下载日志已记录，仅供内部参考

未来产业之量子科技：三域并进，产业化窗口开启

计算机

评级： 增持

姓名	电话	邮箱	登记编号
杨林(分析师)	021-23183969	yanglin2@gtht.com	S0880525040027
魏宗(分析师)	021-23180000	weizong@gtht.com	S0880525040058

本报告导读：

量子科技正从科研验证进入产业化窗口，但三大方向商业化节奏显著分化：量子通信和量子精密测量率先形成收入闭环，量子计算仍取决于纠错、逻辑比特和量子经典融合突破。我们认为，短期应聚焦量子安全专网、高端量子测量仪器和上游核心设备国产替代，中长期关注通用量子计算的平台型技术期权。

投资要点：

- **投资建议：**我们认为，量子科技正由前沿科研走向产业验证，具备技术积累、场景资源和工程化交付能力的上市公司有望率先受益。量子通信已在运营商专网、政务金融、电力能源等高安全场景形成示范应用，量子精密测量在能源电力、生物医疗、资源勘探等场景加快落地，量子计算仍处技术攻关和应用验证阶段。推荐：国盾量子、神州信息、海光信息、中科曙光、中国长城；建议关注：国仪量子、科大国创、吉大正元、格尔软件。
- **量子科技上升为国家战略科技力量，政策、资本和科研共同推动产业化提速。**全球范围内，量子信息技术已成为科技竞争、信息安全和未来产业布局的重点方向，国家级战略规划和产业资金持续加码；国内层面，量子科技政策表述经历了从量子通信到量子信息再到量子科技的升级，政策重心由基础研究和工程原型验证，逐步转向场景应用、产业培育和经济增长点打造。资本端，一级市场融资热度提升，量子计算、量子精密测量和核心设备企业持续获得资金支持，二级市场则呈现标的稀缺、产业期权属性突出的特征。
- **三大方向商业化节奏分化，量子通信和量子精密测量更具近期收入兑现基础。**量子通信以 QKD、QRNG、量子加密网关和量子安全专网为主要产品形态，短期核心需求来自运营商、政务、金融、电力和工业控制等高安全场景，但推广仍受部署成本、组网运维和 PQC 迁移影响；量子精密测量更接近高端科学仪器和行业传感设备，原子钟、量子磁力仪、量子重力仪、光量子雷达等产品具备较明确应用入口，有望率先在能源电力、生物医疗、资源勘探和国防军工等领域形成商业闭环；量子计算仍处于云平台开放、算法验证和行业概念验证阶段，短期收入弹性有限，长期空间取决于纠错能力、逻辑比特质量和实际任务加速效果。
- **产业链从单点突破走向体系协同，上游核心设备与中游平台能力构成竞争壁垒。**量子科技产业链并非单一线性结构，而是由共性基础层和三大应用方向共同构成。上游高端激光器、单光子探测器、稀释制冷机、低温电子学、真空系统、微纳加工、测控系统等环节决定产业化能力边界；中游量子计算整机、量子通信设备、量子测量仪器和软件平台决定产品交付能力；下游则通过运营商专网、政务金融、电力能源、医疗健康、资源勘探等场景实现商业化验证。随着国产核心设备、量子云平台、量子安全网络和高端测量仪器逐步成熟，产业链有望从科研项目驱动转向产品和订单驱动。
- **风险提示：**技术路线不确定性风险；量子计算实用化进度不及预期风险；量子通信市场需求及 PQC 竞争风险；量子精密测量产品化和场景拓展不及预期风险；核心设备、材料和供应链风险；政策、标准与行业采购节奏不及预期风险。

相关报告

计算机《Anthropic 新模型 Fable 5 性能跃升，遭政府出口管制，AI 主权化趋势凸显》2026.06.14

计算机《计算机周观点第 46 期：AI 三巨头同步冲刺 IPO，Anthropic 新模型遭出口管制》2026.06.14

计算机《计算机周观点第 45 期：算力军备竞赛升级，Agent 平台化竞争开启下半场》2026.06.07

计算机《计算机 2026 年 6 月研究观点：华为"韬定律"破局，国产算力生态加速成型》2026.05.31

计算机《推理与 Agentic AI 浪潮下，CPU 重回 AI 基础设施核心中枢》2026.05.29

下载日志已记录，仅供内部参考

目录

1. 量子科技以量子力学原理重构信息处理，三大方向构建技术体系.....4
1.1. 量子概念：微观物理量离散化，构成新一轮信息技术底层规则.....4
1.2. 量子技术特性：叠加、纠缠、隧穿与测量扰动决定能力边界.....4
1.3. 量子科技发展史：从理论奠基到产业化窗口.....5
1.4. 量子计算、量子通信、量子精密测量：三大方向的技术边界与交叉关联 6
2. 全球量子科技竞赛加速，中美欧形成三极格局.....7
2.1. 主要经济体量子战略密集出台，国家级投入持续加码.....7
2.2. 全球市场规模测算与增长预期，量子计算占主导增量.....8
2.3. 海外核心玩家图谱：IBM、Google、IonQ、PsiQuantum、Quantinuum 技术路线与里程碑对标.....10
3. 国内量子科技产业化进入关键窗口，政策-资本-学术三轮驱动.....14
3.1. 政策端：从"科技创新 2030"到十五五规划，量子信息列入国家战略科技力量.....14
3.2. 资本端：一级市场融资结构与估值演进，二级市场标的稀缺性与定价逻辑 16
3.3. 研发端：中国量子领域论文/专利全球占比，中科大-清华-中科院体系主导，产学研转化路径.....17
4. 产业链纵深拆解与应用场景分层：量子通信率先产品化，量子计算等待纠错突破，量子精密测量高端仪器先行.....18
4.1. 量子科技产业链总览：共性基础层与三大方向分化.....18
4.2. 量子通信产业链：QKD 与 QRNG 产品化先行，PQC 重塑安全迁移边界 19
4.2.1. 产业链结构：光源、探测器、随机源、QKD 设备、加密网关与系统集成 19
4.2.2. 商业化场景：运营商专线、政务金融、电力能源、工业控制 ...19
4.2.3. 关键约束：提质降本、组网运维成本、PQC 竞争与融合边界...19
4.3. 量子计算产业链：硬件路线并行竞争，云平台与量子经典混合计算先行 20
4.3.1. 量子计算产业链总览：上游支撑系统、中游整机与软件平台、下游云服务与应用验证.....20
4.3.2. 技术路线：超导、离子阱、光量子、中性原子、拓扑量子比特并行竞争 21
4.3.3. 量子纠错：从物理比特扩展走向逻辑比特可用，是通用量子计算的关键瓶颈.....22
4.3.4. 近期商业化：软件与平台开放探索，技术成熟度仍需提高.....23
4.3.5. 中远期场景：药物分子模拟、材料设计、组合优化、金融风控、密码冲击 25
4.4. 量子精密测量产业链：高端仪器先行，多行业场景率先落地.....26
4.4.1. 产业链结构：传感介质、光电器件、系统设备、数据平台与行业应用 26
4.4.2. 成熟产品与场景：时频基准、磁场测量、重力测量、目标探测 27
4.4.3. 重点应用：能源电力、生物医疗、油气管网、矿产勘探、国防军工 27
4.4.4. 关键约束：体积、功耗、成本、环境适应性与标准化.....27
4.5. AI+量子：量子计算、量子精密测量与 AI 双向赋能.....28
4.5.1. AI for Quantum：测控优化、纠错设计、量子态制备、数据后处理 28
4.5.2. Quantum for AI：量子机器学习与潜在算力突破.....29
5. 量子科技商业化提速，重点公司竞争力拆解.....29
5.1. 国盾量子（688027）：量子通信设备龙头，QKD 产品线+量子计算布局 29
5.2. 国仪量子（已获证监会同意注册，待发行上市）：量子精密测量仪器平

下载日志已记录，仅供内部参考

台型公司 30
5.3. 本源量子（未上市）：超导量子计算整机，国产量子芯片自主路线. 31
5.4. 相关上市公司梳理：围绕软件平台、算力底座与量子安全形成产业链延伸布局 32
6. 风险提示 33

下载日志已记录，仅供内部参考

1. 量子科技以量子力学原理重构信息处理，三大方向构建技术体系

1.1. 量子概念：微观物理量离散化，构成新一轮信息技术底层规则

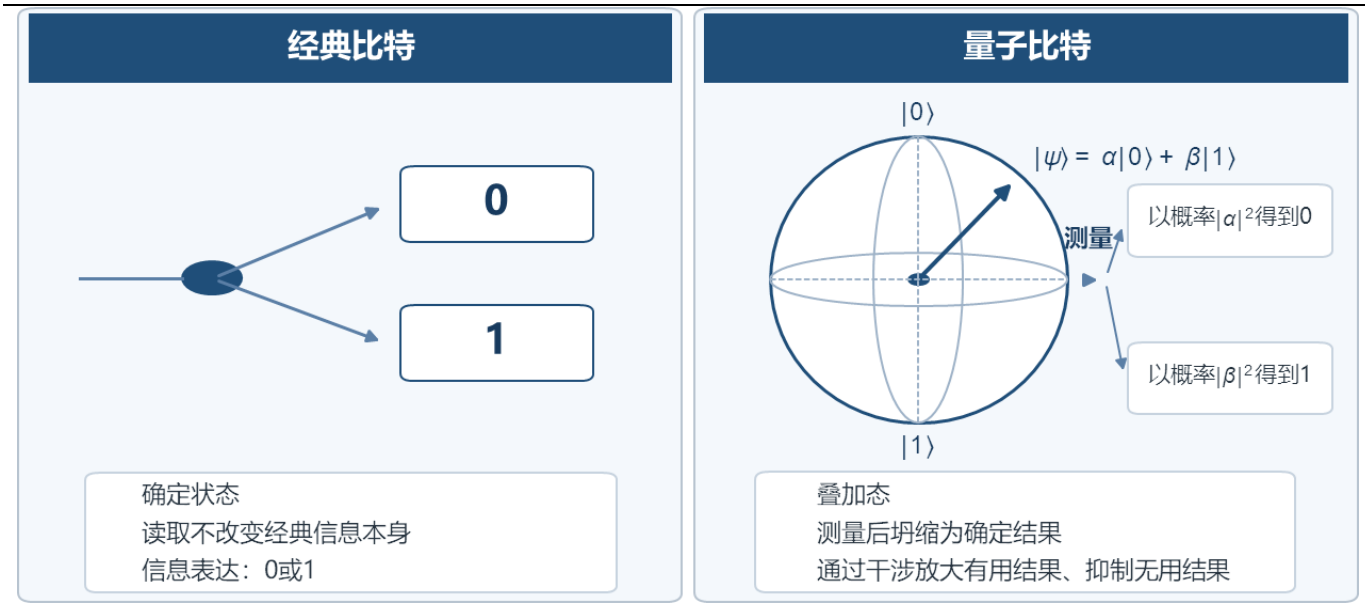
量子是微观物理世界中能量、动量、电荷等物理量以离散单位存在和变化的基本概念。1900 年，普朗克提出能量并非连续辐射，而是以离散能量包形式吸收和发射，开启量子理论源头；此后，爱因斯坦以光量子解释光电效应，进一步推动量子理论从数学假设走向物理实在。与经典物理中连续、确定、可直接观测的宏观世界不同，量子力学描述的是原子和亚原子尺度下粒子和场的行为，其核心特征在于物理状态可以呈现离散化、概率化和非经典关联。

