

量子计算发展态势研究报告

(2026 年)

中国信息通信研究院技术与标准研究所

2026年9月

版权声明

本报告版权属于中国信息通信研究院，并受法律保护。
转载、摘编或利用其它方式使用本报告文字或者观点的，
应注明“来源：中国信息通信研究院”。违反上述声明者，
编者将追究其相关法律责任。

前言

量子计算基于量子比特，利用量子叠加、量子纠缠等量子物理特性赋能高效并行运算，有望为复杂计算问题求解提供指数级运算加速，成为未来算力跨越式突破的重要方向。当前，量子计算成为全球主要国家进行前沿科技与产业角逐的必争之地，多国持续加大基础研究、工程攻关、应用探索和产业生态建设等方面投入，围绕量子计算的国际竞争日趋白热化。

量子计算处于关键技术攻坚、应用场景探索与产业生态培育相互带动、一体化发展的重要阶段。超导、离子阱、中性原子、光量子、硅半导体及拓扑等技术路线科研亮点成果持续涌现，核心性能指标稳步提升。量子计算在金融、化工、生物等行业领域应用场景探索不断深化，基准测评体系与测试验证平台建设持续推进。量子计算与经典计算、人工智能等领域跨界融合的前沿研究，成为行业关注焦点。量子计算领域投融资高度活跃，科技巨头与初创企业形成双轮驱动，成为推动产业创新的重要力量。

中国信通院长期开展量子计算技术产业研究、标准制定和测试验证等工作，连续五年发布《量子计算发展态势研究报告》，是管理部门和业界掌握量子计算领域国内外发展动态的重要参考。本报告系统梳理近一年来国内外量子计算领域关键技术研究、应用场景探索和产业生态培育的最新进展，研判发展趋势，提出对策建议，为凝聚产业共识、推动高质量发展提供支撑。

目 录

一、全球竞相布局量子计算，驱动技术产业快速演进.....	1
（一）量子计算具备深远战略价值，多国竞相投入.....	1
（二）量子计算技术创新活跃，论文专利快速增长.....	5
（三）量子计算初创企业涌现，资本市场热度高涨.....	9
二、量子计算技术创新加速推进，核心难题仍待突破.....	15
（一）多元技术路线持续并进，竞争格局尚未收敛.....	15
（二）量子纠错多方向取得进展，实用化仍有差距.....	21
（三）量子软件多元开放发展，算法研究不断深入.....	23
（四）环境测控系统稳步迭代，工程化水平待提升.....	27
三、量子计算应用探索不断深入，跨界协同态势显现.....	30
（一）行业应用探索持续推进，实用落地尚存差距.....	30
（二）量子云平台迭代演进，支撑跨领域融合探索.....	33
（三）基准测评方案渐趋多元，推进应用基准研究.....	36
（四）量子-经典融合纵深发展，架构与应用双突破.....	40
（五）量子计算与 AI 双向赋能，融合应用进展初现.....	43
四、量子计算产业发展处于早期，生态培育任重道远.....	46
（一）产业生态初步构建，薄弱环节尚需持续补强.....	46
（二）企业力量蓄势涌动，协同推进产业生态构建.....	49
（三）基础设施平台赋能研发，联盟凝聚产业合力.....	52
（四）国际国内标准齐推进，体系建设任重而道远.....	55
五、总结与建议.....	58

CAICT 中国信通院

图 目 录

图 1 全球量子计算科研论文和专利数量年度变化趋势.....5

图 2 全球量子计算科研论文数量前十位国家情况.....7

图 3 量子计算不同技术路线全球发文情况.....8

图 4 全球量子计算专利主要来源国家情况.....8

图 5 全球量子计算不同技术路线专利情况.....9

图 6 全球量子计算企业年度新增数量情况.....10

图 7 全球量子计算不同技术路线整机企业分布情况.....11

图 8 全球量子计算企业投融资事件与金额变化趋势.....12

图 9 2025 年量子计算产业投融资笔数类型分布.....13

图 10 量子计算软件体系架构图.....24

图 11 量子计算应用前景分析预测.....31

图 12 全球典型量子计算云平台概况.....34

图 13 欧美量子计算产业生态体系概况.....46

图 14 全球典型量子信息产业联盟概况.....54

表 目 录

表 1 全球主要国家和国际组织量子信息领域战略规划和投资情况.....1

一、全球竞相布局量子计算，驱动技术产业快速演进

（一）量子计算具备深远战略价值，多国竞相投入

量子计算是依托量子叠加、量子纠缠等量子力学底层原理衍生而来的全新信息处理范式，以量子比特作为核心基础运算载体，可实现远超经典计算的高速并行处理能力，使其在面对特定复杂问题时拥有指数级加速的巨大潜力。作为极具变革性的前沿技术，量子计算不仅有望成为推动科研手段革新与信息技术迭代的核心引擎，更为破解经典计算难以高效应对的各类高难度计算复杂问题，带来了突破性的全新计算范式与实现可能性。

全球主要国家均高度重视把握量子计算发展主动权，依托政策顶层设计、社会资本投入等展开全方位竞争。量子计算作为未来产业的重要赛道之一，呈现出多国竞争、多方博弈的发展态势。全球主要国家针对量子计算及整体量子科技产业的战略布局、资金投入规模等情况如表 1 所示。伴随着各国在技术研发与产业转化等方面的不断深入，未来数年全球量子计算国际竞争态势还将进一步升级，技术与产业创新角逐也会更加激烈。

表 1 全球主要国家和国际组织量子信息领域战略规划和投资情况

时间	战略/规划/法案	国家/国际组织	投资规模（美元）
2014	国家量子技术计划	英国	10 年投资约 12.15 亿
2018	量子旗舰计划	欧盟	10 年投资约 11 亿
2018	国家量子倡议法案	美国	7 年累计投资达 60.78 亿
2019	量子技术发展国家计划	荷兰	7 年投资约 7.4 亿
2019	国家量子技术计划	以色列	5 年投资约 3.3 亿
2019	国家量子行动计划	俄罗斯	5 年投资约 5.3 亿

表 1 全球主要国家和国际组织量子信息领域战略规划和投资情况（续）

时间	战略/规划/法案	国家/国际组织	投资规模（美元）
2020	国家量子技术投资计划	法国	5 年投资约 19.6 亿
2020	量子计算机研发计划	日本	10 年投资约 17.5 亿
2021	量子系统研究计划	德国	5 年投资约 21.7 亿
2022	国家量子计算平台	法国	投资约 1.85 亿
2022	芯片与科学法案	美国	4 个量子项目 5 年投资 7.65 亿
2023	国家量子战略	加拿大	7 年投资约 3.6 亿
2023	国家量子战略	英国	未来 10 年投资 31.8 亿
2023	国家量子战略	澳大利亚	2030 年前投资 6.4 亿
2023	国家量子技术战略	丹麦	5 年投资约 1 亿
2023	量子科技发展战略	韩国	2035 年前投资 17.9 亿
2023	量子 2030	爱尔兰	已投资 0.24 亿
2024	国家量子任务	印度	2030 年前投资 7.26 亿
2024	国家量子战略	新加坡	5 年投资约 2.19 亿
2024	能源部量子领导法案	美国	5 年计划投资约 25 亿
2025	国家量子技术战略	芬兰	10 年投资 4.69 亿
2025	量子技术战略	西班牙	5 年投资 9.17 亿
2025	量子欧洲战略	欧盟	投资规模未公布
2026	瑞士量子战略	瑞士	6-8 年投资约 3 亿
2026	加拿大国防工业战略	加拿大	投资规模未公布
2026	量子综合计划	韩国	2035 年前投资约 20 亿
2026	能源部“量子创世纪计划	美国	投资规模未公布
2026	量子创新投资计划	英国	2030 年前投资约 6.6 亿
2026	SSB 量子计划	土耳其	投资规模未公布

来源：中国信息通信研究院整理（截至 2026 年 8 月）

美国在量子计算领域开展全方位战略布局，一方面坚持基础科研攻关，突破核心硬件技术，另一方面拓展应用场景，持续培育产业生态，各环节高度协同、相互配合，形成了层次清晰、多管齐下的战略实施框架。2026 年 4 月，美国参议院委员会正式提交并通过了《国家量子倡议再授权法案（NQIA）》¹，重新授权美国国家标准

¹ <https://www.congress.gov/bill/119th-congress/senate-bill/3597>

与技术研究院（NIST）、美国国家科学基金会（NSF）及美国国家航空航天局（NASA）旗下的量子研究、教育与开发项目，扩展量子测试床用于行业原型验证，强调从基础研究转向实际应用开发和产业落地。同月，美国众议院审议并通过法案的 H.R.8462 号众院版本²，法案核心观点与参议院基本保持一致。5 月，美国商务部宣布通过《芯片与科学法案》向 9 家量子计算公司提供总额 20 亿美元拨款³，旨在建立和加速量子计算领域的基础性美国本土量子制造基础设施，其中 IBM 获 10 亿美元用于建设美国首座专用量子晶圆代工厂，Global Foundries、D-Wave、Rigetti、Infleqtion 等公司各获 1 亿至 3.75 亿美元不等。6 月，美国白宫发布《引领量子创新的下一个前沿》行政令，指示设立“量子计算机应用开发与科学发现”国家项目⁴，将研制具备应用价值的容错量子计算机，交付能源部部署设施并向科学界开放，同时加强国内量子供应链生态建设。美国能源部启动“量子创世纪”计划⁵，目标是 2028 年前开发并部署全球首台具备容错能力、拥有数百个逻辑量子比特的量子计算系统，具体举措包括开展能源部量子竞赛、建设国家量子超算用户设施、开展量子计算应用专项研发等。

欧盟在量子计算领域采取多维度推进策略，通过出台战略政策、

² <https://science.house.gov/2026/4/h-r-8462-national-quantum-initiative-reauthorization-act>

³ <https://www.nist.gov/news-events/news/2026/05/department-commerce-announces-letters-intent-9-companies-2-billion>

⁴ <https://www.whitehouse.gov/presidential-actions/2026/06/ushering-in-the-next-frontier-of-quantum-innovation/>

⁵ <https://www.energy.gov/science/articles/energy-department-announces-initiative-create-and-deploy-worlds-first>

提供研发资金、建设公共服务平台等举措，实现了从基础科学研究到产业生态培育的全链路覆盖。2026 年，欧盟委员会批准了意大利一项 2.11 亿欧元的援助计划⁶，旨在支持意大利中小企业开发基于石墨烯的光子光学收发器，为量子计算原型机研制等领域提供支撑。欧盟委员会成立了量子计算咨询委员会（Q-CAB）⁷，旨在为欧盟委员会提供关于欧洲量子计算发展现状的独立、基于证据的建议，包括投资方向、采购决策和标准制定。欧盟委员会启动欧洲量子学院（EQA）⁸，旨在建立从学校科普、本硕培养到博士培训及在职进修的全链条量子人才教育体系。

我国高度重视以量子计算为代表的量子科技发展与应用，加速推动量子科技领域的政策体系从顶层设计走向落地执行，为技术发展和产业培育构建坚实的政策支撑。2026 年政府工作报告⁹在加紧培育壮大新动能方面提到，培育发展量子科技等未来产业。《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》中“前沿科技攻关专栏”提到¹⁰，研制可容错的通用量子计算机和可扩展的专用量子计算机。地方层面，北京、安徽、广东、湖北等核心聚集区正通过定向部署前沿科研攻关项目、设立专项未来产业投资基金、扶持

⁶ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/news/commission-approves-eu211-million-italian-state-aid-measure-support-photonics-chips-development>

⁷ https://qt.eu/news/2026/2026-04-28_New_Quantum_Computing_Advisory_Board_launched_to_support_the_European_Commission

⁸ <https://quantumcomputingreport.com/european-quantum-academy-launches-with-e19-8-million-22-6-million-usd-total-budget-to-standardize-transcontinental-workforce-pipelines/>

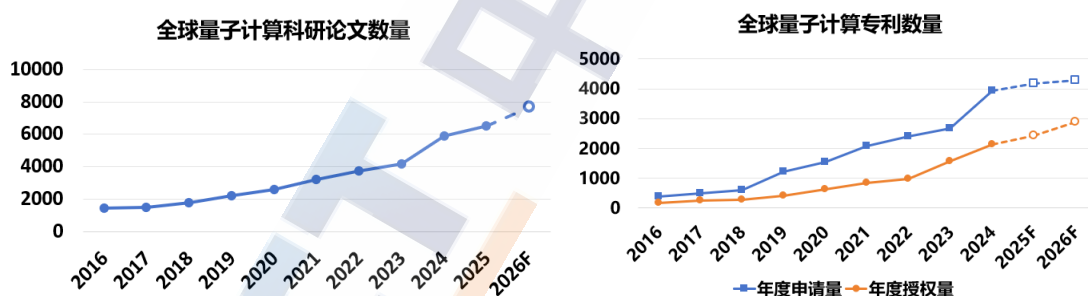
⁹ https://www.ccps.gov.cn/zl/jj2026qglh/202603/t20260316_170358.html

¹⁰ https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202603/content_7062633.htm

新型研发机构发展等多维度举措加速技术与产业培育。其中，北京市《2026 年市政府工作报告重点任务清单》中提到¹¹，加强量子计算多技术路线布局，建设高性能量子计算云平台和应用示范工程，在通讯、金融、医疗等领域打造一批“量子+”示范应用。《安徽省国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》的“未来产业培育壮大工程”专栏中提到¹²，聚焦超导、光量子、中性原子、离子阱等量子计算前沿，加快研制专用量子计算机整机。

（二）量子计算技术创新活跃，论文专利快速增长

量子计算领域基础科研与技术创新呈现快速发展态势，已成为前沿科技的关注焦点。近十年全球量子计算科研论文与发明专利的数量变化趋势如图 1 所示。



来源：中国信息通信研究院

图 1 全球量子计算科研论文¹³和专利¹⁴数量年度变化趋势

全球量子计算科研论文数量呈现出明显上升趋势，从 2016 年的

¹¹ https://www.beijing.gov.cn/zhengce/gfxwj/sj/202602/t20260211_4508605.html

¹² <https://www.ah.gov.cn/szf/zfgb/565524211.html>

¹³ 2026 年科研论文统计存在滞后性，近 1 年数据包含趋势拟合预测值。

¹⁴ 2025 年、2026 年专利统计均存在滞后性，近 2 年数据包含趋势拟合预测值。

1000 余篇增长至 2025 年的 6000 余篇，科学研究持续活跃。2024 年迎来论文产出的集中爆发期，单年增量创下阶段性新高，2025 年延续强劲增长势头，发文规模创下历史新高。预计未来几年全球量子计算论文量仍将保持增长态势，相关研究成果将会持续涌现。

