单位的规模,我国政府政策更具主体牵引力,政策执行效力也更好,并更能调动各类主体开展协同活动,有利于集中资源力量。但是,我国量子计算相关政策还停留在战略规划层面,而更为具体的产业政策较为缺乏,且缺少具有政府背景的专业量子科技咨询指导机构,这就使得产业发展缺少科学指引与细化支撑。同时,我国亦缺少聚焦量子科技的政府专班体系,不能及时调整与协同各部门政策资源。相反,美国量子计算政府政策虽然约束力不如我国,但是其政策落到了量子计算产业具体技术层面,这样就更为具体,更有针对性,且形成了协调各政府部门与辅助政策制定的量子专班体系,能够及时调整产业发展政策并协调各项政策的一致性,使得产业发展更具方向性。

从创新主体功能关系方面的比较来看,中美

两国在创新主体构成上存在一定差异,各有优劣。当前,美国量子计算“科技—产业”创新发展是以头部科技企业为核心创新策源主体,这有利于面向市场的技术创新与商业化发展,但是企业与高校、科研院所的不对称地位,一方面可能致使企业的创新活动过度偏向同质的利用式创新活动,而错过高校、科研院所的多元理论路线机遇;另一方面,头部科技企业主导模式易使其创新导向收敛为满足市场显性需求的单一维度,进而与高校、科研院所的创新活动愈发割裂,最终致使技术路线渐离渐远,成果对接变得困难。相反,我国以高校、科研院所为创新策源,孵化的学术创业企业更能有效对接科技创新与产业创新发展^[26],充分释放其所依托高校、科研院所的创新动能。另外,我国的新型举国体制下头部高校、科研院所为创新策源的模式,有助于集中优势力量攻克关键技术难题,这在量子计算这类产业化尚未完全成熟的领域尤为重要。但是,我国以政策牵引头部高校、科研院所为创新策源的模式,存在头

^⑤ 国资委:将超前布局量子科技等未来产业 <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2643314/c31949116/content.html>.

部科技企业参与度低、既有传统计算资源与平台效能释放不足等问题,这就促使初创企业需“另起炉灶”,可能迟滞产品市场开拓与产业熟化。

从创新要素机制的比较来看,在资金方面,美国在量子计算的投融资渠道方面更加多元化,且从事量子计算的头部科技企业属于超级跨国企业,拥有海量资金冗余,并能撬动全球资本开展各类技术路线探索。相较之下,我国量子计算在风险资金引入渠道、投融资市场规模等方面还存在较大差距,技术创新更多依赖各种形式的政策和资金支持。在人才要素方面,美国的量子计算人才生态具有多元化评价机制、跨学科培养等特征,这就有助于培养更多的发散型人才,涌现出更多的颠覆性技术^[27]。中国在量子计算人才发展上,有内培外引、科教融合和产学研协同等亮点,这就有助于快速提升国内量子计算人才规模与产业技能人才水平,能直接服务技术产业化,但是在前端更具颠覆性创造力的人才培养上还需进一步探索。反观美国在量子计算人才绝对数量上具有优势,但高度聚集在几家头部科技企业,这就影响了人才流动的组织裂变与知识扩散效应,也在一定程度上限制了量子计算产业生态的迅速扩张。而反观中国,如何吸引和留住更多优秀人才,亦成为中国量子计算产业发展面临的重要挑战。

从产业应用生态建设方面比较来看,美国以头部科技企业为主导,形成了多个由科技巨头牵头的创新联盟,叠加高校、科研院所的合作参与,已经形成了头部科技企业主导下各类主体协同的产业应用生态。但美国头部科技企业主导的应用生态具有一定的封闭性,在“美国优先”理念下人为构建了生态藩篱,限制了外部多边创新主体的进入。中国则以头部高校科研院所为核心,形成了产学研一体化的生态雏形。同时,中国政府鼓励量子计算技术研发与应用的开放合作,有助于吸引更多外部资源。但是,我国量子计算应用生态建设中的头部民营科技企业涉入程度较低,这就使得头部科技企业的既有平台效应、生态资源等,不能迁移至量子计算应用生态建设中。