量子科技是在量子力学基础上发展形成的新一代技术体系。量子科技通过对微观物理系统量子态的精确制备、调控和测量，利用量子叠加、量子纠缠、量子隧穿等独特物理现象，与信息、通信、材料、能源等领域交叉融合，催生新的技术形态与应用方向。由此看，量子科技的本质不是单一产品形态，而是将微观量子效应用于信息感知、信息计算和信息传输，从而形成区别于经典信息技术的新型底层能力。

1.2. 量子技术特性：叠加、纠缠、隧穿与测量扰动决定能力边界

量子叠加是量子信息处理的基础特性之一。经典比特只能处于 0 或 1 两种确定状态，而量子比特可以处于 0 和 1 的叠加态，使量子计算具备在特定算法和问题结构下进行并行状态演化和干涉增强的潜力。量子叠加不是简单的“同时计算所有答案”，其有效性取决于量子态制备、量子门操控、相干时间和读出误差控制，只有当有用结果通过干涉被放大、无用结果被抑制时，量子计算才可能体现加速优势。

图 1：经典比特与量子比特信息表达方式对比



资料来源：IBM Quantum Learning、Microsoft Azure Quantum，国泰海通证券研究

量子纠缠体现量子系统之间的非经典关联，是量子通信、量子计算和量子精密测量的重要资源。纠缠粒子即使在空间上相互分离，其测量结果仍可能表现出强关联关系，这为量子密钥分发、量子隐形传态、分布式量子网络和高精度测量提供物理基础。2022 年诺贝尔物理学奖授予纠缠光子实验相关成果，也标志着量子纠缠从基础物理验证走向量子信息技术应用基础。

下载日志已记录，仅供内部参考

量子隧穿和测量扰动进一步决定量子技术的工程边界。量子隧穿反映微观粒子可穿越经典物理中难以跨越的势垒，是半导体、超导器件和部分量子芯片结构的重要物理基础；测量扰动则意味着量子态在被观测时可能坍缩，量子态极易受到电磁场、温度波动、宇宙射线等外部扰动影响。因此，量子技术产业化并非单纯扩大器件规模，而是要求在芯片、制冷、真空、激光、测控、材料和软件等环节实现系统级稳定控制。

1.3. 量子科技发展史：从理论奠基到产业化窗口

量子科技发展史本质上是从“解释微观世界”走向“调控微观系统”，再走向“产业化应用验证”的演进过程。20 世纪初，量子理论首先用于解释黑体辐射、光电效应、原子光谱等经典物理难题；20 世纪中后期，量子理论逐步转化为半导体、激光、原子钟、核磁共振等现代技术底座；20 世纪 80 年代以来，量子态本身开始被视为信息载体，量子计算、量子通信和量子精密测量由此形成相对独立的技术体系；2010 年代以来，量子科技进一步进入科研验证、工程化攻关和产业探索并行阶段。

量子理论奠基期建立了微观世界的新物理规则。1900 年，普朗克提出能量量子假说，开启量子理论源头；1905 年，爱因斯坦以光量子解释光电效应，推动量子概念从数学假设走向物理实在；1913 年，玻尔提出原子模型，用量子化能级解释原子光谱。随后，德布罗意物质波、海森堡矩阵力学、薛定谔波动力学和狄拉克量子理论相继提出，现代量子力学框架逐步形成。1935 年，EPR 佯谬和“薛定谔的猫”思想实验进一步凸显量子纠缠、叠加和测量问题；1964 年，贝尔不等式将量子纠缠相关争论转化为可实验检验的物理命题，为后续量子信息技术奠定重要基础。

第一次量子革命推动量子效应进入工程应用。20 世纪中后期，量子理论不再仅用于解释微观现象，而是开始支撑现代产业体系。晶体管和集成电路建立在半导体量子性质基础上，成为现代计算机和信息产业的硬件底座；激光器利用受激辐射和光子相干性，推动光通信、精密加工和医疗检测发展；原子钟依赖原子能级跃迁的高稳定频率，为全球定位系统、通信同步和高精度计量提供基础；核磁共振和磁共振成像则将微观自旋与宏观成像结合，形成医疗诊断和材料表征的重要工具。该阶段的核心特征是利用大量粒子系统中的量子效应，但一般不需要对单个量子态进行精确操控和读出。

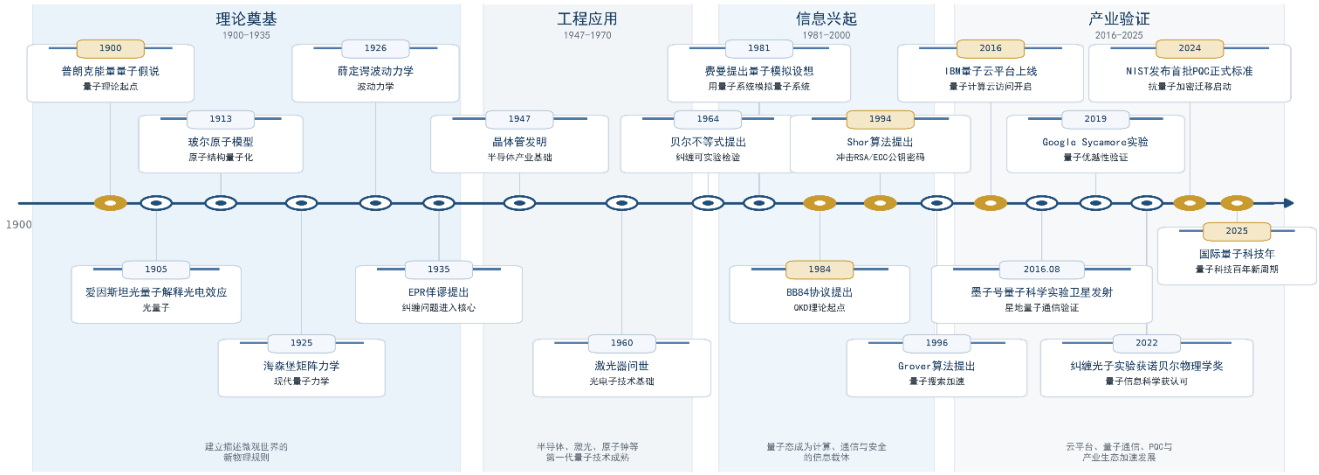
第二次量子革命的核心变化是量子态成为信息载体。1981 年，费曼提出用可控量子系统模拟量子系统的思想，指出经典计算机在模拟量子多体系统时存在天然复杂度瓶颈；1984 年，Bennett 和 Brassard 提出 BB84 量子密钥分发协议，将量子测量扰动和不可克隆特性转化为安全通信机制；1994 年，Shor 算法提出，显示量子计算机在大数分解问题上具备相对经典计算的显著加速潜力，并对 RSA、ECC 等公钥密码体系形成远期冲击；1996 年，Grover 算法提出，为非结构化搜索问题提供量子加速范式。至此，量子计算和量子通信从物理设想进入信息科学问题框架。

2010 年代以来，量子科技进入产业验证与安全迁移阶段。量子计算方面，IBM 量子云平台上线推动量子处理器云端开放，Google Sycamore 随机线路采样实验推动“量子优越性”验证，行业竞争重点逐步从物理量子比特数量扩张转向逻辑量子比特、量子纠错、系统稳定性和量子经典融合能力。量子通信方面，“墨子号”量子科学实验卫星推动星地量子通信和洲际量子保密通信验证，QKD、QRNG、量子加密网关和量子安全专网已在高安全场景开展应用探索，但部署成本、组网运维和 PQC 迁移仍是约束。量子精密测量方面，原子钟、量子磁力仪、量子重力仪、量子惯性测量等方向更接近高端仪器产业化，后续放量取决于小型化、低功耗、环境适应性和行业场景闭环能力。

下载日志已记录，仅供内部参考

近年关键事件进一步强化量子科技的产业化和安全迁移属性。2022 年，纠缠光子实验相关成果获得诺贝尔物理学奖，标志着量子信息基础物理资源获得全球科学界高度确认；2024 年，NIST 发布首批 PQC 算法正式标准，推动全球信息安全体系进入抗量子迁移阶段；2025 年被确立为国际量子科学与技术年，量子科技从百年基础理论积累迈向新一轮产业化窗口。

图 2：量子科技发展历程



资料来源：Britannica、APS Physics、CERN、Nokia Bell Labs、NobelPrize.org、Quantum Zeitgeist、IBM Newsroom、新华社/中科大量子物理与量子信息研究部、Nature、NIST、IYQ2025 官网，国泰海通证券研究

1.4. 量子计算、量子通信、量子精密测量：三大方向的技术边界与交叉关联

量子计算、量子通信和量子精密测量的共同基础是量子态制备、操控、传输和读出，而产业含义分别对应算力、安全和测量三类能力。三者并不是同一产业曲线上的不同产品，而是技术成熟度、客户结构和商业化路径差异较大的三条主线。量子通信和量子精密测量已经具备较明确的产品入口，量子计算仍处于从科研样机走向可用算力的中间阶段。

量子计算的核心价值在于处理经典计算难以有效求解的高复杂度问题。其产业化判断不应仅看物理量子比特数量，而应关注可执行线路深度、门保真度、逻辑量子比特质量、纠错开销和系统稳定性。当前量子计算已具备科研演示和云平台开放基础，但距离可持续解决真实商业问题仍有明显距离，近期更适合作为科研服务、算法验证和量子经典混合计算平台，中长期空间取决于容错量子计算进展。