近十年全球量子计算发明专利申请量共计 23000 余件，发明专利授权量共计 12000 余件。**专利申请量方面**，年度申请量逐年攀升，鉴于专利数据存在统计滞后，依据当前数据的趋势推算，未来几年全球专利申请量有望继续保持上升态势。**专利授权量方面**，2016 年以来整体呈稳步攀升态势，年度授权数量逐年递增趋势明显。

全球主要国家量子计算论文数量及篇均被引频次统计如图 2 所示，反映出各国在该领域的科研实力与影响力分布。**从区域分布看**，美国、中国发文量居于全球前两位，是量子计算领域最核心的论文产出主体。德国、印度、日本等国家发文数量紧随其后，展现了研究活跃度。**从被引频次看**，加拿大、美国、英国等国论文的篇均被引频次处于领先。印度、意大利等国虽具备一定发文数量，但篇均被引频次偏低。我国量子计算论文总量虽居全球第二，但篇均被引频次并不靠前，科研成果的国际影响力仍需加强。

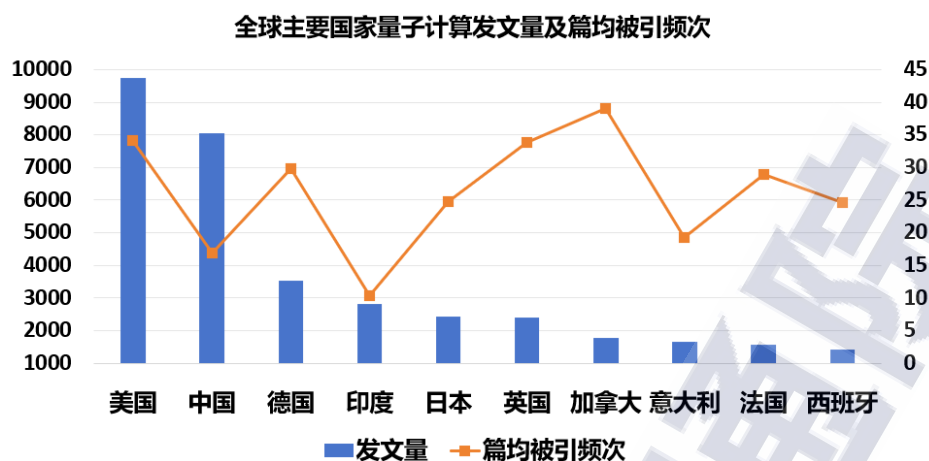
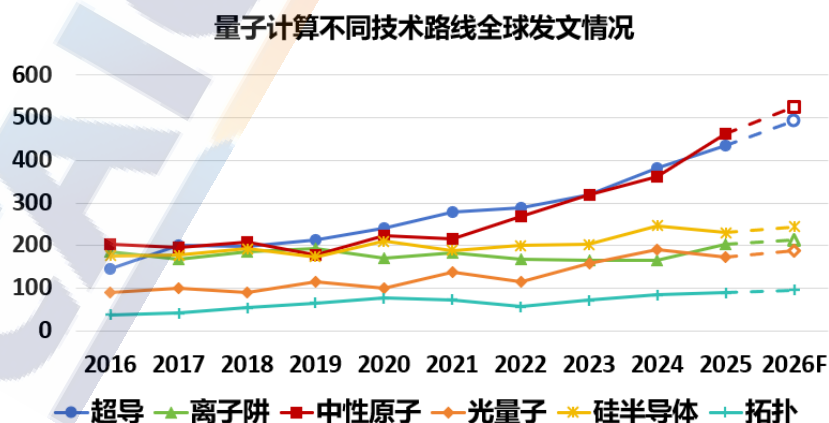


图 2 全球量子计算科研论文数量前十位国家情况

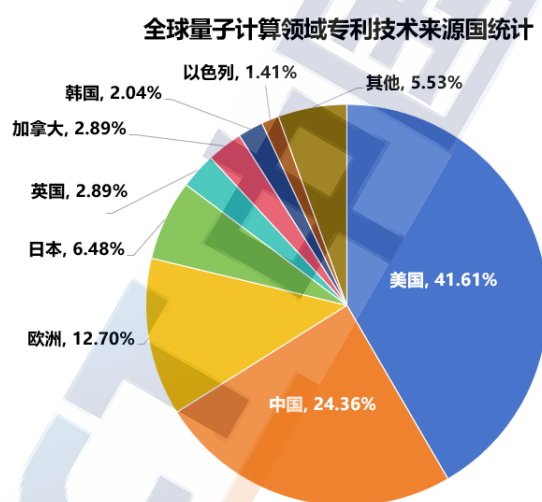
当前量子计算领域呈现出多条技术路线并行推进的格局，超导、离子阱、中性原子、光量子、硅半导体、拓扑等路线的科研论文产出统计如图 3 所示，反映了不同技术方向的研究活跃度分布。整体而言，各技术路线的发文量均保持了增长态势，**超导和中性原子两条路线更为突出**，十年来论文数量增幅明显，研究关注度持续走高。离子阱、光量子、硅半导体等技术路线年度产出相对平稳，发文数量保持缓慢上行。拓扑路线虽然总体发文体量较小，但近两年呈现上升趋势。



来源：中国信息通信研究院

图 3 量子计算不同技术路线全球发文情况¹⁵

全球量子计算专利申请的主要技术来源国统计如图 4 所示，体现了各主要国家在量子计算领域的创新活跃度与知识产权积累。结果显示，**美国和中国是量子计算专利产出的第一梯队**，两国量子计算专利的全球占比约 65%，占据领先优势。与此同时，欧洲、日本、英国、加拿大、韩国等国家和地区同样在该领域有所布局，各自拥有一定体量的专利积累。上述统计表明，相关国家和地区在量子计算技术攻关中展现出持续的创新动能与成果转化实力，中美两国尤为突出，专利数量优势地位明显。



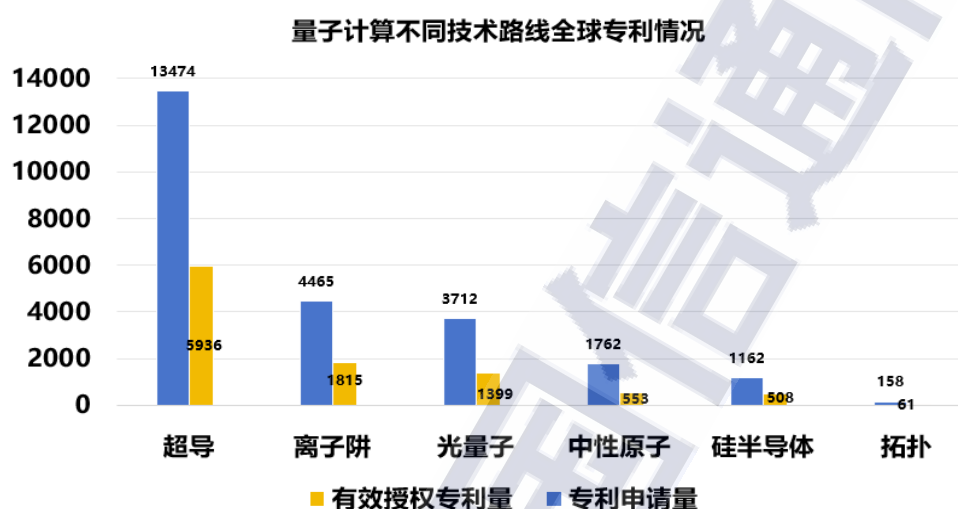
来源：中国信息通信研究院（截至 2026 年 8 月）

图 4 全球量子计算专利主要来源国家情况

全球量子计算不同技术路线专利数量对比情况如图 5 所示。从专利申请量与已授权专利量两个维度综合来看，**超导技术路线专利**

¹⁵ 2026 年科研论文统计存在滞后性，近 1 年数据包含趋势拟合预测值。

数量大幅领先于其他技术路线，体现出业界各方对该路线持续高强度的研发投入，在当前阶段展现出较高的技术成熟度和良好的发展预期。离子阱与光量子路线的专利数量次之，明显高于其余技术路线，表明技术路线发展潜力逐步得到业界的认可。



来源：中国信息通信研究院（截至 2026 年 8 月）

图 5 全球量子计算不同技术路线专利情况

（三）量子计算初创企业涌现，资本市场热度高涨

全球量子计算企业数量保持较快增长，创新创业活力强劲，表明业界对量子计算发展前景保持较高的乐观预期。全球量子计算企业数量及年度增长趋势如图 6 所示。



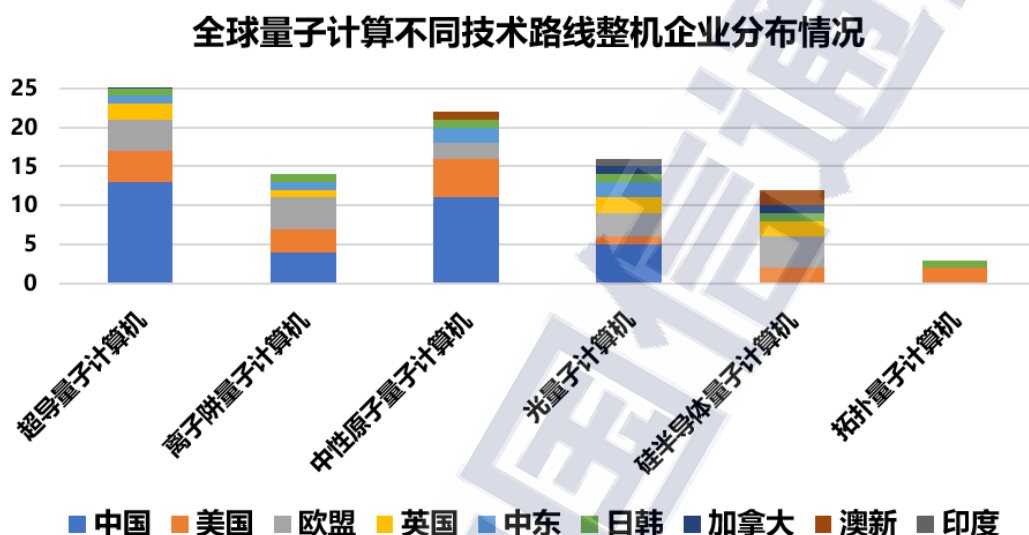
来源：中国信息通信研究院（截至 2026 年 8 月）

图 6 全球量子计算企业年度新增数量情况¹⁶

截至 2026 年 8 月，全球量子计算企业已超 400 家，其中超 300 家企业在 2015 年之后成立的。从增长趋势看，全球量子计算年度新增企业整体呈波动上行态势。2017 年之前行业处于萌芽期，企业数量增长较为缓慢，2018 年迎来首轮创业高峰，新增企业达 44 家，随后年度企业新增规模稳定保持在 30 家以上。随着产业化落地提速，2024 年起行业进入新一轮扩张期，2025 年新增企业数量达 55 家，创下历史峰值。2026 年上半年新增 24 家，产业活跃度依然较高。从区域分布看，中美成为全球量子计算产业的引领者，美国以总计 106 家量子计算相关企业位居首位，中国以 75 家紧随其后。此外，德国、英国、加拿大均超过 30 家，位列第二梯队。当前，量子计算作为前沿硬核科技赛道，具备较高的技术门槛，高度依赖基础科研积淀、

¹⁶ 由于企业数据库更新延迟以及企业主营业务验证需要时间等原因，企业数量统计存在滞后性。

国家级战略扶持与成熟的科创资本生态，产业基础薄弱的国家和地区难以实现跨越式追赶。总体看，中美两国凭借在科研、政策与资本市场的统筹布局，企业数量及产业活跃度显著领先，成为推动全球产业发展的核心力量。



来源：中国信息通信研究院（截至 2026 年 8 月）

图 7 全球量子计算不同技术路线整机企业分布情况

全球量子计算不同技术路线整机企业分布情况如图 7 所示。从全球整体情况看，全球量子计算整机厂商已超 90 家，其中超导路线依托成熟的电子工业体系，以 29 家企业位居首位，是当前产业化探索最活跃的方向。其次是中性原子路线，布局企业超过 20 家，成长势能强劲。光量子、离子阱和硅半导体路线各有十余家企业。从事拓扑路线的企业则相对较少。从地区分布情况看，中国超导、中性原子的企业规模均位居前列，在其他多条核心路线也均有规模化布局，覆盖广度突出。美国、欧盟、英国等国家和国际组织布局较为

均衡，在超导、离子阱、中性原子等多条路径均形成稳定的产业力量。日韩、中东等新兴地区仅在少数主流路线有零星企业布局，整体参与度不高。当前量子计算整机技术路线尚未收敛，全球产业主体普遍采取多路线并行的研发策略，以期在未来产业竞争中占据主动。

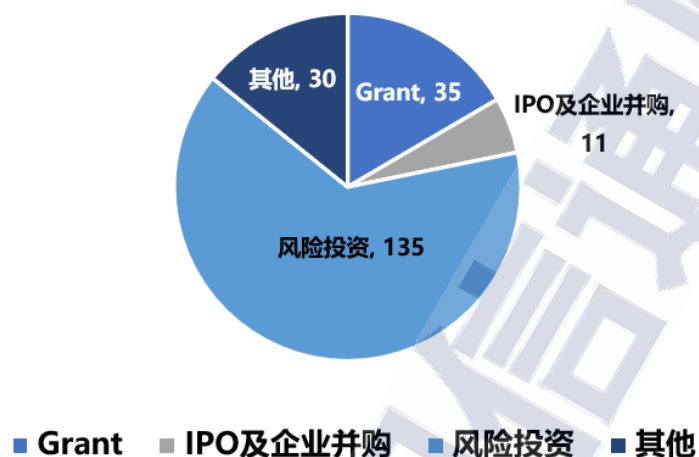


来源：中国信息通信研究院（截至 2026 年 8 月）

图 8 全球量子计算企业投融资事件与金额变化趋势

量子计算领域的资本流入规模持续扩大、交易频次保持高位。全球量子计算企业投融资事件与金额变化趋势如图 8 所示。2015-2024 年期间，随着行业的关注度提升，量子计算产业投融资活动显著增加，年融资事件数从不足 10 笔逐步增长至 180 笔，2021 年起年均融资金额稳定在 20 亿美元区间。2025 年投融资迎来爆发，年度融资事件数超 200 笔，创历史峰值，融资金额大幅跃升至 60 亿美元以上，资金增速显著高于交易笔数增速，单笔融资均值明显抬升。2026 年