从产业供应链体系方面比较来看,美国以头部科技企业为主导,形成了较为完善的产业供应链体系。头部科技企业通过自主研发、合作创新、并购整合等方式,掌握了量子计算产业链的关键环节。同时,美国还通过政府引导支持,吸引了盟国企业参与量子计算供应链建设,有助于形成产业协同效应,提升整体竞争力。而中国主要以政府牵引和学术创业为推动力量,通过政策引导、资金支持等方式,推动产业链上下游企业协同发展。相比美国,虽然在对外协同上不具优势,但我国量子计算领域尚未完全释放超大规模市场优势,尚未发挥市场需求对于“科技—产业”的反向推动作用,全门类工业体系的优势也未能较好地迁移至量子计算领域。

基于中美量子计算“科技—产业”创新发展模式比较结果,本文构建了创新策源视角下我国量子计算“科技—产业”创新融合发展模式,如图4所示。在此模式中,首先借鉴美国头部科技企业在量子计算“科技—产业”创新发展中的优势,通过政府政策牵引我国头部科技企业涉入,充分释放其平台效应与规模效应,以有效对接科技与产业两端,加速量子计算创新生态的完善。其次,发挥我国新型举国体制优势,引导高校、科研院所与头部科技企业协同创新,并通过学术创业探索头部科技企业不愿涉入的其他技术路线。再次,强调政策牵引/引导更多主体涉入量子计算领域,以中央企业为主的各类企业承担应用创新主体角色,通过其企业规模与产业带动效应,推动量子计算产业应用创新生态的快速发展,并能反向涉入产品创新过程。同时,产业体系的熟化需要一定规模的配套企业,该融合发展模式通过新型举国体制与有为政府机制优势,牵引更多配套企业涉入量子计算产业上下游,以进一步推动产业熟化。最后,借鉴美国的量子专班体系与专项政策模式,该创新融合模式的运转,亦需要从量子计算领域顶层设计与产业政策的优化。

总体来看,创新策源视角下我国量子计算“科技—产业”创新融合发展模式,强调头部科技企业、高校/院所、初创企业等多主体协同创新,通过形成创新联合体构筑创新策源高地。同时,通过政策牵引科技主体、产业主体及应用主体等形成政产学研用一体化,推动科技创新与产业创新的融合发展。

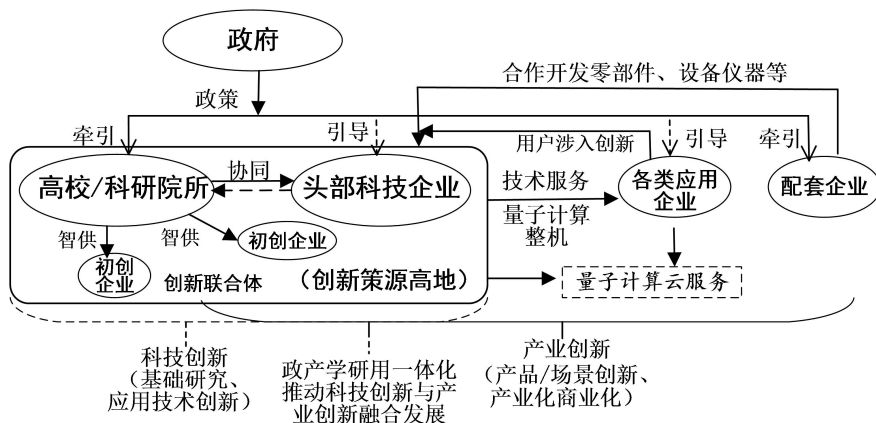


图 4 创新策源视角下我国量子计算“科技—产业”创新融合发展模式

五、创新策源视角下量子计算产业创新发展的中国镜鉴启示

基于中美量子计算“科技—产业”创新发展特征、模式比较,本文构筑了面向未来的创新策源视角下我国量子计算“科技—产业”创新融合发展模式。据此,本文提出我国量子计算“科技—产业”创新发展的对策启示。