量子通信的核心价值在于安全能力。QKD、QRNG 和量子加密网关等产品更适用于政务、金融、电力、运营商专网等高安全、强合规、可承受专用设备成本的场景。PQC 迁移将改变安全产业的技术路线选择，未来 QKD 更可能作为高安全专网的增强方案，与传统密码和 PQC 形成分层互补，而不是替代全部现有加密体系。

量子精密测量的产业属性更接近高端科学仪器和行业传感设备。其商业化关键不是单纯追求实验室极限精度，而是把灵敏度、稳定性、小型化、环境适应性和成本控制转化为行业客户可接受的系统方案。原子钟、量子磁力仪、量子重力仪、光量子雷达等方向具备较清晰应用入口，能源电力、生物医疗、资源勘探、国防军工等领域有望率先形成订单闭环。

三大方向的交叉主要体现在共性器件、测控系统和量子网络。高端激光器、单光子探测器、低温系统、真空系统、微纳加工、测控软件等基础环节同时

下载日志已记录，仅供内部参考

服务于多个方向，是产业链国产化和工程化能力的关键。短期看，量子通信和量子精密测量更具收入兑现基础；中长期看，量子计算若突破纠错和逻辑比特瓶颈，具备从科研工具向通用算力平台迁移的技术期权。

2. 全球量子科技竞赛加速，中美欧形成三极格局

2.1. 主要经济体量子战略密集出台，国家级投入持续加码

量子信息技术已成为全球主要国家开展科技、经济等领域综合国力竞争，维护国家技术主权与发展主动权的战略重点之一。根据中国信息通信研究院《量子信息技术发展与应用研究报告（2025 年）》，截至 2025 年 8 月，全球 30 余个国家和地区制定或更新量子信息领域的发展战略规划或法案文件。据公开信息不完全统计，投资总额已超过 350 亿美元，量子信息领域的国际竞争日趋激烈。

表 1：全球主要国家量子信息领域战略规划与投资概况

时间	战略/规划/法案	国家/地区	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
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 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

资料来源：中国信息通信研究院（截至 2025 年 8 月），国泰海通证券研究

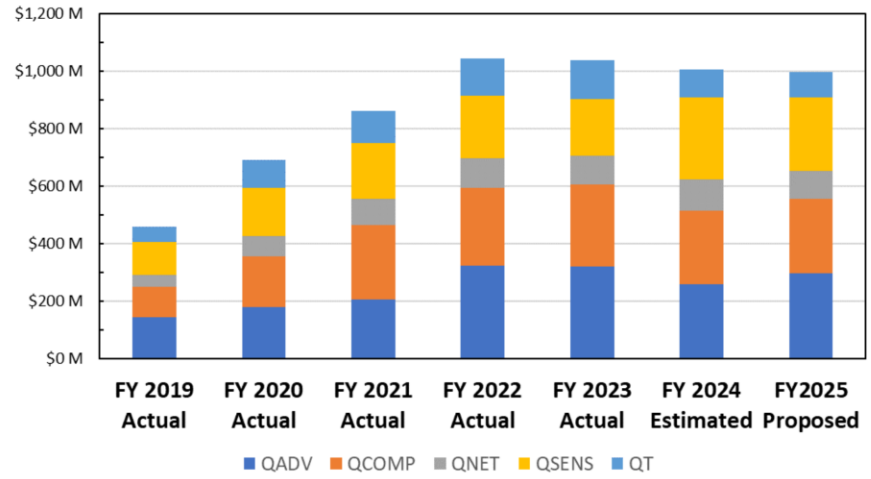
美国量子战略的核心特征是跨部门协同和预算连续性。NQI 体系并非单一

下载日志已记录，仅供内部参考

科研项目，而是围绕量子计算、量子网络、量子传感、基础科学、产业生态和安全应用形成组合式投入。对产业而言，美国优势不仅体现在财政投入规模，更体现在国家实验室、高校、科技巨头、初创企业和云平台之间的分工协同，量子计算和量子传感成为预算与产业资源集中的重点方向。

美国在量子信息领域的投资规模全球领先。根据中国信息通信研究院《量子信息技术发展与应用研究报告（2025 年）》，2018 年，美国通过《国家量子倡议(NQI)》法案，在量子信息领域形成了科学研究探索、基础设施建设、公司部门合作、产业生态建设、人力资源培养、维护国家安全、促进国际合作七个方面的体系化布局，通过能源部、国家科学基金会、国家标准与技术研究院等机构开展项目部署。近七年来，仅 NQI 项目在量子信息领域的累计投资已达 60.78 亿美元。

图 3：美国 NQI 项目量子信息各领域投资分布



资料来源：《NQI 项目 2025 年度预算报告》

欧洲是推动量子信息技术产业发展的另一重要力量。根据中国信息通信研究院《量子信息技术发展与应用研究报告（2025 年）》，7 月欧盟发布《量子欧洲战略》报告，指出过去五年间，欧盟成员国在量子信息领域的投资超过 110 亿欧元，其中 20 亿欧元支持量子科研项目，90 亿欧元用于量子-经典计算中心建设、量子企业孵化、人才培育和国际合作等。《量子欧洲战略》报告指出，欧盟成员国量子领域政策与资金布局分散，在技术商用化方面处于落后，产业生态系统缺乏足够市场前景和持续资金支持。针对上述问题，《量子欧洲战略》报告提出量子欧洲战略愿景，重点推动以下五个领域工作：巩固欧洲量子科学领先地位，共建共享基础设施，加强欧盟量子生态系统、将量子技术纳入欧洲的空间、安全和防御战略，加强欧洲量子人才培育与区域内流动。

欧洲量子战略的核心矛盾是科研基础较强，但成员国资源分散、商业化牵引不足。欧盟推进量子欧洲战略，重点不只是增加资金投入，而是试图通过共享基础设施、量子经典计算中心、企业孵化、空间安全防御应用和人才流动机制，把成员国分散科研能力转化为产业生态能力。与美国相比，欧洲在科研和部分硬件路线具备竞争力，但在云平台生态、资本市场支持和商业客户牵引上仍需补强。

2.2. 全球市场规模测算与增长预期，量子计算占主导增量

全球量子信息产业仍处早期商业化阶段，但中长期市场空间已逐步明确，量子计算预计贡献主要增量。根据 McKinsey 测算，量子技术三大支柱包括量子计算、量子通信和量子传感，到 2035 年全球收入规模最高可达 970 亿美元，其中量子计算收入有望由 2024 年的 40 亿美元增长至 2035 年的最高

下载日志已记录，仅供内部参考

720 亿美元，乐观情景下 2035 年量子计算收入规模占量子技术市场规模约 74%，为量子技术产业扩容的核心方向。

从商业化收入看，量子计算公司正从研发验证转向收入生成。McKinsey Quantum Technology Monitor 2026 显示，全球量子计算公司 2025 年收入已超过 10 亿美元，预计 2028 年最高可达 44 亿美元；从市场结构看，量子技术内部市场预计 2035 年达到 600 亿至 1000 亿美元，其中量子计算对应 430 亿至 710 亿美元，成为量子技术商业化的核心增量方向。进一步看，McKinsey 预计量子计算到 2035 年最高可创造 2.7 万亿美元经济价值。综合来看，量子计算市场空间明确，但收入兑现节奏仍取决于容错量子计算进展、算法可用性、量子云服务成熟度以及行业应用从试点验证走向工作流嵌入的速度。

产业生态层面，量子计算同样占据主导位置。根据中国信息通信研究院《量子信息技术发展与应用研究报告（2025 年）》，截至 2025 年 8 月，全球量子信息相关企业数量突破 800 家，其中量子计算企业占比约 49%；全球 12 家量子独角兽企业中，10 家为量子计算企业，占比超过 80%；全球 10 家量子准独角兽企业也全部集中在量子计算领域。

图4：全球量子信息企业（a）技术领域分布（b）年度增长趋势



资料来源：中国信息通信研究院（截至 2025 年 8 月）

近十年来全球量子信息领域产业投融资事件达 1400 余笔，融资金额超 145 亿美元。根据中国信息通信研究院《量子信息技术发展与应用研究报告（2025 年）》，从融资类型看，风险投资占比约 67%，金额近百亿美元，占据主导地位，说明产业化仍处于起步早期阶段，政府和军方的赠予(Grant)类投资近年增长迅速。从地区分布看，美国企业和市场投融资活跃度最高，全球占比约 50%，欧盟量子企业融资超 20 亿美元，我国约为 14 亿美元。从技术领域看，量子计算企业融资金额近百亿美元，占比约 80%，是市场关注焦点，PQC 企业近年来开始逐步成为投融资热点。从投资方看，欧美等国量子产业基金，如美国 Duality 和量子初创企业孵化器、英国量子技术企业中心、法国量子创新基金等，已成为支持量子初创企业成长的重要力量。

表2：全球量子信息领域企业融资金额前十事件（截至 2025 年 8 月）

企业	技术领域	国家	成立时间	融资方式	金额（美元）
IonQ	量子计算	美国	2015	股权	10.00 亿
PsiQuantum	量子计算	美国	2016	E 轮	7.50 亿

下载日志已记录，仅供内部参考

D-Wave Quantum	量子计算	加拿大	1999	股权	4.00 亿
QuEra Computing	量子计算	美国	2018	B 轮	2.30 亿
Multiverse Computing	量子计算	西班牙	2019	B 轮	2.15 亿
Quantum Machines	量子计算	以色列	2018	C 轮	1.70 亿
SandboxAQ	PQC/量子计算	美国	2021	E 轮	1.50 亿
Classiq	量子计算	以色列	2020	C 轮	1.10 亿
Alice & Bob	量子计算	法国	2020	B 轮	1.04 亿
Infleqtion	量子测量/计算	美国	2007	C 轮	1.00 亿

资料来源：中国信息通信研究院（截至 2025 年 8 月），国泰海通证券研究

图 5：量子信息领域企业投融资事件数量与金额年度变化趋势



资料来源：中国信息通信研究院（截至 2025 年 8 月）

2.3. 海外核心玩家图谱：IBM、Google、IonQ、PsiQuantum、Quantinuum 技术路线与里程碑对标

海外量子计算竞争已从单纯追求物理比特规模，转向技术路线、纠错能力、系统可用性、软件生态和商业服务能力的综合竞争。IBM、Google、IonQ、Quantinuum 和 PsiQuantum 分别代表超导、离子阱和光量子等主流方向，其路线差异决定了系统扩展方式、纠错路径、资本开支结构和商业化节奏。整体看，超导路线工程化进展快、产业生态较完整，但对低温系统、测控电子学和芯片一致性要求较高；离子阱路线门保真度和全连接特征突出，但扩展速度和系统工程复杂度仍是约束；光量子路线具备室温运行和半导体制造兼容潜力，但容错架构、光子损耗控制和大规模系统集成仍需验证。