上半年投融资热度进一步走高，仅半年融资金额突破 80 亿美元，资金投入持续加码，直观反映出资本市场对量子计算商业化落地的预期正不断升温。



来源：中国信息通信研究院

图 9 2025 年量子计算产业投融资笔数类型分布

2025 年量子计算行业投融资分布如图 9 所示。从投资类型看，2025 年已披露的 200 余笔投融资事件中，风险投资占据主导地位，共有 135 笔，涉及融资金额超 40 亿美元，占总融资规模的 60% 以上。轮次结构上投资重心集中在早期阶段，孵化器、种子轮、A 轮分别为 39、27 及 34 笔，其中 A 轮融资金额超 6 亿美元。此外，Grant（资助激励）类型的融资同样表现活跃，共有 37 笔，公开披露的金额超 1 亿美元，投资方中政府扶持计划及创新机制也逐渐增多，资助主体范围持续扩大，除了欧盟 EIC Accelerator、法国 France 2030 等传统扶持机制外，丹麦、以色列、加拿大等多国政府专项机构与项目相继入场，全球政策端对量子计算产业的扶持力度持续加码。从地区

分布看，美国企业获投金额超 40 亿美元，占总金额的三分之二，头部效应明显：Psiquantum 获得 10 亿美元注资，Quantinuum 两轮累计募资 8 亿美元；欧盟地区获投笔数最多，约 70 笔，但获投金额仅 10 亿美元，单笔融资规模偏低，以分散的中小早期项目布局为主；中东地区中以以色列的 Quantum Machines、Classiq 和 Quantum Art 相继完成 1 亿美元以上大额融资，全年区域融资金额达 4.7 亿美元；中国 2025 年披露融资事件共 24 笔，对应规模约 1.7 亿美元，整体投融资活跃度与头部区域存在差距。总体而言，市场化资本的持续注入与政策扶持的精准发力，推动量子计算产业化步入加速推进阶段。

进入 2026 年，全球量子计算产业投融资热度持续升级，截至 8 月，已有 160 余笔投融资，金额超 80 亿美元，投融资金额已超过 2025 年的总和。**从地区分布看**，中国量子计算企业市场投融资活跃度显著提升，上半年企业累计获投 41 笔，总金额超 14 亿美元，规模达到 2025 年全年的 8 倍；加拿大市场增幅居全球首位，在 Xanadu、Photonic、D-Wave 等头部企业大额融资带动下，上半年获投 11 笔、总金额超 7 亿美元，较 2025 年全年增长超 15 倍。**从融资结构看**，风险投资方面，单轮融资金额超 1 亿美元的大额事件达 19 笔，国内的玻色量子、量旋科技分别获投 10 亿元级融资，吸金能力持续增强。政策性资助同步加码，美国 SandboxAQ 获得商务部 5 亿美元专项研发拨款，各国政府对量子技术的扶持力度进一步升级。**IPO 方面**，美国 Quantinuum 登陆纳斯达克，市值突破 150 亿美元；中国本源量子完成近 30 亿元 Pre-IPO 轮融资，投前估值达 210 亿元，创下国内量子

计算领域最大单笔融资纪录。

总体而言，量子计算企业数量不断增加，投融资规模持续扩大，头部企业估值走高，产业发展动力较为充足。需要注意的是，量子计算企业整体上尚未形成成熟的收入和盈利模式，估值更多是基于对未来技术前景的预期，而非实际经营收入，主要原因在于技术成熟度远未达到商用门槛、基础设施成本较高、客户结构相对单一等。后续如果技术突破节奏或产业化落地进度不及预期，部分企业可能面临过高期望破灭和估值回落等风险。

二、量子计算技术创新加速推进，核心难题仍待突破

（一）多元技术路线持续并进，竞争格局尚未收敛

量子计算正处于技术攻坚关键期，实用化量子计算原型机研制是当前主攻方向。超导、离子阱、中性原子、光量子、硅半导体、拓扑等路线多元并蓄，在物理实现方式、量子比特操控机理、系统运行条件及规模化约束等方面各有优势和短板，特性差异明显，技术路线竞争格局短期难以收敛。近年来，业界持续加大量子计算原型机研制投入，各技术路线在量子比特数量、逻辑门保真度、量子态相干时间等核心指标上稳步提升，科研产出保持活跃。但尚无某种技术路线能够突破规模化与容错两大核心瓶颈，实现大规模容错量子计算的技术方案仍需持续探索和验证。

超导量子计算利用约瑟夫森效应形成量子二能级系统，具有可扩展性、可操控性以及与半导体制造工艺的天然兼容性等技术优势。

2025 年年底，IBM 发布新一代超导量子芯片“夜鹰”，包含 120 量子比特和 218 可调耦合器，支持 5000 个双比特门操作，同时发布“潜鸟”容错量子处理器，提升实时纠错能力¹⁷。2026 年，Rigetti 的 108 比特超导量子系统 Cepheus-1-108Q 面向用户开放，单/双比特门保真度分别为 99.9%和 99.1%¹⁸。浙江大学等团队研制 32 比特超导量子处理器“昆仑”，单/双比特门平均保真度分别为 99.95%和 99.22%， T_1 为 41.8 μs ¹⁹。本源量子推出超导量子计算原型机“本源悟空-180”，包含 180 个物理量子比特和 251 个耦合量子比特，单/双比特门保真度分别为 99.9%和 99%²⁰。除关键指标提升外，基于超导量子计算原型机开展的科研工作也在持续推进。中国科大在“祖冲之三号”超导量子处理器上完成基于测量的量子计算大规模实验验证，制备 95 个量子比特的一维簇态、72 个量子比特的二维簇态²¹。中科院物理所等基于 78 比特超导量子处理器“庄子 2.0”，在结构化随机协议驱动的多极时间关联多体系统中，完成具有可调加热率的长寿命预热相的实验观测²²。深圳量子院在超导量子电路中实现基于双轨编码的逻辑多量子比特纠缠，逻辑量子比特相干时间接近 1 ms²³。超导量子计算是业界关注

¹⁷ <https://newsroom.ibm.com/2025-11-12-ibm-delivers-new-quantum-processors,-software,-and-algorithm-breakthroughs-on-path-to-advantage-and-fault-tolerance>

¹⁸ <https://www.globenewswire.com/news-release/2026/04/07/3269628/0/en/Rigetti-Announces-General-Availability-of-108-Qubit-System.html>

¹⁹ <https://doi.org/10.1038/s41567-025-03157-4>

²⁰ https://originqc.com.cn/zh/new_detail.html?newId=466

²¹ <https://doi.org/10.1038/s41567-026-03179-6>

²² <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09977-x>

²³ <https://doi.org/10.1038/s41567-026-03211-9>

度最高的技术路线之一，未来仍需持续攻克多项技术难题，包括提升逻辑门保真度和制备读取保真度等关键性能指标，突破大规模量子比特阵列规划布局与互联、制冷机工程能力提升等瓶颈，并解决量子纠错编码开销代价大等问题。

离子阱量子计算将带电离子囚禁于电磁势阱中以构建量子比特，具备相干时间长、门保真度高、比特全连接等优势。近年来，该路线在可稳定囚禁的离子数量、系统量子体积等性能指标方面稳步提升，2026 年，Quantinuum 等团队基于离子阱量子计算平台实现了包含 56 量子比特的伊辛模型磁性系统模拟，精确复现了量子相变和磁化动力学行为²⁴。么正量子基于高通光刀片型离子阱量子计算系统实现 32 量子体积²⁵。南方科技大学等团队实现基于轴向振动模式的可寻址双比特纠缠门，在最多 6 个离子的链状系统中，纠缠态制备保真度稳定保持在 97% 左右²⁶。Quantinuum 联合桑迪亚国家实验室发布 98 比特离子阱处理器 Helios，单/双比特门平均保真度分别为 99.9975% 和 99.921%，态制备和测量误差率达到 3.3×10^{-4} ，并通过随机电路采样测试验证了其计算复杂度超出经典模拟能力²⁷。**离子阱技术路线**获得学术界和产业界持续、广泛关注，未来仍需攻克一系列关键瓶颈，包括提升可稳定囚禁并实现高精度操控的离子规模，降低激光

²⁴ <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10445-3>

²⁵ <https://mp.weixin.qq.com/s/ALrYgwUSwp8TVOi3ojBAAQ>

²⁶ <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aec0392>

²⁷ <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10676-4>

控制系统复杂度，解决多阱间模块化纠缠连接难题等。

中性原子量子计算依托光镊阵列技术实现中性原子的精准捕获，通过里德伯激发、微波操控等手段完成量子比特的相干操纵与纠缠产生，在可扩展性、相干时间长、量子模拟适配性等方面具有优势。近年来在原子规模扩展、相干时间提升等方面取得科研突破，2026 年，哥伦比亚大学利用全息超表面生成的光镊阵列中捕获单铷原子，实现 360000 原子阵列，为构建大规模中性原子阵列提供新思路²⁸。Pasqal 实现 1024 原子无缺陷寄存器，原子捕获寿命达到约 5000 s，展示了中性原子路线在构建大规模、高保真量子比特阵列方面的潜力²⁹。中科酷原发布 200 量子比特中性原子量子计算机“汉原 2 号”，相干时间超过 300 ms³⁰。谷歌宣布将研究范围扩展至中性原子量子计算，看好该路线在规模化和连接性等方面的优势，从主攻超导单一路线转向双技术路线的发展策略³¹。两仪万象与清华大学采用光学超表面产生光镊阵列的技术，实现 11000 原子的稳定捕获³²。**中性原子技术路线**近年来上升势头强劲，然而未来仍需攻克原子寿命限制、逻辑门保真度、光镊阵列稳定性、读出串扰问题等工程难题。

光子量子计算选择光子作为信息处理的基本单元，具有室温环境下运行、光子本征相干性优异、受外界电磁噪声干扰小等优势，形

²⁸ <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09961-5>

²⁹ <https://www.pasqal.com/blog/defect-free-1024-atom-registers-scaling-to-1000-qubits/>

³⁰ <https://casoldatom.com/newsx.php?lm=4&id=218>

³¹ <https://blog.google/innovation-and-ai/technology/research/neutral-atom-quantum-computers/>

³² <https://arxiv.org/abs/2606.02715>

成了两个主要的发展方向，可进一步划分为通用**逻辑门型光量子计算**与面向特定问题的**专用光量子计算**两大分支。2026 年，中国科大等团队研制“九章四号”可编程光量子计算原型机，实现 1024 量子压缩态输入、8176 模式操控、探测 3050 个光子量子态，求解高斯玻色采样任务的单样本生成耗时仅 25 us³³。PsiQuantum 位于澳大利亚摩顿湾的工厂正式动工，用于建造并部署公用事业级的容错量子计算机³⁴。QuiX Quantum 发布了基于氮化硅光子集成电路的 Dedalo 系统架构，架构以逻辑量子比特为核心，为光量子路线在通用量子计算领域的工程化实现提供了可行方案³⁵。玻色量子发布专用量子计算机“驭量·山海 1000”，可支持 3000 光量子比特（相干伊辛机）组合优化问题等求解³⁶。图灵量子基于高速可编程薄膜铌酸锂光量子芯片，推出光子规模为 10000 的光量子计算系统 TuringQ GEN3，单/双光子保真度分别达到 99.7%和 99.0%。光量子路线发展面临确定性双比特逻辑门实现、光子存储与损耗问题、单光子源等核心组件制备等技术挑战。

硅半导体量子计算利用半导体量子点中单个电子的自旋或者原子核的自旋来构建量子比特，与半导体制造工艺天然兼容。2025 年底，SQC 与新南威尔士大学等团队利用扫描隧道显微镜光刻技术，

³³ <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10523-6>

³⁴ <https://www.psiquantum.com/news-import/psiquantum-breaks-ground-in-australia-on-site-of-worlds-first-utility-scale-quantum-computer>

³⁵ <https://www.quixquantum.com/news/quix-quantum-unveils-path-to-universal-photonics-quantum-computing-with-logical-qubits>

³⁶ <https://www.qboson.com/product>

在硅晶体中构建由多核自旋寄存器组成的量子计算处理器，单比特门保真度 99.99%，双比特门保真度 99.5%³⁷。2026 年，新南威尔士大学基于包含 1.5 万个量子点的二维阵列，清晰复现了由相互作用驱动的金属-绝缘体相变，为大规模量子模拟提供了全新平台³⁸。深圳量子院在原子级精度硅基量子芯片上完成逻辑运算演示，实现了硅基逻辑量子计算机原型验证³⁹。代尔夫特理工大学在硅基半导体器件中实现移动电子自旋量子比特的高精度双比特门，两自旋比特相向移动 120 nm 时，双比特受控相位门保真度达 $98.86\% \pm 0.29\%$ ⁴⁰。硅半导体技术路线面临挑战体现在材料纯度瓶颈、器件一致性问题、电荷噪声敏感度高、布线架构难等方面。

拓扑量子计算将量子信息非局域地存储于拓扑物态的全局构型特性之中，而非依赖于单个粒子的局域量子态，这使得其在理论层面具备了天然的量子容错能力，目前处于基础物理原理验证与关键技术探索的早期阶段。2026 年，代尔夫特理工大学等利用量子电容技术实现了马约拉纳量子比特的单次宇称读出，测得宇称相干时间超过 1 ms，验证了时域控制马约拉纳零能模量子比特的关键读出步骤，对未来基于马约拉纳零能模的拓扑量子比特操作具有重要意义⁴¹。微软发布 Majorana 2 拓扑量子芯片，以铅基超导与复合半导体材料