第一,以政策牵引构建创新联合体,推动量子计算创新策源高地形成。首先,应进一步释放新型举国体制的优势,强化顶层设计与协调机制。设立国家量子发展规划推进办公室,形成跨部门的协调机制,以此畅通各类主体的协同合作渠道。其次,组建国家量子专家委员会(或国家量子战略咨询委员会),提升政策制定的科学性和前沿引领性。专家委员会应由学术界领军院士、头部量子科技企业领导者、领军量子初创企业负责人、科研机构代表等组成,为量子计算产业的发展提供战略咨询。通过汇聚各方力量,形成创新联合体,推动量子计算关键技术的突破和产业化进程。最后,进一步强化政产学研用的协同创新机制。设立联合实验室、共建研发中心等,促进科研机构与企业之间的深度合作,并引入用户参与,在支撑创新策源高地建设的同时,加速科技成果转化和应用。同时,积极鼓励头部科技企业参与量子计算的基础研究和应用创新,形成创新联合体协同合作的良好氛围。

第二,追踪国际技术进展以制定量子计算系列专项政策,精准赋能产业创新发展。美国在量子科技发展伊始,便出台了一系列量子科技政策,但我国都是将其列入综合类宏观发展战略中,缺

少有针对性的政策文件。因此,首先,应制定量子计算产业发展专项规划,明确技术发展路线节点、产业发展目标、重点任务与相应措施等,以引导各方主体积极参与量子计算产业的发展;其次,应针对量子计算产业的特殊性和复杂性,出台系列针对性政策支持措施,如设立量子计算专项基金,支持关键技术的研发和产业化应用;最后,制定量子计算技术标准、知识产权与人才流动制度,以规范市场秩序、促进有序发展。

第三,强化中央企业在量子计算产业创新发展中的使命担当,释放资源汇聚优势。首先,鼓励中央企业加大对量子计算技术的投入力度,并通过设立专项基金、提供税收优惠等方式,降低中央企业的研发投入风险,激发其创新活力;其次,积极引导中央企业参与量子计算关键零部件、仪器设备的攻关活动,鼓励与国内外顶尖科研机构 and 高校开展合作,共同推动量子计算技术的发展;最后,政府引导中央企业在金融服务、气象预报、生物医药、智能制造等领域开展量子计算技术的应用创新与示范,形成一批可复制、可推广的应用案例,以加速量子计算技术的商业化进程,推动量子计算产业的高质量发展。

第四,积极鼓励头部科技企业发挥平台优势,构筑量子计算的多元技术生态。头部科技企业先天具有发展量子计算的产业基础与技术等资源优势,通过既有平台能够更好地建立创新生态与产业体系。我国由于资金、既有技术与战略规划等复杂原因,以及量子计算属于长线投资回报产业,我国头部科技企业,尤其是头部民营科技企业纷纷收缩量子业务。因此,应通过设置国家量子大

基金、企业联合科研课题,以及提供财政税收等支持方式,激活头部科技企业建设量子计算技术生态的动能,支持更多企业从事多样化量子计算技术路线与应用创新。

第五,渐进式强化产业政策的功能性作用,完善各类要素机制环境。随着量子计算技术愈发复杂化与多样化,如何在正确的产业发展节点选择性支持适宜的技术、产品或工艺,实现政策靶向的适时转换,变得愈发困难,这也使得选择性产业政策的适配度在下降。因此,量子计算的产业政策应根据产业发展阶段,渐进式强化其功能性作用。相比美国量子计算产业的要素机制环境,我国在支撑量子计算产业发展的投融资渠道、人才培养评价及技术扩散等机制环境方面,还存在短板。而根据量子技术发展趋势、产业成熟度,适度超前布局相关功能性产业政策,将能激活超大规模市场优势、教育科技人才一体化动能及量子计算产业创新生态势能,推动量子计算产业持续高质量发展。

参考文献:

- [1]潘建伟. 更好推进我国量子科技发展[J]. 红旗文稿, 2020(23): 9-12.
- [2]王正汉. 量子计算机:新一轮工业革命的引擎[J]. 人民论坛·学术前沿, 2021(7): 38-43.
- [3]BAYERSTADLER A, BECQUIN G, BINDER J, et al. Industry quantum computing applications [J]. EPJ quantum technology, 2021, 8(1):8-25.
- [4]郭国平. 量子计算技术的产业变革与生态建构[J]. 人民论坛, 2023(16): 13-17.
- [5]PATEL H B, MISHRA S, JAIN R, et al. The future of quantum computing and its potential applications [J]. Journal for basic sciences, 2023, 23(11): 513-519.
- [6]VON HIPPEL E. The sources of innovation [M]. Wiesbaden: Gabler,1988: 111-120.
- [7]王少. 科技创新策源地:概念、内涵与建设路径[J]. 科学管理研究, 2021, 39(2): 17-21.
- [8]余江, 刘佳丽, 甘泉, 等. 以跨学科大纵深研究策源重大原始创新:新一代集成电路光刻系统突破的启示[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(1): 112-127.
- [9]敦帅, 陈强, 丁玉. 基于贝叶斯网络的创新策源能力影响机制研究[J]. 科学学研究, 2021, 39(10): 1897-1907.
- [10]宁连举, 肖玉贤, 刘经涛, 等. 跨行政区域创新策源能力评价与实证:基于熵权法、TOPSIS法、灰色关联分析[J]. 科技管理研究, 2021, 41(20): 44-51.
- [11]韩海波, 刘欢喜, 王斌, 等. 大学与区域创新体系建设的协同路径探析[J]. 研究与发展管理, 2022, 34(6): 167-177.
- [12]卢超, 李文丽. 京沪深创新策源能力评价研究:基于国家科学技术“三大奖”的视角[J]. 中国科技论坛, 2022(2): 151-161.
- [13]袁野, 曹倩, 陶于祥, 等. 中国原始创新策源能力的统计测度、区域差距及动态规律[J]. 科技管理研究, 2024, 44(14): 86-93.
- [14]李星, 戚湧. 战略性新兴产业创新策源能力评价及障碍因子诊断研究[J]. 科学管理研究, 2023, 41(4): 56-63.
- [15]王建华, 赵柯, 谢清泉. 创新策源与城市战略性新兴产业技术路径发展[J]. 科学学研究, 2024, 42(11): 2454-2464.
- [16]朱梦菲, 陈守明, 邵悦心. 基于 AHP-TOPSIS 和 SOM 聚类的区域创新策源能力评价[J]. 科研管理, 2020, 41(2): 40-50.
- [17]李万. 增强科技创新策源能力的战略选择[J]. 中国科技论坛, 2020(8): 1-3.
- [18]敦帅, 陈强. 创新策源能力:概念源起、理论框架与趋势展望[J]. 科学管理研究, 2022, 40(4): 33-41.
- [19]COCCIA M. Technological trajectories in quantum computing to design a quantum ecosystem for industrial change [J]. Technology analysis & strategic management, 2024, 36(8): 1733-1748.
- [20]李联宁. 量子计算机:技术路线、风险及战略投资[J]. 人民论坛·学术前沿, 2021(7): 98-110.
- [21]姜银鑫, 陈大明, 于馨森. 未来产业新赛道的战略知识产权管理研究:以量子计算为例[J]. 科学学研究, 2025, 43(6): 1121-1130.
- [22]汪勇, 孟香君, 沈维萍. 量子计算在经济与金融领域中的应用[J]. 经济学动态, 2023(1): 126-143.
- [23]EGGER D J, GAMBELLA C, MARECEK J, et al. Quantum computing for finance: state-of-the-art and future prospects [J]. IEEE transactions on quantum engineering, 2020, 1: 1-24.
- [24]COCCIA M, ROSHANI S, MOSLEH M. Evolution of quantum computing: theoretical and innovation management implications for emerging quantum industry [J]. IEEE transactions on engineering management, 2022, 71: 2270-2280.
- [25]郭国平. 量子计算政策发展与应用研究综述[J]. 人民论坛·学术前沿, 2021(7): 57-63.
- [26]刘志迎, 张晓凤, 邵云飞. 路径演化视角下学术创业过程、特征和关键难点探索:以中国科学技术大学量子团队为例[J]. 管理评论, 2024, 36(12): 263-274.
- [27]冯岭. 结合文本聚类和多标签分类的学科交叉主题早期识别方法:以量子计算领域为例[J]. 情报杂志, 2024, 43(8): 160-169.