IBM 的核心优势在于超导量子计算全栈生态和云平台商业化能力。IBM Quantum 已形成处理器、云平台、Qiskit 软件生态、行业合作和路线图管理的组合优势，官方披露 IBM Quantum Heron 为 156 量子比特处理器，是其量子计算路线图的重要基础。IBM 的战略重点不是单一芯片参数，而是通过模块化、错误缓解、软件栈和高性能计算融合，逐步走向量子中心超级计算和容错量子计算。

下载日志已记录，仅供内部参考

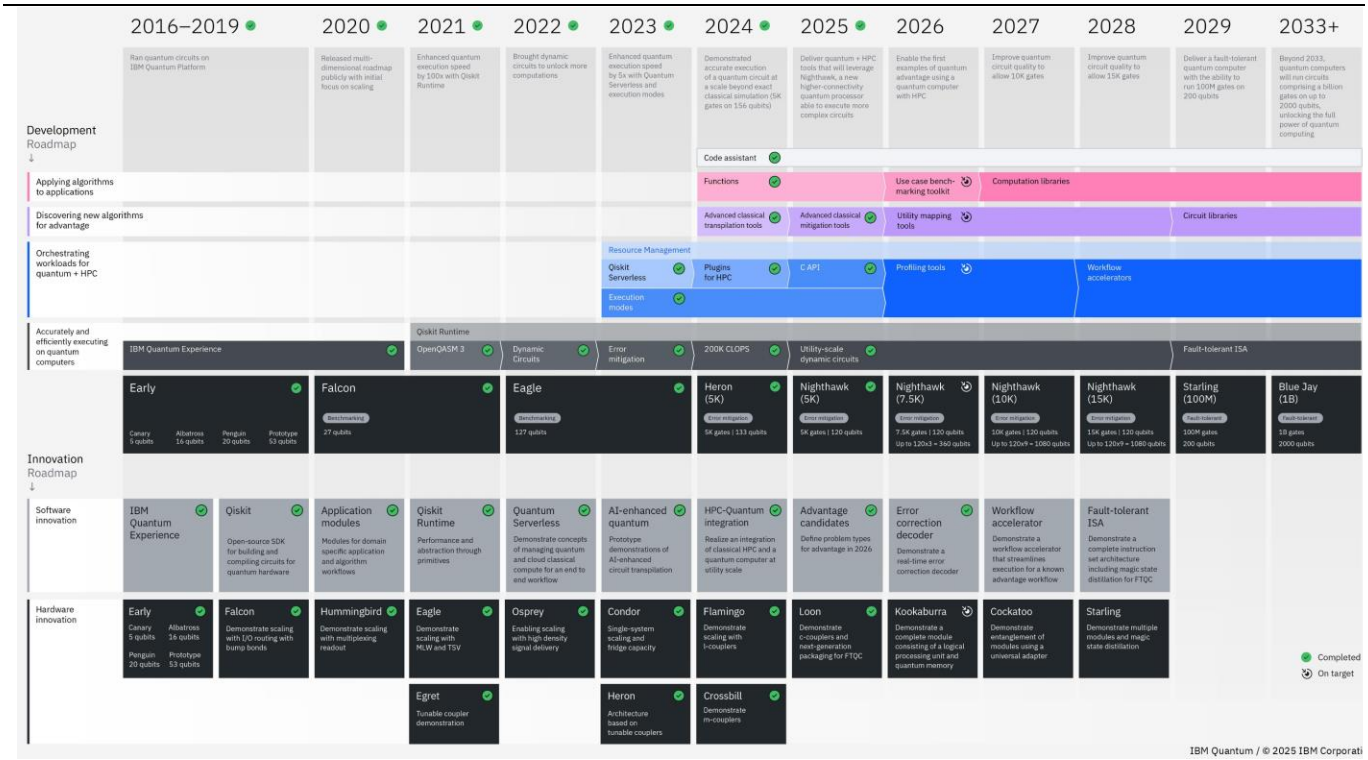
图 6：IBM Quantum Heron 处理器



资料来源：IBM 官网

IBM 量子计算路线图体现出从硬件验证向系统级可用性和容错计算演进的战略路径。2016 至 2024 年，IBM 围绕 IBM Quantum Experience、Qiskit Runtime、动态线路、Heron 处理器及 Nighthawk 系列推进量子计算平台化和处理器迭代，核心目标是提升量子线路执行能力和开发者生态成熟度；2025 至 2028 年，公司进一步将发展重点转向量子工具链、错误缓解、量子库、工作流加速器以及量子计算与 HPC 融合，推动可执行线路质量从 5Kgates 提升至 10K 至 15Kgates；2029 年后，IBM 规划进入容错量子计算阶段，目标交付具备 100Mgates 能力的容错量子计算机，并在 2033 年后进一步扩展至十亿级 gates。我们认为，IBM 的核心竞争力不在单一量子比特数量扩张，而在于硬件、软件、纠错、云平台和 HPC 协同构成的全栈能力。

图 7：IBM Quantum 路线图



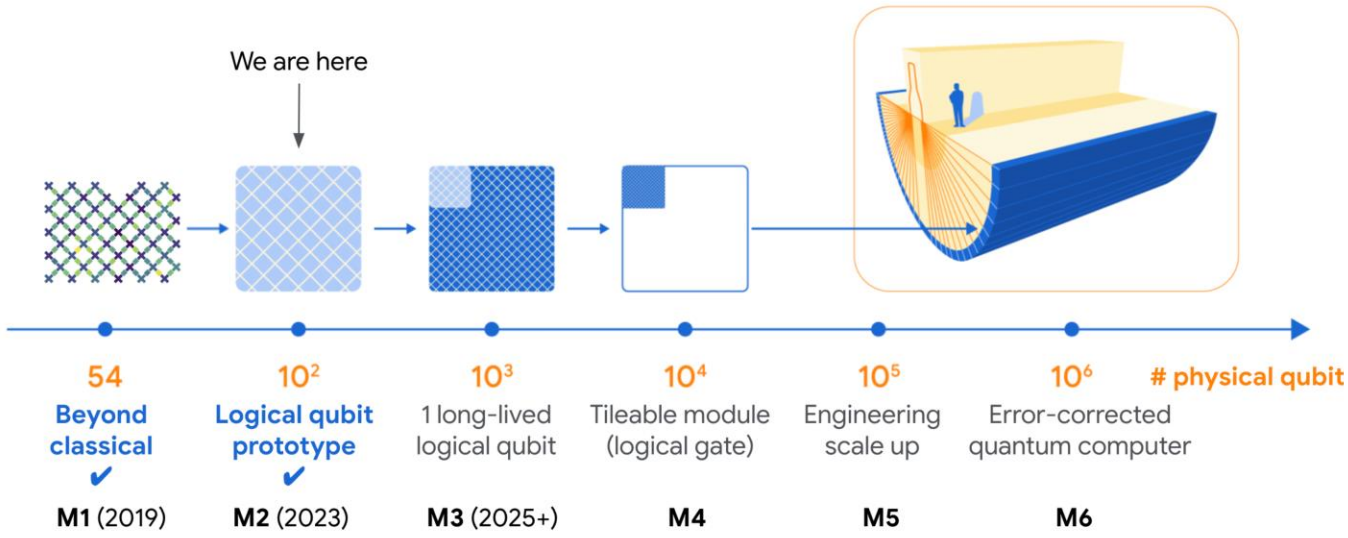
资料来源：IBM 官网

下载日志已记录，仅供内部参考

Google 的核心优势在于超导芯片性能和量子纠错突破。Google Quantum AI 发布 Willow 芯片，并强调其在量子纠错方面取得关键进展，即随着纠错码规模扩大，错误校正后的逻辑量子比特表现改善。该进展的产业含义在于，量子计算从“能否扩展物理比特”进一步进入“物理比特增加后是否能带来逻辑错误率下降”的阶段，但距离可运行复杂商业算法的大规模容错系统仍有明显距离。

Google 量子路线图围绕量子纠错设置阶段性技术里程碑。公司以超导量子芯片为主要技术路线，路线图按照六个里程碑推进，核心目标是从可验证量子优势逐步过渡到纠错逻辑量子比特和具备实际应用价值的大规模量子计算；Willow 芯片的意义在于验证了错误率随纠错码规模扩大而下降的方向性突破，但其后续产业化仍取决于逻辑量子比特数量、门保真度、控制系统和应用算法能否同步扩展。

图 8：Google Quantum AI 路线图



资料来源：Google Quantum AI 官网

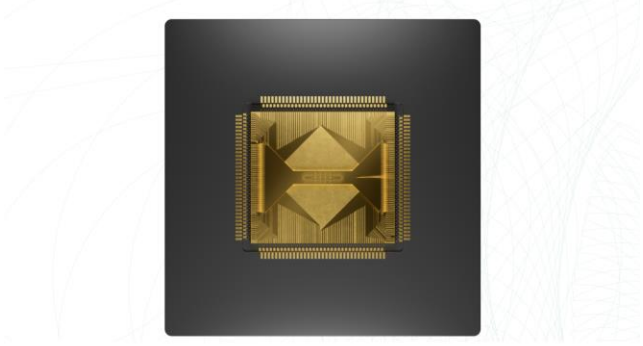
IonQ 和 Quantinuum 代表离子阱路线的商业化主力。IonQ 采用模块化离子阱路线，官方称其通过连接较小但高性能的离子阱系统实现扩展，并于 2025 年宣布 IonQ Tempo 开发系统达到#AQ64 里程碑；Quantinuum 则依托 H 系列离子阱系统和软件能力推进高保真量子计算，其 System Model H2 在 2025 年达到量子体积 8388608，显示离子阱路线在系统级性能指标上具备较强竞争力。

图 9：IonQ Tempo 开发系统



资料来源：IonQ 官网

图 10：Quantinuum 离子阱量子计算芯片



资料来源：Quantinuum 官网

下载日志已记录，仅供内部参考

IonQ 量子路线图反映离子阱路线对高保真、长相干时间和模块化互连的依赖。IonQ 公司规划到 2030 年实现 200 万物理量子比特和 8 万个逻辑量子比特，路线图表面上体现为量子比特规模扩张，实质上取决于离子操控、光子互连、并行门操作和纠错编码效率；相较超导路线，离子阱的优势在于单量子比特质量和连接灵活性，但扩展速度、工程复杂度和系统集成能力仍是兑现路线图的核心约束。