³⁷ <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09827-w>

³⁸ <https://doi.org/10.1038/s41586-025-10053-7>

³⁹ <https://doi.org/10.1038/s41565-026-02140-1>

⁴⁰ <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10423-9>

⁴¹ <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09927-7>

作为载体，拓扑能隙扩大至约 $70\ \mu\text{eV}$ ，量子比特奇偶校验寿命达到 20 s 左右，并将可扩展量子计算机技术路线图从原定 2033 年提前至 2029 年⁴²。学术界对微软研究成果的工程化可实现性仍持审慎观望态度。未来拓扑量子计算的攻关方向聚焦在马约拉纳零模自由态的确定性制备与表征、拓扑编织操作的保真度与精度提升、以及拓扑保护下退相干效应的有效抑制方案等方面。

当前全球量子计算硬件技术路线多元并进，各路线基础研究与工程化进展持续取得突破。但需看到，现有量子计算原型机在比特规模与运行精度上距容错通用计算目标仍有明显差距，量子比特稳定性、可扩展性、操控精度、量子纠错及系统工程化等关键环节尚需攻关。未来需围绕高质量量子比特制备、软硬件协同架构优化、核心支撑系统研制、关键材料与工艺创新及产业链供应链体系建设等重点方向协同发力。

（二）量子纠错多方向取得进展，实用化仍有差距

量子纠错作为保护量子信息免受环境退相干与操作噪声影响的核心技术，为构建大规模可容错量子计算系统提供不可或缺的技术基础。量子纠错利用大量量子比特对目标信息进行冗余编码，在计算执行过程中捕捉并修正由环境噪声或操控缺陷引发的各类错误，实现对量子态演化的精确控制。其核心是设计出兼顾不同类型错误容忍能力、资源利用效率和计算可操作性的纠错编码方案。

⁴² <https://doi.org/10.48550/arXiv.2606.03884>

量子纠错已成为业界共同关注的热点，理论创新与实验验证进展不断。2025 年年底，哈佛大学等利用 448 个中性原子的可重构阵列实现通用容错量子计算架构，实现了低于阈值的错误抑制，逻辑错误率为 0.62%⁴³。中国科大提出新型全微波量子态泄漏抑制架构，基于祖冲之超导量子处理器实现码距为 7 的表面码逻辑比特，逻辑错误率随码距增加显著下降，错误抑制因子达到 1.4⁴⁴。2026 年，浙江大学等基于超导量子处理器“昆仑”设计了两种双变量自行车码，分别利用 18 个数据比特编码 4 个距离为 4 的逻辑比特和 6 个距离为 3 的逻辑比特，平均逻辑错误率分别为 8.91%和 7.77%⁴⁵。深圳量子院基于硅基量子计算芯片，设计四量子比特错误探测电路，实现了对编码比特中发生的任意单比特错误的高效检测⁴⁶。悉尼大学等基于 IBM Heron 系列 156 比特超导量子处理器，采用码距为 3 的重六角码作为纠错码，进行存储实验和稳定性实验，验证了测量噪声是当前影响逻辑门性能的主要限制因素⁴⁷。Riverlane 与 Rigetti 合作将 Collision Clustering 解码算法的 FPGA 解码器集成至量子控制器软件，基于 84 比特超导量子处理器实现解码响应时间低于 9.6 μs ，单次解码平均时间低于 1 μs ，为解决量子纠错的数据堆积难题提供新思路⁴⁸。微软与 Quantinuum 合作在 Quantinuum H2 离子阱 QCCD 处理器上实现两

⁴³ <https://doi.org/10.1038/s41586-025-09848-5>

⁴⁴ <https://doi.org/10.1103/rqkg-dw31>

⁴⁵ <https://doi.org/10.1038/s41567-025-03157-4>

⁴⁶ <https://doi.org/10.1038/s41928-025-01557-1>

⁴⁷ <https://doi.org/10.1038/s41467-026-71773-6>

⁴⁸ <https://doi.org/10.1038/s41467-026-73331-6>

类面向硬件特征定制设计的量子纠错码，在贝尔态制备实验中物理错误率 0.8% 经纠错后降至 0.001%，完整验证了在运算过程中持续纠错的可行性⁴⁹。

量子纠错仍处于理论完善与实验验证的初级阶段，距极低逻辑错误率的实用化要求仍有较大差距。量子纠错是衡量量子计算系统可靠性和实用化水平的核心指标，其目标是通过持续技术迭代和实验验证，将逻辑错误率降至实用阈值以下，为大规模容错通用量子计算奠定基础。未来需在高效低开销编码、高保真容错逻辑门、可扩展纠错架构、混合纠错方案及错误源抑制技术等方面持续发力，方能实现高质量逻辑量子比特，推动量子计算走向实用化。

（三）量子软件多元开放发展，算法研究不断深入

量子计算软件是衔接硬件系统与实际应用的关键纽带。当前量子计算整体仍处于早期发展阶段，业界已在应用、编译、测控、电子设计自动化（EDA）和管理等多个软件方向展开布局，软件工具研发与生态体系构建均取得阶段性成果。量子计算软件体系架构如图 10 所示，功能各异的软件工具协同推动该领域持续发展。

⁴⁹ <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10628-y>



来源：中国信息通信研究院

图 10 量子计算软件体系架构图

应用软件聚焦用户需求与行业场景，借助量子计算软硬件工具解决特定问题，对功能模块进行场景化封装。Superpositions 公司推出 Quantum Solutions Library，用以简化工业量子混合软件的运营流程⁵⁰。HQS 公司发布核磁共振谱预测分析软件 HQSpectrum，通过将实测谱图与量子力学模拟预测的理论谱图进行比对从而优化工作流程⁵¹。后续发展重点在于提供更易用的高层次编程接口与专用语言、建立应用算法性能评估标准、积累更多应用案例等方面。

编译软件的核心功能是执行量子程序，并将高级量子程序语言转换为硬件可以执行的指令格式。IBM 发布 Qiskit SDK v2.5 版本，允许量子程序在多种中间表示之间分阶段执行，新增面向 Pauli 计算

⁵⁰ <https://superpositions.studio/quantum-solutions-library/>

⁵¹ <https://quantumsimulations.de/hqspectrum>

和 Clifford+T 门集的预设编译流程⁵²。北京量子院提出一种面向场可编程原子阵列的分区架构与高性能编译框架 ZAP，为中性原子量子计算提供了新型软件栈方案⁵³。发展挑战集中在多类型硬件架构适配、算法编译运行效率优化、降低跨平台迁移成本等方面。

测控软件负责硬件系统的操控与调节，涵盖量子线路调度、硬件反馈校准、时序同步控制等核心功能。QC Design 公司推出 Gauge 软件，可用于计算量子纠错码和噪声模型的最优误差阈值⁵⁴。QuEra 开源其为量子纠错设计的 T-gate 模拟器(Tsim)，可实现基于 GPU 加速的量子线路模拟⁵⁵。未来演进主要集中在实时监测与纠错机制、完善测量反馈链路控制、分布式架构演进等方面。

EDA 软件专注于量子计算硬件的全流程设计支撑，提供芯片级的设计、仿真与优化工具链。信息工程大学、先进计算与智能工程（国家级）重点实验室联合国内多家科研单位完成开源量子芯片自动化设计工具 EDA-Q v3.0.0 版本更新，新增硅基光量子芯片自动布线模块，芯片设计功能可同时覆盖超导、离子阱、光量子三条技术路线⁵⁶。未来量子 EDA 软件需要在量子比特智能布局设计、仿真过程优化策略、硬件调试效率提升、打通从设计到制造的完整工具链

⁵² <https://www.ibm.com/quantum/blog/qiskit-2-5-release-summary>

⁵³ <https://ieeexplore.ieee.org/document/11535023>

⁵⁴ <https://www.qc.design/product/gauge>

⁵⁵ <https://www.quera.com/blog-posts/introducing-tsim-fast-non-clifford-circuit-simulation-for-qec-researchers>

⁵⁶ <https://github.com/Q-transmon-xmon/EDA-Q/releases/tag/v3.0.0>

等方面不断完善。

管理软件提供量子计算资源的管理功能并完成任务调度等工作。Infleqtion 发布开源架构级资源估算工具 resource-superstaq，能够估算量子比特需求、运行时间等⁵⁷。未来需重点解决异构硬件平台间的资源协同与互操作、智能任务调度、生命周期与资源分配高效管理、混合资源部署模式等方面问题。

量子算法是基于量子物理学和量子信息理论设计的计算方法，以量子态演化作为信息处理的基本方式，在特定问题上具备超越经典算法的加速潜力。当前量子算法研究不断推进，新算法、性能优化和行业应用探索等方面均取得进展。

量子算法设计方面，帝国理工学院等提出面向本征态问题的高精度低深度量子算法，实现海森堡型哈密顿量的高精度本征能量估计，并展现出较好噪声鲁棒性⁵⁸。北京大学等联合提出用于多夸克束缚态研究的神经网络量子蒙特卡洛算法，为求解复杂多夸克体系提供高效算法工具⁵⁹。量子算法优化方面，浙江大学开发基于策略性量子采样技术的混合量子-经典算法，在保证求解全局最优解质量的同时提升效率⁶⁰。Xanadu 基于量子只读存储器实现算法突破，量子比

⁵⁷ <https://infleqtion.com/infleqtion-strengthens-neutral-atom-quantum-computing-platform-with-new-technical-breakthroughs/>

⁵⁸ <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aeb1622>

⁵⁹ <https://doi.org/10.1103/ckpr-s876>

⁶⁰ <https://doi.org/10.1093/nsr/nwag124>

特受限场景下使得 Toffoli 门数量约减少一半⁶¹。应用算法实践方面，Quantum Art 等开发用于电磁波传播建模的量子算法，能够以更高分辨率模拟数十立方公里体积内多源电磁波传播⁶²。北京量子院等提出增强型可满足问题量子求解算法，为结构化 NP 完全问题在现实约束下的量子加速提供思路⁶³。

量子计算软件仍处于发展初期，软件工具呈分散化、多元化特征，受限于硬件成熟度有限、底层接口开放不足、标准化尚处起步阶段、商业化需求尚未清晰等多重因素。未来需重点突破高层次编程接口、多硬件架构适配、实用化调试工具、编程框架兼容性与代码可迁移性等核心瓶颈。量子算法研究持续推进，但通用适用能力与实际计算性能提升较为有限，面向复杂场景的高效算法仍需探索，未来需在通用算法设计、量子-经典混合范式、行业应用算法等方向持续攻关。量子计算发展有赖于硬件突破与软件算法的协同推进，通过软硬件一体化设计与联合优化实现整体提升。

（四）环境测控系统稳步迭代，工程化水平待提升

环境测控系统为量子计算机稳定运行提供关键支撑，主要功能是屏蔽外界环境噪声、抑制量子系统内部非理想特性带来的各类干扰，以保障量子态信息完整性。环境测控系统既是量子计算原型机开发的重要基础，也是支撑量子计算迈向工程化应用的核心环节，

⁶¹ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2605.20334>

⁶² <https://www.quantum-art.tech/resources/quantum-art-demonstrates-quantum-algorithm-for-electromagnetic-wave-propagation-in-partnership-with-leading-israeli-governmental-research-and-development-agency>

⁶³ <https://doi.org/10.1038/s43588-026-01007-8>

主要由环境保障设备、测控系统及关键器件组件等部分组成，目前各环节均面临有待攻克的技术瓶颈。

环境保障设备是量子计算机不可或缺的关键保障，性能优劣对量子计算机的运行稳定性和计算可靠性至关重要。目前业内常用的代表性设备种类繁多，核心包括制冷设备、真空系统和超导磁体系统等。Bluefors 推出开箱即用的预配置低温测量系统，结合了其超紧凑型 LD 低温架构与测量基础设施套件，支持快速部署⁶⁴。Maybell Quantum 发布可扩展低温冷却平台 ColdCloud，采用集中式低温冷却架构，具备模块化与高可靠性特性⁶⁵。国盾量子完成稀释制冷机 ez-Q F1500 的工程化开发，100 mK 温度下制冷量为 1700 μW ⁶⁶。考虑到不同硬件技术路线对环境设备的技术参数和功能要求存在显著差异，未来环境保障设备领域还需在提升关键性能参数、降低维护成本、完善工程化方案、推动设备小型化和集成化等方面持续发力。

测控系统是量子计算机的核心控制单元，具备量子态信号生成与采集控制、系统参数校准优化、多比特同步协调等功能。按照操控技术路径可分为两类，一是以低温微波技术为核心的微波测控系统，主要面向超导和硅半导体路线；二是以光学调控技术为基础的光学测控系统，主要服务于离子阱、中性原子以及光量子等路线。北京量子院提出曝光感知自适应卷积神经网络并实现 FPGA 硬件加

⁶⁴ <https://bluefors.com/news/introducing-preconfigured-ld-systems-ready-for-results-in-just-4-months/>

⁶⁵ <https://www.maybellquantum.com/news/coldcloud>

⁶⁶ <https://www.quantum-info.com/News/qy/2026nian/2026/0701/956.html>

速，将量子比特荧光读出推理延迟压缩至 $9.85\ \mu\text{s}$ ⁶⁷。中微达信发布量子与经典混合测控组件 V2.0，解决了量子计算与经典计算协同作业时的通信延迟难题⁶⁸。德国卡尔斯鲁厄理工学院等在颗粒铝超导薄膜中实现超导涡旋量子态的相干操控与读出，为量子态信息处理提供全新路径⁶⁹。未来需要不断优化测量精度和控制效率，提升自动化校准水平、探索噪声抑制方案以及突破并行测控的规模化瓶颈。