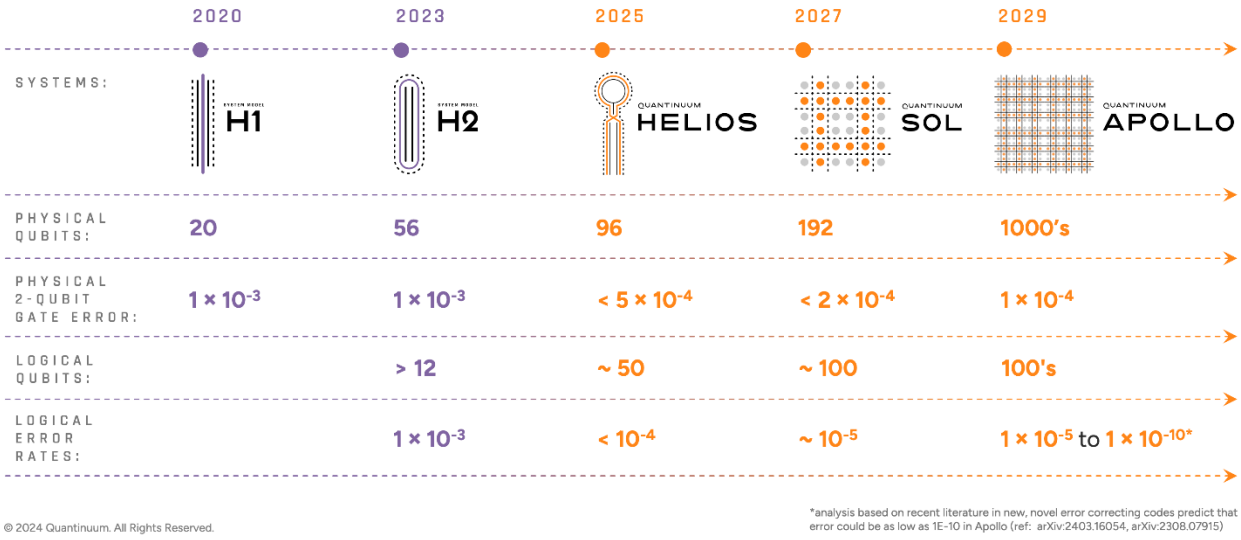
图 11：IonQ 路线图



资料来源：IonQ 官网

Quantinuum 量子路线图强调从高性能离子阱系统向通用容错量子计算机演进。公司以 H 系列系统为基础，后续经 Helios、Sol 推进至 Apollo，并将 Apollo 定位为面向 2030 年前后的通用全容错量子计算机，目标能力包括数百个逻辑量子比特和百万级量子门执行。Quantinuum 将竞争焦点放在纠错质量、逻辑量子比特和软件栈协同，而非单纯物理量子比特数量扩张。

图 12：Quantinuum 路线图



资料来源：Quantinuum 官网

PsiQuantum 代表光量子容错路线的资本化样本。PsiQuantum 定位于建设实用化、容错量子计算机，2025 年完成 10 亿美元 E 轮融资，用于推进布里

下载日志已记录，仅供内部参考

斯班和芝加哥的大规模量子计算设施、原型系统验证以及光量子芯片和容错架构迭代。其路线的核心看点在于硅光工艺、光子互连、低损耗光子器件与容错架构的系统集成能力，风险在于短期商业收入和系统交付节奏仍存在较高不确定性。

表3：海外量子计算核心玩家技术路线与竞争重点

公司	国家	主要技术路线	代表性进展	商业化形态	核心看点	主要约束
IBM	美国	超导量子	公司路线图推进量子中心超级计算，重点布局 IBM Quantum System Two、模块化架构、Heron 处理器和量子纠错	云平台、量子处理器、Qiskit 生态、企业合作	全栈生态、软件社区、系统路线图管理	容错量子计算仍需逻辑比特规模化，低温系统和系统集成复杂度较高
Google	美国	超导量子	公司路线图目标为 2029 年前实现有用的纠错量子计算机，近期进展包括 Willow 芯片和逻辑量子比特纠错验证	科研平台、算法验证、量子计算服务	量子纠错能力、芯片性能、AI 和科学计算协同	短期商业化收入不清晰，仍需从科研突破走向可用应用
Microsoft	美国	拓扑量子	公司推进 Foundational、Resilient、Scale 三级量子路线，重点布局拓扑量子比特和 Majorana1 处理器	Azure Quantum 云平台、软件生态、前沿研究	若拓扑量子比特路线被验证，具备降低纠错开销和范式跃迁潜力	拓扑量子比特物理实现仍处早期，实验成熟度和可重复验证仍需观察
Rigetti	美国	超导量子	公司路线图推进 Ankaa、Lyra 等超导量子系统，聚焦多芯片架构和门保真度提升	云访问、量子处理器、算法合作	超导路线、快速门操作、多芯片扩展	与 IBM、Google 等头部超导玩家相比，规模、生态和资金实力承压
Pasqal	法国	中性原子	公司路线图强调中性原子量子计算向工业应用扩展，目标推进从百量级量子比特向更大规模系统演进	云服务、HPC 融合、行业应用	天然可扩展阵列、模拟和优化场景、工业化导向	数字门模型、逻辑量子比特和纠错能力仍需验证
D-Wave	加拿大	量子退火	公司聚焦 Advantage2 量子退火系统，强调优化问题和 AI/ML 相关应用	云服务、优化求解器、企业客户应用	商业化探索较早，优化问题已有客户案例	量子退火不属于通用门模型路线，适用问题范围相对受限
IonQ	美国	离子阱	公司路线图聚焦离子阱技术，推进 Forte Enterprise、Tempo 等模块化系统，并强调算法量子比特指标	云服务、整机交付、量子网络	高保真、长相干时间、模块化扩展、企业客户	系统扩展速度、控制复杂度和工程化成本仍是约束
Quantinuum	英美	离子阱	公司路线图目标为 2030 年前实现通用容错量子计算，重点推进 H 系列系统、逻辑量子比特和与 Microsoft 的纠错合作	硬件系统、软件、云访问、科学计算工作流	系统性能、编译软件、量子化学和科学计算应用	整机规模化、成本控制和容错系统工程化仍需突破
Intel	美国	硅自旋量子	公司聚焦硅基自旋量子比特和 CMOS 制造兼容性，推进 Tunnel Falls 等研究芯片	研究芯片、半导体工艺平台、科研合作	制造工艺兼容性、晶圆级扩展潜力	商业化时间表不清晰，技术成熟度落后于超导和离子阱头部玩家
Amazon	美国	玻色子/猫量子比特相关路线	公司通过 AWS Braket 提供量子云服务，并推出 Ocelot 芯片以降低量子纠错成本	云平台、量子服务、硬件研发、客户准备项目	云生态、硬件供应商接入、纠错架构探索	自研硬件仍处早期，完整量子计算机时间表不明确

资料来源：The Quantum Insider，国泰海通证券研究

3. 国内量子科技产业化进入关键窗口，政策-资本-学术三轮驱动

3.1. 政策端：从"科技创新 2030"到十五五规划，量子信息列入国

下载日志已记录，仅供内部参考

家战略科技力量

量子科技在国家战略中的定位持续提升，政策表述经历了从“量子通信”到“量子信息”再到“量子科技”的升级。十三五时期，量子科技主要以“量子通信”形式出现，十三五规划纲要提出“着力构建量子通信和泛在安全物联网”，《“十三五”国家科技创新规划》进一步将“量子通信与量子计算机”纳入“科技创新 2030—重大项目”，政策重点在基础研究、关键技术攻关和工程原型验证；十四五时期，政策表述升级为“量子信息”，并被纳入国家实验室、重大科技项目和未来产业孵化体系，政策位置从单一技术应用上升至战略科技力量建设；十五五时期，表述进一步升级为“量子科技”，覆盖量子计算、量子通信、量子测量等完整科技体系，政策重心由前沿攻关进一步转向产业培育和经济增长点打造。

表4：三个五年规划中量子科技政策定位演变

维度	十三五（2016 年）	十四五（2021 年）	十五五（2026 年）
关键词	量子通信	量子信息	量子科技
出现次数	1 次	4 次	2 次
所在章节	支持战略性新兴产业发展	强化国家战略科技力量、未来产业布局	现代化产业体系、战略前沿科技布局
原文核心提法	“着力构建量子通信和泛在安全物联网”	“聚焦量子信息等重大创新领域组建国家实验室”“瞄准量子信息等前沿领域实施国家重大科技项目”“在量子信息等领域组织实施未来产业孵化与加速计划”	“推动量子科技等成为新的经济增长点”“实施人工智能、量子科技等科技战略部署”
政策定位	战略性产业前瞻布局，偏信息网络安全基础设施	前沿科技、国家实验室、重大科技项目、未来产业孵化	未来产业、新经济增长点、科技战略部署
覆盖范围	以量子通信为主	从通信扩展至量子信息整体	覆盖量子计算、量子通信、量子测量等完整科技体系
政策重心	技术应用部署	基础研究与关键技术攻关	产业化应用与经济赋能

资料来源：新华社，国泰海通证券研究

中央政治局集体学习是量子科技政策定位提升的重要节点。2020 年 10 月，中央政治局第二十四次集体学习专门聚焦量子科技，强调加强量子科技发展战略谋划和系统布局，并提出提高理论研究成果向实用化、工程化转化的速度和效率。此后，量子科技在十四五规划中进入国家实验室和重大科技项目框架，并在十五五规划中被列为未来产业和新经济增长点，政策主线从“能否突破关键技术”进一步转向“如何形成产业能力”。

十五五规划进一步强化量子科技的未来产业属性。十五五规划纲要提出，推动量子科技、生物制造、氢能和核聚变能、脑机接口、具身智能、第六代移动通信等成为新的经济增长点，并在战略前沿科技布局中提出实施人工智能、量子科技、生物科技、新能源等科技战略部署。相比十四五时期“量子信息”更多对应科研平台和前沿项目，十五五时期“量子科技”已经被纳入新质生产力和未来产业体系，政策重心明显转向场景验证、产业培育和经济赋能。

标准化和未来产业政策共同构成量子科技产业化的重要支撑。2023 年《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035 年）》将量子信息列入未来产业标准化方向，提出围绕量子计算、量子通信、量子测量推进术语定义、功能模型、参考架构和基准测评等标准建设；2024 年七部门《关于推动未来产业创新发展的实施意见》将量子信息纳入未来信息方向，提出推动量子信息等技术产业化应用。标准化解决“可测评、可互联、可推广”的产业基础问

下载日志已记录，仅供内部参考

题，未来产业政策则提供产品、场景、企业和资本抓手。

央企入局强化了量子科技产业化的执行机制。2023 年 5 月，中国电信在合肥成立中电信量子集团，业务方向覆盖量子通信产业化、量子计算新能力和量子测量；2024 年，中电信量子集团拟控股国盾量子，交易完成后中电信量子集团将成为国盾量子控股股东，国务院国资委将成为实际控制人。该事件的产业意义在于，国盾量子的量子通信设备、组网和标准化能力，与中国电信的通信基础设施、政企客户和全国云网资源形成协同，量子通信从科研示范项目向运营商标准化产品体系转化的路径进一步清晰。

表5：十三五以来，中国中央层面量子科技主要政策梳理

时间	政策/会议	核心内容
2016.07	《“十三五”国家科技创新规划》	将“量子通信与量子计算机”列入“科技创新 2030—重大项目”，提出研发城域、城际、自由空间量子通信技术，研制通用量子计算原型机和实用化量子模拟机。
2016.11	《“十三五”国家战略性新兴产业发展规划》	提出持续推动量子密钥技术应用，统筹布局量子芯片、量子编程、量子软件及相关材料和装置制备关键技术。
2016.12	《“十三五”国家信息化规划》	提出加强量子通信、未来网络、类脑计算、人工智能等新技术基础研发和前沿布局。
2017.01	科技创新 2030 重大项目实施推进	科技部披露，量子通信和量子计算机等 4 个项目实施方案编制已全面启动。
2020.10	中央政治局第二十四次集体学习	强调充分认识推动量子科技发展的重要性和紧迫性，加强量子科技发展战略谋划和系统布局。
2021.03	《十四五规划和 2035 年远景目标纲要》	聚焦量子信息等领域组建国家实验室；实施量子信息等国家重大科技项目；在量子信息等领域组织未来产业孵化与加速计划。
2021.10	《国家标准化发展纲要》	在人工智能、量子信息、生物技术等领域开展标准化研究，推动技术研发、标准研制与产业推广同步部署。
2023.08	《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035 年）》	将量子信息列入未来产业标准化方向，提出开展量子信息技术标准化路线图研究，研制术语定义、功能模型、参考架构、基准测评等标准。
2024.01	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	将量子信息纳入未来产业方向，提出突破量子计算机等未来高端装备产品，以整机带动新技术产业化落地。
2024.03	《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划（2024—2025 年）》	聚焦脑机接口、量子信息、生成式人工智能、元宇宙等领域，前瞻布局未来产业标准研究。
2024.03	2024 年政府工作报告	提出制定未来产业发展规划，开辟量子技术、生命科学等新赛道，创建未来产业先导区。
2025.03	2025 年政府工作报告	提出建立未来产业投入增长机制，培育生物制造、量子科技、具身智能、6G 等未来产业。
2025.10	《中共中央关于制定十五五规划的建议》	提出前瞻布局未来产业，推动量子科技等成为新的经济增长点。
2026.03	《十五五规划纲要》	提出推动量子科技等成为新的经济增长点，并强化战略前沿领域科技布局。
2026.03	2026 年政府工作报告	提出建立未来产业投入增长和风险分担机制，培育发展未来能源、量子科技、具身智能、脑机接口、6G 等未来产业。

资料来源：国务院，国家发改委，科技部，新华社，国泰海通证券研究

3.2. 资本端：一级市场融资结构与估值演进，二级市场标的稀缺性与定价逻辑

资本端看，国内量子科技一级市场融资已从早期科研团队孵化阶段进入工程化和产业化验证阶段。根据中国信息通信研究院《量子信息技术发展与应用研究报告（2025 年）》，截至 2025 年 8 月，全球量子信息相关企业已超过

下载日志已记录，仅供内部参考

800 家，中国约 140 余家，占比约 17%。据智研咨询不完全统计，2024 年我国量子信息行业投融资金额达到 46.27 亿元，显示政策牵引、地方基金和产业资本正在共同推动量子产业生态形成。

融资结构上，量子计算成为资本关注的核心方向，但不同技术路线的融资逻辑正在分化。IT 桔子数据显示，截至 2026 年 3 月 17 日，国内量子计算赛道累计融资 150 起，估算融资总额 112.05 亿元；2026 年一季度融资额已达 22.04 亿元，接近 2025 年全年 24.73 亿元。分路线看，光量子、超导量子和量子精密测量分别对应“短期工程化落地”“长期通用计算平台”和“高端仪器国产替代”三类投资逻辑，资本并未押注单一路线，而是在多技术路径中分散布局。

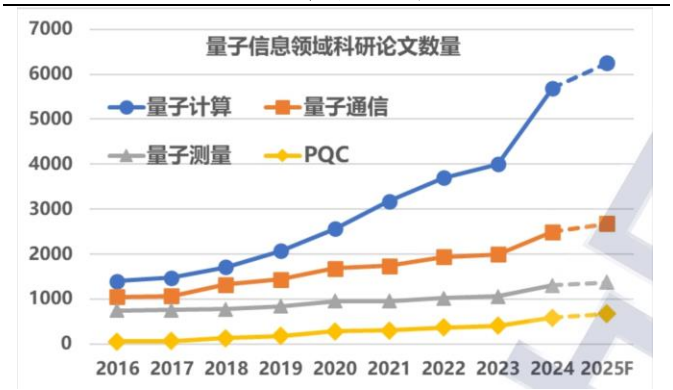
估值层面，一级市场已从“看团队背景”转向“看工程化能力、商业订单和产业化交付”。据媒体报道，本源量子近期完成近 30 亿元 Pre-IPO 轮融资，投前估值达 210 亿元；若以此前披露的 2024 年收入 9938.49 万元测算，对应 PS 约 211 倍。图灵量子、玻色量子、量旋科技等公司在 2025 至 2026 年连续获得大额融资，背后共同特征是具备样机迭代、芯片或整机交付、产业资本绑定或明确应用场景。相较之下，量子精密测量和高端仪器企业收入兑现更早，例如国仪量子 2025 年收入已达 6.66 亿元，估值逻辑更接近高端科学仪器国产替代，而通用量子计算企业估值更多体现远期技术期权。

二级市场方面，国内量子科技标的稀缺性显著。国盾量子是 A 股少数具备量子通信、量子计算、量子精密测量收入拆分的上市公司，2025 年实现收入 3.10 亿元，其中量子计算业务收入达到 1.20 亿元，同比增长 111.82%；2026 年一季度公司实现收入 2299.95 万元，同比增长 17.80%，归母净亏损 1901.36 万元，亏损同比收窄。由于利润基数较小且季度波动较大，PE 估值解释力有限，市场主要通过 PS、产业地位、央企控股、产业基金布局和远期技术期权定价。

3.3. 研发端：中国量子领域论文/专利全球占比，中科大-清华-中科院体系主导，产学研转化路径

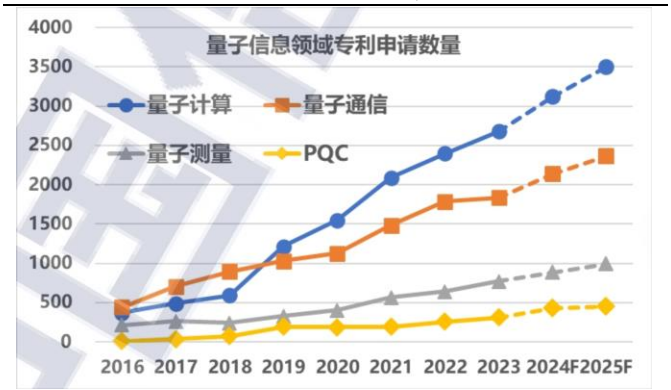
量子信息已成为前沿科技与技术创新的热点方向。科研论文方面，量子计算在量子信息各领域中研究关注度最高，论文数量增长迅速，近四年来数量已超过其他领域总和，PQC 领域在 2018 年之后论文数量增长加快，关注热度上升明显。专利申请方面，量子通信在 2018 年之前数量保持领先，量子计算自 2019 年起，专利数量增长迅速，在各领域中保持领先。PQC 领域 2018 年之后专利数量有数量级增长，创新推动力度持续提升。

图 13：量子信息各领域科研论文年度增长趋势



资料来源：中国信息通信研究院

图 14：量子信息各领域发明专利年度增长趋势



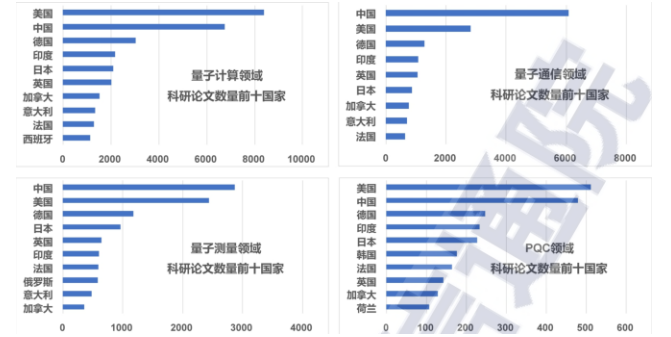
资料来源：中国信息通信研究院

中美两国在量子计算、量子测量和 PQC 领域论文数量领先优势明显。量子通信领域，我国论文数量全球占比接近 40%，成为科研主要推动力量。中国科学院(含下属院所)、中科大、清华等研究机构和高校，是我国量子信息领

下载日志已记录，仅供内部参考

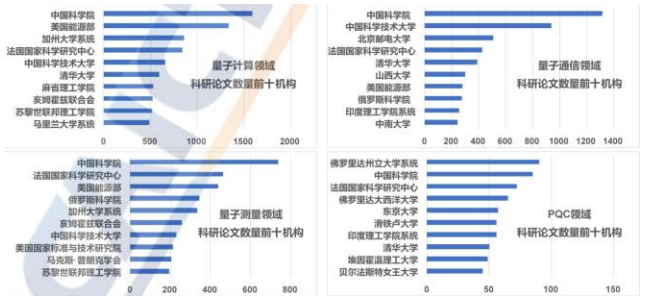
域的代表性科研力量。

图 15：量子信息各领域全球科研论文数量前十位国家



资料来源：中国信息通信研究院

图 16：量子信息各领域全球科研论文数量前十位机构



资料来源：中国信息通信研究院

4. 产业链纵深拆解与应用场景分层：量子通信率先产品化，量子计算等待纠错突破，量子精密测量高端仪器先行

4.1. 量子科技产业链总览：共性基础层与三大方向分化

量子科技产业链呈现底层能力共用、产业路径分化的特征。从技术体系看，量子信息技术主要包括量子计算、量子通信和量子精密测量三大方向，三者均依赖量子态制备、调控、读出、传输及高精度测控等底层能力，但对应的系统形态、产品属性、客户结构和商业化节奏存在显著差异。因此，量子科技产业链不宜简单按照单一线性的上中下游框架拆解，而应先从高端激光器、单光子探测器、低温系统、真空系统、微纳加工、光电器件和测控系统等共性基础环节切入，再分别分析量子通信、量子计算和量子精密测量在中游产品形态和下游应用场景上的产业化路径。