关键器件组件是量子计算机研制的基础底层支撑，从类别来看，既包括量子计算领域独有的专用器件组件，同时也涉及与传统精密仪器、半导体电子等领域相通的通用器件组件。其中代表性的专用器件组件包括低温电子学器件、光学调控组件、光电信号探测设备、单光子源、离子源和原子源等。Silent Waves 低温放大器 Zephyr 将行波参量放大器与泵浦耦合器集成到单一紧凑型器件，降低插损并提升效率⁷⁰。北京量子院等研制基于各向异性狄拉克腔的高偏振单光子源，展现出优异的偏振鲁棒性和单光子纯度⁷¹。此外，材料研制是器件组件的物理基底，近年来也取得诸多成果。中核集团在硅基量子芯片关键材料研发方面突破，实现丰度超过 99.99% 的高纯硅-28 同位素自主量产⁷²。

⁶⁷ <https://doi.org/10.1103/vjzm-f13w>

⁶⁸ <https://mp.weixin.qq.com/s/AtqPRNQConKXgDgctoHBwA>

⁶⁹ <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10441-7>

⁷⁰ <https://www.silent-waves.com/products/the-zephyr>

⁷¹ <https://doi.org/10.1103/s4yf-1hh2>

⁷² <https://mp.weixin.qq.com/s/vGsMcRYstu0X4oj4o3UbBw>

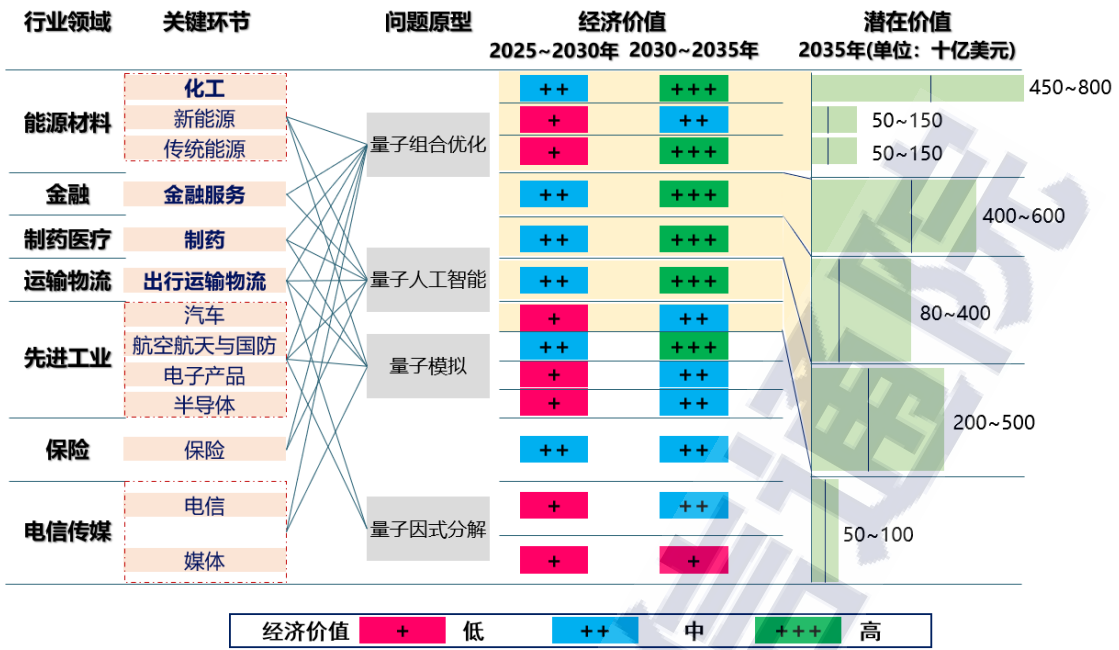
环境测控系统是支撑量子计算机从实验室演示走向工程化应用的关键基础，当前面临发展格局与需求升级两方面挑战。一是量子计算技术路线多元，不同路线需求各异导致环境测控系统呈现多路径探索、碎片化发展特征，产业链资源分散，协同攻关困难。二是量子计算原型机量子比特规模持续提升，对环境测控系统的技术指标、系统性能、集成化水平和智能化管控校准能力等方面需求提出了更高要求。环境测控系统的工程化能力已成为研制实用化量子计算机的重要控制性条件。

三、量子计算应用探索不断深入，跨界协同态势显现

（一）行业应用探索持续推进，实用落地尚存差距

量子计算处于从实验室研究走向行业应用探索的重要转折点，跨行业融合与多场景验证成为推动应用落地的核心动力。业界聚焦与量子计算技术特性高度适配的垂直场景，持续探索面向金融、化工、生物、交通等多元领域的解决方案。麦肯锡发布 2026 年度《量子技术监测》研究报告⁷³，应用前景预测如图 11 所示。报告中数据表明截至 2035 年，全球量子技术市场总规模预估为 1.3 至 2.7 万亿美元，其中量子计算占比最大，预计为 430 亿至 710 亿美元。

⁷³ <https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-technology/our-insights/mckinsey-quantum-technology-monitor-2026-a-commercial-tipping-point>



来源：麦肯锡《2026 年量子技术监测》研究报告

图 11 量子计算应用前景分析预测

金融领域，量子计算应用探索集中于复杂非线性系统建模与海量数据高速处理，覆盖资产定价、风险计量、投资组合优化、市场趋势预测及交易欺诈检测等核心场景。三井住友银行与东芝联合通过优化量子算法解决大规模组合优化问题，选择价格波动低相关性的股票组合，在市场整体下跌时仍能保持分散化收益⁷⁴。Haiqu 公司与汇丰银行合作提出一种针对金融模型的量子编码技术，在厚尾列维分布等金融相关模型上验证，准确再现了目标概率分布⁷⁵。

化工领域，量子计算应用探索聚焦于分子结构精准建模与化学反应过程仿真，为化学品研发与设计开辟了全新技术路径。慕尼黑

⁷⁴ <https://news.toshiba.com/press-releases/press-release-details/2026/SMBC-and-Toshiba-Jointly-Develop-New-Equity-Indices-Using-Advanced-Quantum-Driven-Technologies/default.aspx>

⁷⁵ <https://doi.org/10.1103/yyvr-dtsb>

大学引入最大纠缠原子轨道概念，提出用于理解化学键的新框架，有望为从量子力学视角理解化学键提供思路⁷⁶。橡树岭国家实验室等利用量子模拟计算了经典磁性材料氟铜酸钾的能量-动量谱，实验结果与两个独立中子源的实验测量数据高度定量吻合⁷⁷。OTI Lumionics 基于英伟达 GPU 平台运行其迭代量子比特耦合簇算法，提升复杂分子系统的模拟效率、速度和准确性⁷⁸。

生物领域，量子计算有望深度赋能疾病诊断、药物研发、基因组学分析以及蛋白质结构预测等多个环节。克利夫兰诊所与 IBM 基于样本的量子对角化算法在 IBM Quantum Heron r2 处理器上完成 Trp-cage 蛋白质两种构象的相对能量计算，整体体系覆盖 303 个原子、919 个轨道⁷⁹。PolarisQB 基于量子启发的哈密顿量特征提取算法，提升临床高度相关的 hERG 心脏毒性预测指标，为药物研发早期高效剔除毒性化合物、优化发现管线与流程提供了新工具⁸⁰。图灵量子发布量子 AI+生物医药大模型 QuBio2.0，助力新药发现与生物大分子研发流程优化⁸¹。

交通领域，量子计算有望为路网流量优化、出行趋势预测和智能路径规划等提供新思路。航运公司 ESL Shipping 启动“智能船队优

⁷⁶ <https://doi.org/10.1038/s41467-026-73527-w>

⁷⁷ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.15608>

⁷⁸ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.08883>

⁷⁹ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2512.17130>

⁸⁰ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.03109>

⁸¹ <https://mp.weixin.qq.com/s/wra6PSu-ddbSZ6Zs1BvAzQ>

化”项目，联合 QMill 公司探索量子计算在货流动态波动、运力约束、排放合规等复杂航运决策中的应用⁸²。4colors Research 与空客、DNV 等联合团队获得英国国家量子计算中心资助，将承担“量子加速飞机载货混合整数优化”项目，旨在开发航空航天物流领域的量子计算应用案例⁸³。IQM 与德国铁路公司合作开发并验证了混合量子-经典算法用于铁路车辆调度优化，并基于德国铁路真实运营数据集完成实验验证⁸⁴。

量子计算应用探索已在多个行业领域全面展开，垂直场景挖掘持续推进，行业参与主体不断增多。但需要看到，现有应用案例未展现指数级加速或量子优越性的核心价值，商用化落地仍面临挑战，一方面，硬件性能与算法成熟度尚不足以支撑实用化场景的量子加速；另一方面，行业对量子计算理解与应用能力有限，技术突破向产业价值的传导链条尚未打通。坚持技术突破与场景挖掘双轮驱动，聚焦高价值场景深化融合，才能构建良性发展生态。

（二）量子云平台迭代演进，支撑跨领域融合探索

量子计算云平台是衔接技术供给与应用需求的关键基础设施。针对量子计算机本地部署环境严苛、运维成本高昂、操作复杂度高现实壁垒，云平台通过云端集中部署与网络化开放的方式，具备远程接入、弹性可调、按需获取、架构多元等特性，有效降低了技

⁸² <https://www.eslshipping.com/en/news/esl-shipping-and-qmill-explore-quantum-computing-for-complex-shipping-decisions-in-the-smart-fleet-optimization-project>

⁸³ <https://4colors-research.com/blog/nqcc-sparq-grant-press-release.html>

⁸⁴ <https://www.businesswire.com/news/home/20260719172592/en/>

术应用门槛，为各行业低成本参与量子计算应用探索提供了可行路径。典型量子计算云平台如图 12 所示，后端硬件涵盖多条技术路线，并形成硬件厂商自建与云厂商集成两种主要接入模式，已成为量子计算能力输出的重要载体。

硬件类型	超导		离子阱		光子学/超导		量子退火		云平台集成服务		
提供商	 IBM	 rigetti	 IonQ	 QUANTINUUM	 XANADU	 Qtech	 D-WAVE	 amazon		 STRANGEWORKS	 NVIDIA
平台名称	IBM Quantum	Quantum Cloud Services	IonQ Quantum Cloud	Quantinuum Nexus	Xanadu Quantum Cloud	Quantum Inspire	Leap	Amazon Braket	Azure Quantum Cloud	Strangeworks	NVIDIA Quantum Cloud
量子处理器	ibm_boston, ibm_kington, ibm_pittsburgh, ibm_fez, ibm_marrakesh, ibm_miami, ibm_aachen, ibm_berlin,	Cepheus-1-108Q, Cepheus-1-36Q, Ankaa-3, Ankaa-2,	IonQ Forte Enterprise, IonQ Forte, IonQ Aria,	Quantinuum Helios, Quantinuum System Model H2, Quantinuum System Model H1	Borealis, X-Series	Tuna-17, Tuna-9, Tuna-5	Advantage2, Advantage,	AQT, IonQ, IQM, QuEra, Rigetti	IonQ, Pasqal, Quantinuum, Rigetti	IBM, IQM, AQT, QuEra, IonQ, Quantinuum, Rigetti, D-wave, NVIDIA, Fujitsu, Toshiba,	Anyon Technologies, AWS, Inflection, IonQ, IQM, QuEra, OQC, ORCA computing, Pasqal,
硬件类型	超导					离子阱		光子学(CIM)		云平台集成服务	
提供商	 中电信量子集团	 北京量子信息科学研究院 Beijing Academy of Quantum Information Sciences	 本源量子 BOYUAN QUANTUM	 国盾量子 GUOSHU QUANTUM	 SPINQ 量旋科技	 QUDCOR 启科量子	 Bosonai 玻色量子	 中国移动	 ARC LIGHT 弧光量子		
平台名称	天行量子计算云平台	Quafu	本源量子云	国盾量子计算云平台	量旋云平台	<Qu Cloud>	玻色量子云	五岳纪元量子云平台		弧光量子云平台	
量子处理器	骁鸿、祖冲之3号、祖冲之2号	Baihua, Donglin, Haituo, ScQ-P21, ScQ-P10, ScQ-Sim10, ScQ-P5, ScQ-P3	本源悟空180	骁鸿1号	超导量子芯片	<Aba Qu>100	CPQC-1000, CPQC-550, CPQC-1	超导：悟空180 超导：五岳1/2/3号 超导：天工1号 超导：狮山二号 CIM：相干光子量子计算机 离子阱：<Aba Qu>100 中性原子：汉原1号 金刚石色心：Diamond量子 钻石单自旋谱仪		超导量子芯片、离子阱量子芯片	

来源：中国信息通信研究院（截至 2026 年 8 月）

图 12 全球典型量子计算云平台概况

量子计算云平台全球部署节奏加快，多区域联动发展格局日益清晰。韩国量子企业 SDT 与 IonQ 达成合作，将 IonQ 的离子阱量子系统集成至 SDT 的混合量子云平台 QuREKA，用户可在平台内生成专用密钥直接访问 IonQ 量子系统⁸⁵。奥地利 AQT 将其 IBEX Q1 离子阱量子计算机接入法国云服务商 Scaleway 的云平台，支持 Qiskit、Cirq 和 PennyLane 等主流量子编程框架远程访问⁸⁶。澳大利亚 Q-CTRL 将其 Fire Opal 软件集成至 IonQ 量子计算处理器上以提升量子计算性

⁸⁵ <https://www.epnc.co.kr/news/articleView.html?idxno=400502>

⁸⁶ <https://www.scaleway.com/en/news/aqt-and-scaleway-partner-to-deliver-quantum-computing-to-europe/>

能，并将 Fire Opal 优化求解功能嵌入 IonQ 量子计算云平台⁸⁷。以色列 Classiq 与韩国 QAI 共同在韩国推出本地化运营的量子即服务平台，支持跨硬件平台的量子应用设计开发、基准测试和部署执行⁸⁸。

量子-经典异构协同正成为云平台发展的重要探索方向，有望以融合路径为突破单一技术栈性能瓶颈提供新思路。Scaleway 的量子即服务平台与英伟达 CUDA-Q 平台实现全面兼容，用户选择 Scaleway 作为后端，无需更换工具或管理独立环境，即可在高性能 GPU 集群或真实量子处理器上执行运算任务⁸⁹。Qilimanjaro Quantum 推出全栈式量子即服务云平台 SpeQtrum QaaS，提供对量子计算机和经典计算资源的远程访问，旨在使用户能够执行和优化量子工作流程⁹⁰。Qoro Quantum 推出量子-经典计算模拟云平台，可提供混合量子-经典工作负载的并行仿真服务，助力简化工作流设计⁹¹。