共性基础层决定量子科技产业化的底层能力边界。共性基础层核心在于量子态的制备、调控、读出和系统稳定运行能力，主要包括高端激光器、高性能单光子探测器、稀释制冷机、低温电子学、真空系统、微纳加工、光电器件、时间频率测量设备和测控系统等环节。这些环节既支撑量子计算硬件工程化，也支撑量子通信设备和量子精密测量仪器的性能提升。其中，稀释制冷机、低温电子学和微波测控主要服务于超导量子计算等低温路线；激光器、光学器件和单光子探测器则同时支撑光量子计算、量子通信和部分量子精密测量场景；微纳加工和特种材料则是量子芯片、核心传感器和高性能器件的基础。

中游环节体现三大方向的技术路线和产品形态分化。量子计算中游以量子处理器、整机、测控系统、编译工具、算法库、量子软件和云平台为核心，技术路线涵盖超导、离子阱、中性原子、光量子等，产业特征是研发投入强、技术路线不确定性高、工程化周期长。量子通信中游以量子密钥分发、量子随机数发生器、量子加密设备、量子安全网关、量子保密通信网络和量子信息网络组件为核心，产业特征更接近通信设备、安全设备和网络建设。量子精密测量中游则以原子钟、量子磁力仪、量子重力仪、量子惯性测量系统、光量子雷达、里德堡原子天线等高端仪器为核心，产业特征是设备属性更强、行业嵌入程度更高。

下游应用呈现“通信先行、测量落地、计算验证”的分层格局。量子通信中，量子密钥分发、量子随机数发生器等量子保密通信技术已初步实用化，样机产品和示范应用逐步落地，政务、金融、电力、运营商和行业专网是当前主要应用方向，但仍需推动产品和服务提质降本。量子精密测量中，微波原子

下载日志已记录，仅供内部参考

钟、冷原子重力仪、光量子雷达、量子磁力仪等部分产品已实现商业化或示范应用，在国防军工、航空航天、生物医疗、能源电力、资源勘测等领域具备较强应用潜力。量子计算则已完成量子优越性等科研演示，但下游应用仍以云平台开放、算法验证和行业概念验证为主，尚未出现大规模商业化的“杀手级”应用，后续突破关键在于量子纠错、量子经典融合和实用化问题验证。

量子科技产业化节奏取决于三大方向各自的技术成熟度和商业闭环能力。短期产业化抓手更集中在关键设备与核心器件国产替代、量子通信安全网络建设、量子精密测量高端仪器落地；中长期增量则取决于量子计算硬件规模化、量子纠错能力、云平台生态和行业应用软件的突破。整体来看，量子科技产业链的核心特征是上游基础能力共用、中游技术路线分化、下游商业化节奏分层。

4.2. 量子通信产业链：QKD 与 QRNG 产品化先行，PQC 重塑安全迁移边界

量子通信当前最清晰的产业化主线是量子保密通信，QKD、QRNG 和量子加密设备构成现阶段产品化核心。QKD、QRNG 和量子安全直接通信等新型协议研究与实验持续推进，系统性能和实用化水平有所提升，量子加密应用设备类型不断丰富；其中，QKD 主要用于量子密钥分发，QRNG 主要提供不可预测量子随机数，二者与加密网关、OTN 设备、终端设备、密钥管理平台等结合，形成面向政企专网、运营商网络和重点行业的信息安全解决方案。

4.2.1. 产业链结构：光源、探测器、随机源、QKD 设备、加密网关与系统集成

量子通信产业链可拆分为上游光电器件与随机源、中游量子通信设备和下游加密应用系统集成。上游主要包括单光子源、纠缠光源、单光子探测器、调制器、随机数芯片、光学器件和安全芯片等；中游主要包括 QKD 设备、QRNG 设备、量子加密 OTN 设备、量子加密网关、量子安全终端和密钥管理系统；下游则面向运营商专线、政务金融、电力能源、工业控制等场景提供系统集成和安全服务。产业链价值量短期集中在中游设备和行业集成，但长期取决于上游核心器件降本、稳定性提升和规模化部署能力。

4.2.2. 商业化场景：运营商专线、政务金融、电力能源、工业控制

量子通信商业化优先落地于高安全需求、强合规约束和专网属性较强的行业场景。我国量子保密通信应用探索不断深化，电信运营商和行业专网成为重要推动力量，中电信量子与华为等合作完成 400G 量子安全 OTN 智算加密专线业务示范，中国移动推出以超级 SIM 卡作为量子密钥载体的量子安全办公通信解决方案，国家电网量子应用示范变电站采用量子保密通信技术保障电力系统信号传输和通信业务安全。

量子通信在政务、金融、电力和工业控制中的商业逻辑主要来自安全溢价，而非通信效率提升。这类场景通常具备数据敏感度高、网络边界相对清晰、预算来源明确和安全责任刚性的特点，能够承受量子安全设备和专网部署成本；相较之下，普通互联网和大众通信场景对成本敏感度更高，短期内较难成为 QKD 大规模推广主市场。

4.2.3. 关键约束：提质降本、组网运维成本、PQC 竞争与融合边界

量子通信推广的核心约束是工程化水平、部署成本和替代技术竞争。虽然 QKD、QRNG 和量子加密应用设备集成化能力逐步增强，但密钥成码率、光纤传输距离等核心性能指标变化不大，密钥速率和环境适应性仍形成应用瓶颈；同时，量子保密通信对专用设备、光纤网络和运营管理能力要求较高，部署和运维成本短期内难以与传统加密方案竞争，提质降本是破局关键。

下载日志已记录，仅供内部参考

PQC 将重塑量子通信的安全迁移边界，QKD 更可能定位于高安全专网的增强方案。PQC 是应对量子计算破解公钥密码威胁的主要方案之一，具备端到端、低成本、易迁移等特点；PQC 与 QKD 存在融合可能，但在绝大多数场景中融合 QKD 并非刚需，PQC+QKD 方案能否形成明显增量安全收益仍需进一步验证。

4.3. 量子计算产业链：硬件路线并行竞争，云平台与量子经典混合计算先行

4.3.1. 量子计算产业链总览：上游支撑系统、中游整机与软件平台、下游云服务与应用验证

量子计算产业链与经典计算产业链的差异在于，其上游不是标准化通用零部件，而是高度依赖物理路线的科研级和工程级支撑系统。超低温制冷、真空、激光、低温电子学、微波测控、光电器件、微纳加工和材料工艺共同决定量子处理器能否稳定运行。对产业化而言，上游短板不只是“能否做出来”，更在于性能指标、连续供货、系统集成和成本控制能否支撑整机规模化迭代。

图 17：欧美量子计算产业生态体系概况



资料来源：中国信息通信研究院

中游竞争焦点是整机系统和软件平台的协同能力。量子处理器本身只是算力单元，真正可交付的产品还需要测控系统、编译软件、校准工具、任务调度、算法库和云平台配合。超导、离子阱、中性原子、光量子等路线对上游设备和系统集成要求不同，因此中游企业的壁垒并不完全来自单一芯片指标，而来自跨硬件、软件、测控和应用的全栈工程能力。

下载日志已记录，仅供内部参考

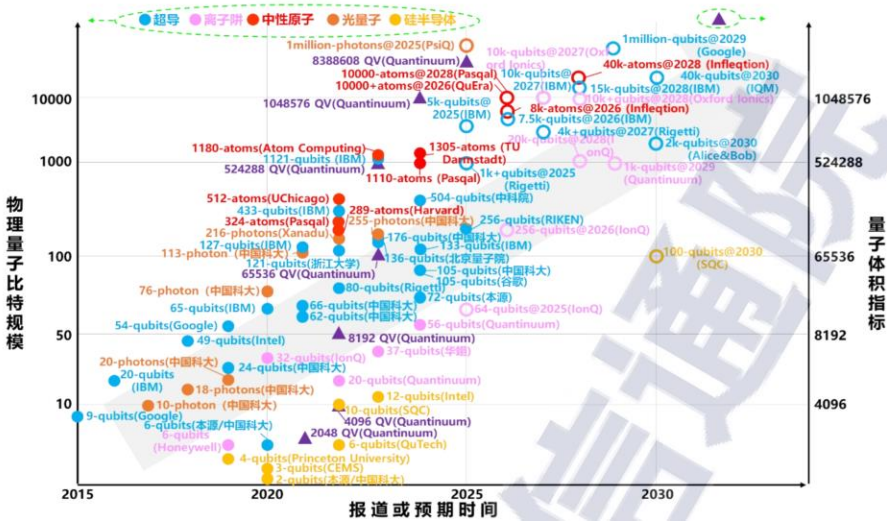
下游商业化仍以云平台开放、科研服务和行业概念验证为主。现阶段客户购买的并不是成熟通用算力，而是面向科研、算法验证、量子经典混合计算和前沿应用探索的能力入口。海外科技巨头依托云平台和开发者生态具备先发优势，国内企业需要在硬件可用性、软件工具链、行业场景联合攻关和商业化服务模式上同步补课。

量子计算产业链的判断重点应从“企业是否布局量子计算”转向“是否掌握可复用的系统工程能力”。短期看，上游核心设备国产替代、测控系统、云平台和软件工具更容易形成阶段性订单；中长期看，整机厂商能否持续提升逻辑比特质量、降低纠错开销并嵌入行业工作流，决定其是否具备平台化价值。

4.3.2. 技术路线：超导、离子阱、光量子、中性原子、拓扑量子比特并行竞争

量子计算处于前沿科学研究与原型样机开发的科技攻关关键期。根据中国信息通信研究院《量子信息技术发展与应用研究报告（2025 年）》，超导、离子阱、中性原子、光量子、硅半导体、拓扑等多种技术路线并行发展、开放竞争。不同技术路线在物理实现体系、量子比特操控手段、比特规模可扩展性、系统环境保障要求等方面均存在明显不同，技术成熟度差异明显，同时也面临各自技术路线发展的科学问题挑战和工程技术瓶颈。近年来，超导、离子阱、中性原子、光量子等主要技术路线原理样机在实验室环境下，量子比特规模和逻辑门保真度等有明显提升，但距离实现大规模、可扩展通用量子计算的目标仍有很大差距。