量子计算云平台逐渐成为行业用户推进应用探索的重要工具，推动量子计算向高价值应用场景渗透。Aramco 与 Pasqal 合作推出量子计算即服务（QCaaS）平台，后端可接入中性原子量子计算处理器，后续将依托该云平台推动能源、材料及工业等行业领域的应用

⁸⁷ <https://q-ctrl.com/blog/ionq-and-q-ctrl-partner-to-unlock-the-full-potential-of-quantum-optimization-with-fire-opal-on-forte-quantum-processors>

⁸⁸ <https://aimagazine.com/globenewswire/3320940>

⁸⁹ <https://www.scaleway.com/en/news/scaleway-announces-full-compatibility-of-quantum-as-a-service-with-the-nvidia-cuda-q-platform/>

⁹⁰ <https://qilimanjaro.tech/qilimanjaros-cloud-platform-will-connect-researchers-to-worlds-first-multi-modal-quantum-data-center/>

⁹¹ <https://solo.qoroquantum.net/>

场景探索⁹²。阿布扎比先进技术研究委员会技术创新研究所（TII）将其量子计算云平台与英伟达 CUDA-Q 集成，用户可通过 CUDA-Q 编程接口将量子任务直接提交至 TII 自研的量子处理器和模拟器，支持完成材料科学、密码学和优化等领域的量子实验⁹³。

量子计算云平台已成为应用探索与跨域融合的关键基础设施。

全球量子计算云平台呈现跨国协同发展格局，异构协同能力成为重要探索方向，多行业用户逐步将云平台作为应用探索的重要工具。未来应聚焦夯实硬件可靠性底座、推动接口标准统一、深化量子-经典异构集成、筑牢数据安全防护体系等方面协同推进发展。

（三）基准测评方案渐趋多元，推进应用基础研究

基准测评研究是推动量子计算跨越理论迈向应用的关键底层支撑。量子计算基准测评体系是理论与工程实践之间的核心桥梁，以量化方式标定量子计算系统核心性能指标，为技术路线遴选、硬件迭代优化、应用场景适配与产业投资决策提供客观依据，是支撑量子计算发展的基础性环节。

量子计算基准测评的理论分析与实证研究不断深入，体系构建与平台搭建持续推进。2026 年，美国国防高级研究计划局（DARPA）组织的“量子基准测试计划”（QBI）宣布组建独立验证与评估核心团队，马里兰大学应用智能与安全研究实验室（ARLIS）中标为期 4.5

⁹² <https://www.prnewswire.com/news-releases/aramco-and-pasqal-launch-saudi-arabias-first-quantum-computer-and-middle-east-s-first-commercial-quantum-computing-as-a-service-platform-302775097.html>

⁹³ <https://www.tii.ae/news/tii-scales-quantum-access-through-integration-its-quantum-computing-cloud-platform-nvidia-cuda>

年、总额 3480 万美元专项合同，承担官方独立测试评估主体职责，全面核验各参与方技术宣称指标，重点聚焦新材料研发、分子建模、复杂优化等量子典型应用场景，为项目技术真实性与落地性建立第三方权威校验机制⁹⁴。此外，DARPA 扩大 QBI 计划的范围，通过新的 QBIT Stage A 征集，邀请尚未获得资助的组织加入新设立的专题征集，入选机构将进入为期 6 个月的阶段 A，期间需描述完整系统概念并提供可行性证据。资金支持方面，入选阶段 A 每家公司最高可获 100 万美元资助，阶段 B 每家公司最高可获 1500 万美元，阶段 C 则最高可达 3 亿美元⁹⁵。量子经济开发联盟（QED-C）标准与性能指标技术咨询委员会提出通过标准影响为会员带来价值，召集量子计算生态系统的相关者，推动应用导向基准的标准化⁹⁶。

量子计算基准测评研究呈现多层次、多维度的发展态势，新型方案不断涌现。IonQ 提出可扩展应用级量子基准框架，包含 13 个基准族，覆盖优化、量子化学、机器学习、数据加载、模拟和基础子程序等方向，核心指标包括求解质量、总执行时间、总能耗等，可用于评估底层硬件指标与实用价值之间的差距⁹⁷。Alice&Bob 公司提出五项评估逻辑量子比特的准则框架，包括盈亏平衡、可扩展参数、充足纠错循环、全样本性能以及实用时间尺度，该框架与硬件模态

⁹⁴ <https://www.arlis.umd.edu/about/news-events/umd-arlis-researchers-awarded-348m-research-contract-advance-darpar-quantum>

⁹⁵ <https://sam.gov/opp/743a55e6e10847b0b8104348a887e4ae/view>

⁹⁶ <https://quantumconsortium.org/tac/standards/>

⁹⁷ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2604.11781>

无关，可客观比较不同性能水平、成熟度和能力水平的硬件进展⁹⁸。

意大利帕多瓦大学等提出局域期望值的平均计算基准测试方案，能够检测 Clifford 基准测试范围之外的噪声，计算结果可快速收敛，有望提高数字量子设备的性能验证效率⁹⁹。

跨技术路线硬件性能对比成为量子计算基准测评的探索方向。

当前各技术路线优劣判断高度依赖测评粒度与场景，此外，跨路线硬件性能对比的开展需要以标准化访问接口为前提，但受限于各厂商硬件开放程度不一，跨平台、跨架构的统一测评体系仍属开放问题。以色列理工学院针对 IBM 超导处理器与 AQT 离子阱处理器进行协议级基准对比，利用 Transmit、Do-nothing、Bell-state transfer 三个基础协议作为阈值，对最优子芯片区域进行二元保真度阈值判断，实验结果表明离子阱处理器在 Transmit 和 Do-nothing 等基础协议上表现稳定，超导处理器在广义 Transmit 和广义 Do-nothing 等广义协议上表现较好¹⁰⁰。

量子计算基准测评研究呈现硬件度量与应用验证双线并进格局，应用导向的基准探索持续推进。Classiq 展示其量子计算平台与英伟达 CUDA-Q 的集成方案，加速从 AI 辅助高层量子建模到混合量子-经典环境执行的端到端工作流程，并使用迭代量子振幅估计算法对金融期权定价进行基准测试，31 量子比特电路的合成与完整执行时

⁹⁸ <https://alice-bob.com/wp-content/uploads/2026/06/Five-criteria-to-benchmark-logical-qubit-claims.pdf>

⁹⁹ <https://doi.org/10.1103/zn6p-c8w2>

¹⁰⁰ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.27397>

间从原工作流的 67 分钟降至 2.5 分钟，缩短量子研发团队的迭代周期¹⁰¹。QC Design 推出 Plaquette 框架用于评估容错量子计算机性能，解决传统模拟方法仅依赖随机泡利噪声模型的局限性，可从设备实际物理缺陷出发计算容错架构的逻辑性能¹⁰²。北达科他大学与太平洋西北国家实验室提出一套用于测试模拟分子行为的基准系统，使用量子算法结合 ActiveSpaceFinder 自动活性空间选择工具的方式验证基准集，结果表明算法在强关联区间内表现出高精度，验证其在量子化学应用中的潜力¹⁰³。OTI Lumionics 与三星高级技术研究院以 14 种铱/铂基 OLED 磷光材料为测试集，针对迭代量子比特耦合簇（iQCC）方法开展基准测试，结果表明该方法有效降低了高精度量子化学模拟的硬件门槛¹⁰⁴。

中国信通院持续推进量子计算基准测评研究与测试验证。中国信通院搭建量子计算基准测试公共服务平台，围绕量子计算测评体系构建、多源平台接入、测试用例开发、软硬件接口适配等重点方向，持续推进测评体系研究与平台能力建设。中国信通院初步构建量子计算测评验证公共服务平台和 CNAS 检测能力，联合中国科大、上海光机所、移动云、中电信量子、玻色量子、图灵量子等产学研合作伙伴，面向多种技术路线原型机、编译系统及云平台等产品和

¹⁰¹ <https://www.classiq.io/insights/classiq-cuda-q-faster-hybrid-quantum-workflows>

¹⁰² <https://www.qc.design/news/plaquette-paper>

¹⁰³ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2601.10813>

¹⁰⁴ <https://doi.org/10.1021/jacs.6c04752>

服务，开展测试验证实践，以基准测评助力行业高质量发展。

基准测评研究与平台建设是推动技术与产业发展的重要支撑。

整体呈现政府引导、产学研各方参与、多技术方向探索的发展格局，基准测评体系架构初步成型，多种不同类型的基准测评方案不断涌现，测评维度从底层硬件性能向应用价值探索延伸。未来需统筹测评方案、标准规范、硬件接口与平台建设，实现量子计算系统和平台功能与性能的准确测评，为技术迭代与应用落地提供科学指引。

（四）量子-经典融合纵深发展，架构与应用双突破

量子-经典混合计算是当前阶段推动量子计算走向实用化的重要路径之一。当前量子计算技术仍处在快速演进期，受量子硬件成熟度不足，经典算力瓶颈显现，以及复杂问题本身的异构特性等多重因素约束，单一计算范式难以独立破解部分计算复杂问题，量子-经典混合计算通过两类计算资源的协同调度与优势互补，为技术攻坚与应用落地提供了可行方案。

架构层面创新有望成为推进量子-经典混合计算发展的核心驱动力。

IBM 发布以量子为中心的超级计算架构，该架构结合了量子处理器与 CPU、GPU、高速网络和共享存储，通过编排工具和 Qiskit 等实现混合计算环境中的协调工作流，实现量子处理器与经典高性能计算系统的集成¹⁰⁵。Q-CTRL 提出 Q-NEXUS 异构量子计算架构，借鉴经典冯·诺依曼架构的存储-处理分离原则，将量子计算解耦为多个功

¹⁰⁵ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2604.06319>

能模块，在执行特定算法时大幅降低算法误差和硬件资源，证明了架构组织方式可能带来的资源缩减¹⁰⁶。Kipu Quantum 发布了量子-经典混合框架，允许在量子处理器上训练量子增强型机器学习模型，推理过程可部署在经典硬件上，具备在企业级生产环境规模化运行的可行性¹⁰⁷。

量子计算与超算系统的协同融合正成为量子-经典混合计算的关键发展路径。IQM 推出高性能计算（HPC）集成服务，使其 IQM Radiance 量子计算机作为 Slurm 节点运行于 HPC 环境中，实现量子计算资源与 CPU、GPU 协同工作¹⁰⁸。Pasqal 实现英伟达 CUDA-Q 量子计算平台与其量子资源管理接口运行时系统集成，使 QPU 成为 Slurm 调度器中与 CPU/GPU 并列的可调度资源，自动完成安全认证、资源分配与作业监控¹⁰⁹。合肥量超融合计算中心正式上线运行，依托“巢湖明月”超级计算机，部署 2 台超导量子计算机和 1 台离子阱量子计算机，实现超级计算机与多台量子计算机的高速互联¹¹⁰。欧洲高性能计算联合体（EuroHPC JU）在德国正式启用 Euro-Q-Exa 量子计算机，并将其部署于莱布尼茨超算中心，旨在推动量子能力与 HPC 协同发展结合¹¹¹。此外，EuroHPC JU 在 TGCC 超算中心启用光量子

¹⁰⁶ <https://arxiv.org/pdf/2604.06319>

¹⁰⁷ <https://kipu-quantum.com/news/quantum-enhanced-ai-production>

¹⁰⁸ <https://iqm.tech/press-releases/iqm-launches-hpc-integration-service-to-accelerate-hybrid-quantum-hpc-adoption/>

¹⁰⁹ <https://www.pasqal.com/newsroom/pasqal-introduces-new-integration-with-nvidia-cuda-q-to-enhance-its-hybrid-quantum-computing-environment-for-hpc/>

¹¹⁰ <https://kj.t.ah.gov.cn/public/21671/123250601.html>

¹¹¹ <https://www.eurohpc-ju.europa.eu/inauguration-euro-q-exa-expanding-european-quantum-computing-infrastructure>

计算机 Lucy，系统将整合至 Joliot-Curie 超级计算机，该混合系统正向欧洲科研和工业用户免费开放¹¹²。

量子-经典融合计算正由理论研究阶段稳步向多垂直行业应用场景拓展延伸。克利夫兰诊所、RIKEN 与 IBM 合作基于量子中心超级计算框架成功模拟包含 12635 原子的蛋白质-配体复合物，规模较前提升约 40 倍，关键步骤精度提升约 210 倍，验证了量子-经典混合架构在药物研发领域的实用价值¹¹³。日本 JIJ、英国 ORCA Computing、英国石油公司 bp 等联合发布白皮书，基于实际电力运营条件的工业数据集，采用量子-经典计算方法对能源行业的机组组合问题进行基准测试，验证了量子-经典混合计算解决能源行业问题的可行性¹¹⁴。劳伦斯伯克利国家实验室开发多观测量动态模式分解方法，利用量子-经典混合方法以极低测量开销实现快速且误差可控的复杂分子分析，为探索复杂分子能量状态提供思路¹¹⁵。

量子-经典融合计算或成为撬动量子计算应用落地的关键支点。整体呈现架构创新、系统融合与应用拓展三线并进的发展态势，业界持续探索资源效率与计算性能的优化路径，推动量子计算资源接入经典超算体系，并推动在多个领域开展应用实践，为后续系统级

ture-2026-02-12_en

¹¹² https://www.eurohpc-ju.europa.eu/eurohpc-ju-inaugurates-quantum-computer-france-strengthening-europes-sovereignty-2026-04-14_en

¹¹³ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2605.01138>

¹¹⁴ https://storage.googleapis.com/studio-design-asset-files/projects/7kadQB9NW3/s-1x1_27148a5f-7b82-4f76-9c0a-3b5f3df58c6e.pdf

¹¹⁵ <https://doi.org/10.1103/74s6-3jsz>

协同逐步积累经验。未来需从场景拓展、任务切分、调度智能、标准接口等维度协同发力，为量子计算走向实用化提供持续支撑。

（五）量子计算与 AI 双向赋能，融合应用进展初现

量子计算与人工智能的交叉融合正成为前沿科技领域的重要探索方向。二者的融合并非技术的简单叠加，而是形成双向赋能、互促共进的发展格局，人工智能为量子计算研发与工程化提供智能化设计与优化等工具支撑，量子计算则为突破经典算力瓶颈、拓展人工智能能力边界提供新路径。

人工智能对量子计算的赋能作用正逐步显现，在芯片设计、纠错方案、系统校准等多个技术环节初步展示价值。英伟达推出开源量子人工智能系列模型 NVIDIA Ising，模型取得两方面性能突破，一是通过引入视觉语言模型实现自动化连续校准，将芯片校准耗时从数日缩短至数小时；二是采用神经网络模型构建量子纠错解码器，同时处理时空两个维度纠错码信息，相较行业标准工具 pyMatching 实现 2.5 倍更快速度与 3 倍更高准确率¹¹⁶。微软依托人工智能辅助研发 Majorana 2 拓扑量子芯片，Microsoft Discovery 平台的 Agentic AI 在管理制造流程、量子态自动测量、优化材料制造工艺、实现缺陷检测等方面发挥作用，并助力分析实验数据¹¹⁷。Korea Quantum Computing 发布量子 AI 混合平台“KQC Qubiteer”，面向材料设计、物流

¹¹⁶ <https://nvidianews.nvidia.com/news/nvidia-launches-ising-the-worlds-first-open-ai-models-to-accelerate-the-path-to-useful-quantum-computers>

¹¹⁷ <https://news.microsoft.com/source/latam/noticias-da-microsoft/apresentando-majorana-2/?lang=pt-br>

调度等量子优化场景，AI 智能体可完成数学建模、求解器选择与计算执行等流程¹¹⁸。谷歌等团队采用强化学习算法，实现量子纠错系统实时自适应校准，基于 Willow 超导处理器进行实验验证，逻辑错误率降低 31%，表面码对漂移的稳定度提升 3.5 倍¹¹⁹。

量子计算的并行处理特性为人工智能发展提供了新思路，在神经网络研究、模型性能提升等方向的探索取得初步进展。加州理工学院等构造了可高效训练的量子神经网络层次结构 k-HRNNs，证明在经典序列建模任务上可实现任意常数阶的多项式表达能力分离¹²⁰。Multiverse Computing 将量子电路模块插入预训练大语言模型冻结投影层中，使 WikiText 数据集困惑度降低 1.4%，并基于 IBM Heron R2 超导量子芯片实现端到端推理验证¹²¹。马里兰大学等在量子硬件平台上运行可调量子神经网络，研究量子特性对神经网络的影响，结果表明适度的量子测量随机性能够提升神经网络分类准确率¹²²。

量子计算与人工智能融合应用探索向多垂直行业延伸，在工业检测、气象预测、医学影像等领域取得初步成果。ORCA Computing 与丰田将光量子计算处理器与经典深度学习模型相结合处理图像分类任务，在计算操作减少超过 20% 的情况下，经典计算时间缩短了 8

¹¹⁸ <https://www.quantumtimes.net/news/articleView.html?idxno=56592>

¹¹⁹ <https://doi.org/10.1038/s41586-026-10759-2>

¹²⁰ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.08606>

¹²¹ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2605.05914>

¹²² <https://doi.org/10.1103/9bp2-42v3>

0%¹²³。华盛顿 WISER 学院与弗劳恩霍夫工业数学研究所基于真实工业传感器数据，基准测试了量子神经网络（QNN）中不同电路架构与数据编码策略对可训练性和近似能力的影响，展示了 QNN 在气动泄漏检测、轴承故障检测等工业应用方面的潜力¹²⁴。复旦大学与中国科大等构建新型量子储层计算方案，在 NARMA 时间序列基准测试中实现了比此前量子储层计算实验低 1 至 2 个数量级的预测误差，为探索基于量子机器学习解决气象预测问题提供新思路¹²⁵。慕尼黑大学提出利用量子机器学习辅助 X 光影像分析的模型，在医学影像数据集小、正负样本不平衡的场景下保持较高的诊断速度和准确性，为资源受限医疗环境中的轻量化筛查提供了可行性验证¹²⁶。

量子计算与人工智能双向融合赋能的技术潜力初步显现，应用探索也从技术层面向行业场景逐步延伸，二者融合有望协同催生新的突破点，共同驱动技术创新与产业变革。但量子计算与人工智能融合研究仍面临多重挑战，主要体现在量子计算硬件规模有限、优势边界模糊、融合范式不统一、融合应用场景不明确等方面。总体来看，量子计算与人工智能的深度融合是一个循序渐进、持续演进的过程，需要多方协同发力、持续攻坚，方能逐步释放其潜在价值。

¹²³ <https://orcacomputing.com/orca-toyota-hybrid-quantum-ai-energy-reduction/>

¹²⁴ <https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.27671>

¹²⁵ <https://doi.org/10.1103/r8ww-qw7j>

¹²⁶ <https://www.lmu.de/en/newsroom/news-overview/news/detecting-pneumonia-with-quantum-ai-b0e6afc4.html>

四、量子计算产业发展处于早期，生态培育任重道远

（一）产业生态初步构建，薄弱环节尚需持续补强

量子计算产业生态方兴未艾，产业生态格局初步形成。上游企业专注环境测控技术，中游企业聚焦量子计算原型机研发与软件算法开发，下游企业布局量子计算云平台并探索行业应用，三方合力构筑产业生态雏形。欧美量子计算产业生态体系如图 13 所示，科技企业、初创公司等多元参与者陆续加入量子计算赛道。



来源：中国信息通信研究院

图 13 欧美量子计算产业生态体系概况

产业生态上游是产业发展的底层支撑，涵盖低温制冷、测控系统、真空系统、关键器件组件等细分领域，其供给能力与技术水平直接决定中游硬件性能和下游应用拓展的发展进程。当前上游发展呈现三方面特征：一是技术路线多元性，多条技术路线并行演进，

带动上游呈现高度细分的产业生态格局，短期内难以形成统一技术标准与规模化供给体系；二是供应链安全属性凸显，上游核心设备器件兼具高技术壁垒和高供应商集中度的特征，已成为国际科技竞争的焦点领域，供应链安全与自主可控的重要性持续上升；三是生态协同属性，上游发展不仅取决于单点技术突破，更有赖于“材料-器件-设备-系统”全链条的协同创新和标准对接，当前跨环节协同不足已成为制约产业整体效率提升的重要因素。

从国际竞争格局看，欧美凭借数十年基础研究积累和成熟的工业体系，在高端制冷设备、精密测控仪器和核心材料等领域占据先发优势，产业链配套更为完整。我国在政策引导和市场驱动下加速追赶，稀释制冷机、低温电子学器件、微波测控系统等领域推出相关产品，但在关键性能指标、工艺稳定性、量产成本控制和高端产品供给等方面仍存在差距。未来应持续强化基础研究和关键核心技术攻关，完善公共测试验证平台等基础设施，推动产学研用深度融合，逐步构建体系完备且安全的上游产业生态。

产业生态中游是产业链的核心枢纽与企业集聚层，由整机制造商和软件开发商组成。整机制造方面，全球呈现多技术路线并行演进格局，超导路线参与主体最多，离子阱、中性原子、光量子、硅基半导体及拓扑等路线稳步探索，差异化技术路径为产业长期发展保留了多元可能性。软件开发方面，各类企业围绕量子编程框架、算法库、编译器、操作系统等环节加快布局，依托开源社区和云平

台汇聚开发者资源，推动软件生态持续完善。

从国际竞争格局看，欧美企业凭借先发技术积累、成熟开源社区和活跃的开发者的生态，已形成具有一定用户规模和品牌影响力的整机与软件产品。我国量子计算中游产业已取得阶段性进展，整机研制已覆盖多条主流技术路线，软件工具研发取得积极进展，但在核心技术自主可控、工程化产业化水平、生态体系构建等方面仍有提升空间。后续应着力提升整机性能指标和工程化水平，加强开源社区建设和生态培育，提升核心产品易用性与市场竞争力，推动中游产业高质量发展。

产业生态下游是技术价值向产业价值转化的关键枢纽，主要由量子计算云服务商与行业应用方构成。量子计算云平台方面，作为当前阶段培育产业生态、拓展用户群体的重要载体，通过云服务模式打破硬件壁垒，大幅降低量子计算的使用门槛。行业应用方面，金融、材料、制药等领域企业已开始探索量子计算的实用价值，通过开放应用场景验证技术潜力，尝试厘清技术边界与应用价值。

从国际竞争格局看，IBM、谷歌、亚马逊、微软、英伟达等科技企业依托强大的云计算基础和生态运营能力，构建了支持多硬件后端的开放云平台，形成覆盖多行业的应用解决方案与商业服务模式，生态集聚效应显著。我国量子计算云平台建设取得阶段性进展，行业应用探索有序展开，但在平台开放性、硬件适配性、服务体系化和应用探索深度等方面与国际先进水平相比仍有差距。后续应在

云平台兼容性、接口统一性和服务能力方面补齐短板，在行业应用上加大企业投入和认知培育力度，打造示范标杆案例，构建技术供给与需求牵引双向互动的产业生态体系。

量子计算产业生态整体仍处于培育发展初期，深层次挑战逐步显现。一是应用落地尚未实现，行业探索以概念验证为主，尚未形成规模化商业应用场景。二是商业化闭环远未形成，企业盈利模式尚不清晰，企业主要依赖公共研发投入和资本市场融资，自我造血能力不足。三是供应链碎片化，核心设备与材料高度定制化，标准不统一，产业链协同效率低。四是存在近期商业化前景的过高期望与概念炒作，资本市场高度关注背后的“泡沫化”隐忧浮现。未来量子计算技术攻关、样机研发、应用探索和产业培育仍是任重道远的马拉松竞赛，保持发展战略定力和合理预期管理是理性选择。

（二）企业力量蓄势涌动，协同推进产业生态构建

量子计算成为各方竞逐的热门赛道，欧美科技巨头与初创企业**双轮驱动、各有侧重**。科技巨头依托资源禀赋走全栈化、平台化路线，主导产业生态和标准制定，构筑竞争壁垒。初创企业以技术聚焦和差异化突破为主要特征，集中资源深耕特定技术路线，在技术创新和场景探索方面具灵活性优势。二者互为补充、协同演进，共同构建量子计算产业生态格局。

科技巨头方面，IBM、谷歌、微软等企业凭借研发实力雄厚、工程经验丰富和商业体系相对完善，持续加大量子计算领域投入，

竞争优势突出，旨在掌握产业生态主导权。2026 年，IBM 宣布未来五年向量子计算投入超 100 亿美元，覆盖研发、资本支出、制造规模化、生态合作和战略并购等方向，旨在加速其技术路线图进程，于 2029 年提前交付全球首台大规模容错量子计算机 Starling¹²⁷。谷歌推出“生命科学与量子人工智能交叉研究计划”，承诺向哈佛、麻省理工等五所大学投入 1000 万美元，推动量子科学和人工智能在生命科学领域的应用，旨在为未来药物研发和人类健康改善奠定科学基石¹²⁸。微软启动“量子先锋计划”，征集顶尖学术人员探索推动拓扑量子计算技术，聚焦于拓扑量子比特动力学的模拟方法、基于测量的读出与控制技术等关键挑战，加速研究拓扑路线研究进程¹²⁹。

初创企业方面，Quantinuum、Rigetti、Pasqal 等围绕量子计算原型机研发、软件工具开发、云服务和行业方案等方向深耕细分领域，成果产出不断且用户认可度逐渐提升。Quantinuum 与美国商务部签署意向书，拟获得 1 亿美元联邦资金支持，用于攻克包括低损耗集成光子学、离子阱关键波长的可靠光学组件等难题¹³⁰。Rigetti 向加拿大萨斯喀彻温大学¹³¹、印度电子信息技术部¹³²等用户交付不同型

¹²⁷ <https://newsroom.ibm.com/2026-06-02-ibm-commits-more-than-10-billion-to-quantum-computing,-funding-its-roadmap-from-todays-leading-systems-to-the-worlds-first-fault-tolerant-quantum-computers>

¹²⁸ <https://blog.google/innovation-and-ai/models-and-research/quantum-computing/reliqa-quantum-computing-life-sciences/>

¹²⁹ <https://quantum.microsoft.com/en-us/insights/blogs/quantum-pioneers-program>

¹³⁰ <https://www.quantinuum.com/press-releases/quantinuum-enters-into-letter-of-intent-with-the-us-department-of-commerce-for-funding-opportunity-to-accelerate-us-leadership-in-quantum-computing>

¹³¹ <https://www.globenewswire.com/news-release/2026/03/31/3266005/0/en/rigetti-announces-novera-qpu-sale-to-the-university-of-saskatchewan.html>

¹³² <https://www.globenewswire.com/news-release/2026/01/20/3221654/0/en/Rigetti-Announces-Order-for-a-108-Qubit-Quantum-Computer-from-India-s-Centre-for-Development-of-Advanced-Computing-C-DAC.html>

号和量子比特规模的量子计算机，与美国商务部签署意向书，有望在三年内最高获 1 亿美元资助，用于攻克超导量子计算规模化与性能提升的关键技术挑战¹³³。Pasqal 在意大利博洛尼亚超算机构 CINECA 部署量子计算机 SOL，SOL 采用 140 量子比特 Pasqal Orion 量子处理器，旨在将量子计算与 EuroHPC 超算平台实现集成¹³⁴。IQM Radiance 54 量子计算机在意大利 CINECA 完成部署，旨在为用户提供生产级量子-经典协同计算环境¹³⁵。AQT 将其 12 比特 IBEX Q1 离子阱量子计算机接入 Quantum Rings 的 Open Quantum 开放量子平台，降低用户使用门槛¹³⁶。

我国量子计算产业形成多主体协同、多路线并进的发展格局，产业竞争位势稳步提升。从主体结构看，呈现科技企业、运营商、初创企业三类主体协同发力的态势。腾讯、华为、中国电科等科技企业将量子计算列为关键前沿方向，基础研究、软硬件开发、场景探索和产业生态构建同步开展。中国移动、中国电信等运营商依托云网基础设施和行业资源深度入局，通过建设云平台 and 联合行业用户探索应用等途径推动协同创新。本源量子、华翊量子、玻色量子、中科酷原等初创企业分别在超导、离子阱、光量子、中性原子等路线深耕并陆续产出成果。从进展成果看，我国量子计算企业经过近

¹³³ <https://www.globenewswire.com/news-release/2026/05/21/3299199/0/en/rigetti-signs-letter-of-intent-with-u-s-government-for-quantum-computing-research.html>

¹³⁴ <https://www.pasqal.com/fr/newsroom/pasqal-inaugurates-italys-first-neutral-atom-quantum-computer-third-pasqal-system-in-europe/>

¹³⁵ <https://iqm.tech/press-releases/iqm-quantum-computer-goes-live-at-supercomputing-center-cineca-in-italy-boosting-national-compute-infrastructure-and-research/>

¹³⁶ <https://www.aqt.eu/quantum-computer-from-aqt-added-to-quantum-rings-platform/>

年持续发力，在产品研制、技术创新和产业生态等方面取得系列重要进展。2026 年，华翊量子离子阱量子计算机 HYQ-B100 已正式交付中国移动研究院¹³⁷。玻色量子推出 QLI 量子计算并联架构，支持两台“驭量·山海 1000”以极低延迟实现算力并联¹³⁸。量旋科技的 Spin Qit 工具包和量子计算云平台两款产品与中移软件大云天元操作系统 BC-Linux V21.10 系列版本，在不同处理器平台上均实现适配¹³⁹。移动研究院、北京量子院、相干科技等在中关村论坛年会上签署量子 AI 深度融合开发平台合作备忘录，旨在突破量子 AI 融合领域的关键核心技术，推动技术产业应用协同发展¹⁴⁰。

全球量子计算产业已形成科技巨头全栈引领、初创企业细分突破的双轮驱动格局。科技巨头以大规模投入推动技术路线演进和生态壁垒构建，掌握标准制定与产业话语权。初创企业深耕细分技术路线，在特定方向形成差异化优势，推动产业技术多元化发展。我国量子计算企业整体竞争力稳步提升，但研发投入强度、技术原创性和产业成熟度与国际前沿仍有差距，未来需在增强原始创新能力、加快应用场景验证和产业生态成熟度提升等方面持续发力。

（三）基础设施平台赋能研发，联盟凝聚产业合力

量子计算产业生态培育依赖硬件基础设施平台与产业联盟两类

¹³⁷ https://kfqgw.beijing.gov.cn/cxyzkfq/cxcg/202606/t20260605_4687509.html

¹³⁸ <https://www.rmzxw.com.cn/c/2026-05-11/3913292.shtml>

¹³⁹ <https://www.spinq.cn/news-detail/shuang-xiang-shi-pei-sheng-tai-gong-ying20260325>

¹⁴⁰ https://www.sohu.com/a/1002582862_121124377

公共支撑体系协同推进。硬件基础设施平台涵盖芯片制造、中试集成、测试验证等高端装备与公共平台，通过装备共享、标准对齐和资源统筹，破解重复投入与研发门槛偏高问题。产业联盟等软平台以聚合企业、科研机构 and 行业用户等多元主体为核心，通过构建常态化协作网络，推动标准协同、技术攻关和场景对接，促进创新资源整合与生态体系培育。二者功能互补、协同发力，共同为产学研各方搭建联合研发与成果转化的支撑载体。

硬件基础设施平台是量子计算产业生态培育的关键基础支撑，通过高端装备共享、研发门槛下移和技术规范对齐，有效破解产业发展中的重复投入、资源冗余和体系碎片化等共性问题。近年来，欧美国家将公共平台建设提升至战略高度，通过专项基金、跨部门协调和产学研协同等组合举措，加速成果转化、降低企业成本、促进产业集聚。2026 年，SEEQC 参与 NORDTECH 微电子公共平台旗下 SQFab 项目，旨在将超导量子比特从实验室纳米制造转向 300 毫米工业级硅晶圆规模化生产¹⁴¹。印度发布量子计算测试基础设施平台，该平台是印度国家量子任务下 Amaravati 量子谷项目的一部分，旨在使不同用户在真实运行条件下验证、测试和认证量子硬件和软件¹⁴²。TreQ 在英国牛津郡部署开放架构量子计算测试平台并投入使用，平台将量子处理单元、测控硬件与校准软件进行标准化接口互

¹⁴¹ <https://www.nordtechub.org/nordtech-news/seeqc-awarded-participation-in-us-chips-actbacked-microelectronic-s-commons-nordtech-quantum-rampd-program>

¹⁴² <https://quantumcomputingreport.com/andhra-pradesh-launches-indias-first-open-access-quantum-testbeds/>

联，支持不同硬件组合的系统级效能评估与横向比对¹⁴³。量子计算公共设施平台作为产业发展的关键基础设施，在提供实验验证环境、降低试错成本、构建测试基准等多个方面发挥重要作用。

产业联盟是量子计算产业生态培育的重要组织载体。全球多国相继成立量子信息产业联盟，汇聚企业、科研机构 and 行业用户等各类主体，通过搭建协作网络、推进标准制定、对接应用场景等方式，强化技术协同攻关、成果落地转化和生态体系培育。全球典型量子信息产业联盟如图 14 所示。



来源：中国信息通信研究院根据公开信息整理（截至 2026 年 8 月）

图 14 全球典型量子信息产业联盟概况

2026 年，西班牙成立“西班牙量子联盟”，涵盖企业、研究中心、大学、行业协会等领域的 53 家创始成员，旨在推动西班牙成为欧洲

¹⁴³ <https://www.prnewswire.com/news-releases/treq-deploys-open-architecture-quantum-computing-testbed-302751022.html>

量子技术标杆¹⁴⁴。香港城市大学主导发起量子智能产业联盟，成员包括本源量子、中电信量子、量旋科技等企业和机构，涵盖量子硬件、算法生态、通讯安全及产业应用等领域¹⁴⁵。中国移动发布三大量子生态联盟，五岳纪元量子社区生态联盟注重开源共治和产学研协同，移动云操作系统安全生态联盟以 AI 赋能安全为主线推动技术共研和标准共建，量子计算场景攻关及行业成果孵化联盟旨在加速量子计算行业场景落地孵化¹⁴⁶。量子信息网络产业联盟（QIIA）目前已有 112 家成员单位，持续开展技术产业报告撰写、应用案例征集、标准实施验证测评等工作，助力培育自主产业生态。量子产业联盟作为推动产业化的重要方法，核心价值在于聚合创新资源、构建协作网络与加速产业凝聚，将持续为产业生态注入活力。

全球量子计算产业正处于生态培育的关键阶段，基础设施硬平台与产业联盟软平台构成生态体系的两大核心，二者协同推动创新要素整合与成果转化。未来应进一步提升公共设施平台的服务效能，健全软硬件资源共享机制，同时强化联盟的组织枢纽作用，为构建自主可控、安全可靠的量子计算产业生态提供坚实保障。

（四）国际国内标准齐推进，体系建设任重而道远

量子计算标准化工作总体处于起步探索阶段。受技术路线未收敛、产业生态未定型、学科交叉复杂度高等因素制约，系统性标准

¹⁴⁴ <https://www.squa.es/index.html#press>

¹⁴⁵ <https://www.cityu.edu.hk/en/media/press-release/2026/04/21/the-quantum-intelligence-industry-alliance-is-officially-launched>

¹⁴⁶ <https://app.xinhuanet.com/news/article.html?articleId=20260509852ca3079fec4e4fb0666bdaa423e53a>

体系尚未形成。目前全球主要标准化组织已陆续启动相关标准研究并取得阶段性进展，但整体仍以框架性、基础性研究为主，标准供给能力有待提升。

国际方面，国际标准化组织与国际电工委员会（IEC/ISO）、国际电信联盟电信标准化部门（ITU-T）、电气与电子工程师协会（IEEE）等国际标准组织均布局推进量子计算标准化工作，在构建统一概念术语体系、明确定义边界的同时，构建性能评价体系、探索测试验证方法。IEC/ISO 成立量子技术联合技术委员会（JTC3），在量子计算领域有多项在研工作项目¹⁴⁷，包括《量子技术 量子计算 算法和应用级基准测试》、《量子技术 量子计算 硬件基准测试》等。除上述标准化组织之外，近年来国际上其他机构或组织也逐步开展量子计算标准化研究和项目布局。欧洲标准化组织 CEN/CENELEC 通过 JT C 22 开展了量子计算层模型标准化研究¹⁴⁸。2026 年，EuroHPC JU 设立预算 100 万欧元的“量子技术标准”专项招标，为期 3 年，旨在推出包括量子计算在内的量子领域预标准化规范等研究，强化欧洲在国际量子标准制定中的话语权¹⁴⁹。英国发布 20 亿英镑量子技术投资计划，计划中强调将技术标准的重要性，将进一步协调国家物理实验室（NPL）、英国标准协会（BSI）与 IEC/ISO、ETSI、ITU 等国际标

¹⁴⁷ <https://www.iso.org/committee/10138914/x/catalogue/p/0/u/1/w/0/d/0>

¹⁴⁸ <https://www.cenelec.eu/news-events/news/2025/eninthespotlight/2025-10-23-tr-18202-2025/>

¹⁴⁹ https://www.eurohpc-ju.europa.eu/four-new-eurohpc-ju-calls-boost-quantum-innovation-and-standardisation-europe-2026-06-02_en

准组织的对接，积极参与相关标准制定¹⁵⁰。

国内方面，全国量子信息技术标准化技术委员会（SAC/TC578）、中国通信标准化协会（CCSA）、全国信标委量子信息标准工作组（TC28/WG34）等国内标准组织持续布局量子计算标准化研究，研究内容正从术语定义逐渐向性能评测与应用规范延伸。2026 年，TC 578 发布 4 项量子计算领域国标，分别是 GB/T 47176-2026《超导量子计算专用极低温极低噪声系统》、GB/T 47177.1-2026《量子计算服务平台 第 1 部分：架构与功能要求》、GB/T 47177.2-2026《量子计算服务平台 第 2 部分：性能评估》、GB/T 47468-2026《量子计算系统性能测试方法》¹⁵¹。CCSA 共有 2 项量子计算领域行标完成报批，分别是《量子计算服务平台 资源接入要求》和《量子计算服务平台 能力要求》。TC28/WG34 工作组有 3 项在研行业标准，同时开展量子信息技术标准化路线图、标准体系等研究。

2026 年 6 月 26 日，工业和信息化部成立量子信息标准化技术委员会¹⁵²，编号为 MIIT/TC10，由 62 名委员组成，下设基础共性、量子通信、量子计算、量子精密测量工作组，负责相应领域的行业标准制修订工作。量子信息标委会持续开展成员单位和标准项目征集，推进标准预研和制修订等工作，进一步统筹和加强量子计算领域标

¹⁵⁰ <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy/national-quantum-strategy-accessible-webpage>

¹⁵¹ <https://std.samr.gov.cn/search/orgDetailView?tcCode=TC578>

¹⁵² https://www.miit.gov.cn/jgsj/kjs/wjfb/art/2026/art_faf0c5b334ed4168a3425637974878d3.html

准体系建设，加快行业亟需标准研制，推进标准实施应用赋能。

标准是量子计算产业竞争的制高点之一，决定产业规则话语权与生态主导权。量子计算标准化节奏由技术成熟度和产业需求共同决定，标准配套需与二者保持动态匹配。当前技术路线多元并存、成熟度不一，产业应用尚处探索阶段，决定了标准工作应采取渐进有序的推进路径。量子计算标准建设宜稳步推进，优先制定术语定义、性能指标、测试方法等基础通用标准，视技术成熟度逐步向软硬件接口、行业应用拓展，构建系统完备的标准体系框架。

五、总结与建议

量子计算是驱动新一轮科技革命和产业变革的关键引擎，初步形成涵盖基础理论探索、工程攻关突破、应用探索实践、产业生态培育的协同发展格局。基础理论层面，科研探索与工程实践相互促进，稳步产出创新成果。工程攻关层面，超导、离子阱、中性原子、光量子、硅半导体、拓扑等多技术路线并行推进，技术格局呈现开放多元特征。应用探索层面，多个行业领域正积极探索量子计算的应用落地场景，应用案例不断涌现。生态培育层面，产业格局初具形态，量子计算企业、产业联盟等主体共同推动生态建设。

现阶段量子计算领域仍面临多重瓶颈挑战。基础理论层面，量子态制备与操控、退相干机理研究、纠错编码设计、实用化算法理论、基础材料研究等核心科学问题尚待攻克。工程攻关层面，各路线量子计算原型机在比特规模、门保真度等核心指标上距容错通用

量子计算机尚有数量级鸿沟，环境支撑系统与制造工艺等工程化问题仍待解决。**应用探索层面**，稳定、可复现、可扩展且足以证明量子优越性的实际案例仍未落地，业内缺乏统一的量子计算应用性能评估标准和测试基准。**生态培育层面**，供应链环节补强、标准体系建设、产业协同机制与商业模式创新等方面均面临挑战，技术迭代与市场需求的正反馈机制尚待构建。

我国量子计算发展水平居于国际第一梯队，面临外部环境严峻、技术竞争加剧等挑战，需强化体系化布局和系统性推进。**一是**强化基础研究原创能力，逐步构建理论、纠错、材料、算法多维协同攻关机制，驱动基础研究和底层支撑的加速突破。**二是**加快原型机工程化突破，实现核心设备与器件组件的自主研制，攻克各技术路线工程化壁垒，推动比特数量、操控精度等核心指标持续跃升。**三是**深化重点行业应用探索，借助案例征集、示范项目与验证平台等抓手，依托示范项目和验证平台挖掘应用价值，不断完善行业广泛认可的量子计算应用基准测试体系。**四是**健全产业生态支撑体系，以公共平台为依托强化产学研用联动，通过标准化研究等促进专业分工与产业协作，形成技术创新与产业创新深度融合的发展格局。

中国信息通信研究院 技术与标准研究所

地址：北京市海淀区花园北路 52 号

邮编：100191

电话：010-62300383

传真：010-62304980