图 18：量子计算主要技术路线核心指标发展趋势



资料来源：中国信息通信研究院

量子计算多路线并行的本质，是物理可扩展性、错误率、操控速度和工程成本之间的综合权衡。超导、离子阱、中性原子、光量子、硅自旋和拓扑量子比特均有各自优势，但尚未形成单一路线胜出格局。现阶段不宜仅以物理量子比特数量排序，更应比较门保真度、相干时间、连接方式、校准复杂度、系统稳定性、纠错路径和规模化制造潜力。

超导路线的产业位置更靠前，但其竞争焦点已从物理比特扩张转向系统级可用性提升。超导路线优势在于门操作速度快、工艺体系相对成熟、生态参与者多，并已在量子优越性和表面码纠错实验中形成标志性进展。其主要约束在于低温系统、布线复杂度、串扰控制、芯片一致性和大规模测控。对产业而言，超导路线的竞争焦点正在从单芯片比特数扩张，转向多芯片互连、逻辑比特质量和系统可用性提升。

下载日志已记录，仅供内部参考

离子阱和中性原子路线分别代表高质量量子比特和大规模阵列扩展两类思路。离子阱路线优势在于量子比特天然一致性较好、相干时间长、连接灵活性强，适合在高保真门操作和中小规模高质量量子线路中体现优势。其工程瓶颈在于离子操控、激光系统、并行门操作、模块化互连和整机吞吐率。中性原子路线则依托光镊阵列和里德堡相互作用，具备较强阵列扩展潜力，在量子模拟和优化问题中具有吸引力，但数字门模型、纠错能力和工程稳定性仍需持续验证。

光量子、硅自旋和拓扑路线更偏中长期技术储备，核心在于能否突破大规模集成和容错实现。光量子路线的核心看点在于室温运行、硅光工艺兼容和光子互连潜力，理论上有利于大规模系统集成。其难点在于单光子源、光子损耗、探测效率、容错架构和大规模光路稳定性。硅自旋路线具备半导体工艺兼容优势，但整体成熟度仍落后于超导和离子阱头部路线；拓扑量子比特如果被充分验证，可能显著降低纠错开销，但目前仍处更早期验证阶段。

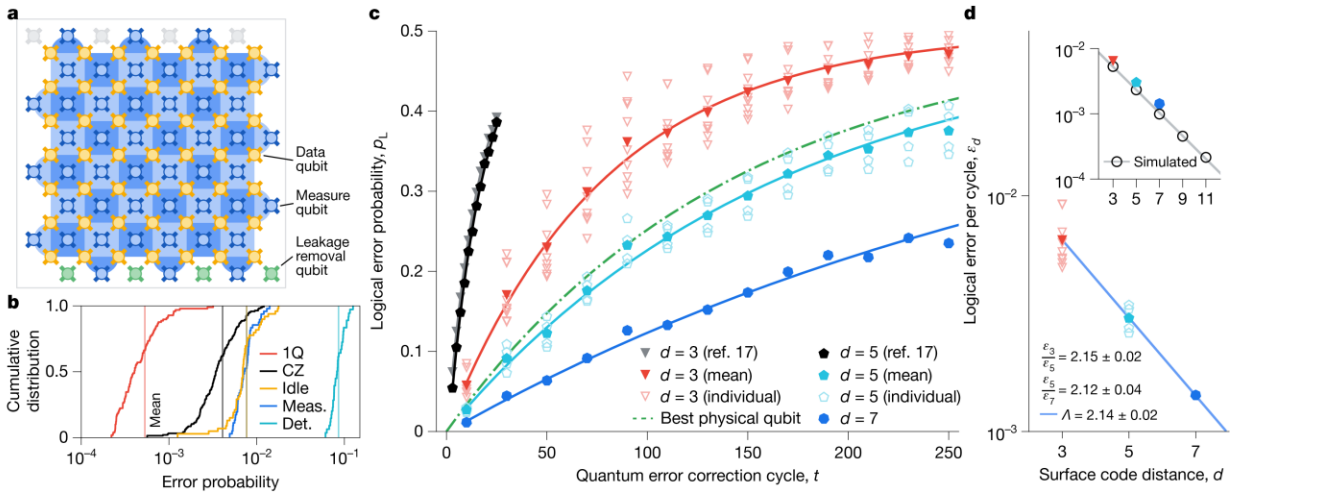
量子计算技术路线判断应避免“单指标崇拜”，更应关注指标背后的商业化有效性。物理比特数量、量子体积、算法量子比特、线路深度、纠错码距等指标各有适用边界，均不能单独代表商业化能力。更有效的观察框架是：硬件是否可稳定迭代，软件是否能降低用户使用门槛，系统是否能持续运行真实任务，行业客户是否愿意为量子经典混合方案付费。

4.3.3. 量子纠错：从物理比特扩展走向逻辑比特可用，是通用量子计算的关键瓶颈

量子纠错是量子计算从含噪声中等规模量子设备走向大规模容错计算的必要条件。量子比特极易受到退相干、控制误差、读出误差和环境噪声影响，单纯增加物理量子比特数量并不必然带来可用算力提升；只有通过冗余编码、错误探测、实时反馈和纠错码设计，将多个物理量子比特组合成逻辑量子比特，量子计算机才有可能稳定运行深层量子线路和复杂算法。因此，量子计算产业化竞争的核心指标正在从“物理比特数量”转向“逻辑比特质量、纠错开销和系统级稳定性”。

量子纠错近期取得标志性进展，但仍处于实验验证阶段。2024 年末，谷歌报道在 Willow 芯片实现最高码距为 7 的物理量子比特表面码纠错，如图 10 所示，实验实现了纠错码距每增加 2，错误率下降 2.14 倍，展示纠错能力扩展潜力。该进展说明硬件保真度、纠错码和测控能力正在接近可扩展纠错所需的临界条件，但目前仍未等同于可运行商业应用的大规模容错量子计算机。

图 19：谷歌 Willow 超导量子计算芯片表面码纠错实验



资料来源：Nature 638,920-926 (2025)

下载日志已记录，仅供内部参考

量子纠错的核心难点在于物理比特开销、实时测控、逻辑门保真度和系统扩展同时成立。实用化容错计算通常需要大量物理量子比特编码一个高质量逻辑量子比特，且需要在极短时间内完成错误综合测量、译码判断和反馈修正。若物理门保真度、读取保真度、串扰控制、低温电子学和编译调度任何一环不足，逻辑错误率都难以持续下降。因此，量子纠错不是单点算法问题，而是芯片、制冷、测控、软件、编译和系统工程共同决定的全栈问题。

量子纠错决定量子计算估值从“科研样机期权”走向“通用计算平台”的时间表。短期看，纠错突破对上市公司和一级市场公司的收入贡献有限，更多体现为技术路线可信度和融资能力提升；中期看，若逻辑量子比特数量和质量持续改善，量子云平台、量子经典混合计算和行业算法验证将具备更强商业化基础；长期看，只有当容错逻辑量子比特规模足以支撑量子化学、材料模拟、组合优化和密码分析等复杂任务时，量子计算才可能从科研服务市场进入通用算力市场。

4.3.4. 近期商业化：软件与平台开放探索，技术成熟度仍需提高

量子软件是量子计算硬件能力向应用能力转化的关键中间层，决定量子计算机能否从实验装置转化为可编程、可调度、可复用的算力服务。量子计算软件体系主要包括面向应用场景的问题求解软件、实现量子指令转换的编译软件、用于系统调控的测控软件、支持芯片设计的量子 EDA 工具，以及量子计算系统与云平台管理软件等。由此看，量子软件并非单一开发工具，而是覆盖应用封装、程序编译、硬件控制、芯片设计、资源调度和云端服务的全栈体系。

编译、测控和 EDA 是量子软件栈中最贴近硬件工程化的三类核心环节。编译软件负责将高级量子程序转换为底层硬件可执行指令，是连接算法与物理比特架构的桥梁；测控软件用于量子线路控制、硬件反馈、系统校准和多体系兼容，是提升量子处理器可用性和稳定性的关键；量子 EDA 则面向量子芯片及关联硬件，提供架构设计、性能仿真和参数优化能力。2025 年 IBM、Welinq、Quantum Machines、中微达信以及国内 EDA-Q 等分别在 SDK、分布式编译、开源校准框架、测控软件和超导量子芯片自动化设计工具等方向推进迭代。

图 20：量子计算软件技术体系架构



资料来源：中国信息通信研究院

下载日志已记录，仅供内部参考

量子软件当前仍处于开放探索早期，核心约束来自硬件不成熟、接口不统一和需求不清晰。受限于量子计算硬件尚未成熟、标准化软件架构不足以及用户需求仍不明确，量子计算软件仍处于早期阶段；后续需要重点解决高级编程接口、异构硬件资源协调、算法优化、编程框架兼容性和可迁移性等问题。对产业而言，软件短期更偏研发支撑和生态入口，独立商业化收入弹性有限，但其对硬件路线适配、用户沉淀和平台粘性的战略价值较高。

量子计算云平台是当前最接近商业化服务形态的平台层入口。云平台通过云端集成量子计算资源，实现量子处理器、经典计算资源、开发工具和任务调度系统的网络化共享访问，具备弹性服务、低门槛接入和场景验证优势。量子计算云平台已经成为融合软硬件能力、支撑应用探索与生态培育的核心汇聚点，未来可能成为量子计算算力服务的主要形式。

量子经典混合计算、安全访问和平台互操作性是云平台后续演进重点。量子经典计算融合是量子计算云平台的重要探索方向，法国 ColibriTD 等已在 IBM 量子计算云平台上探索多物理场求解，NanoQT 与 VeriQloud 则围绕分布式量子处理器和盲量子计算开展数据隐私保护探索。后续云平台发展需要在三个方向发力：提升量子计算系统硬件性能和可靠性，建立数据加密与隐私防护机制，加快多类型硬件系统接口协议和平台间互操作性研究。

图 21：国内外开放服务的主要量子计算云平台概况

硬件类型	超导		离子阱		光量子	半导体/超导	量子退火	云平台集成服务		
提供商	IBM	rigetti	IONQ	QUANTINUUM	XANADU	QuTech	D-WAVE	aws	Azure	STRANGE WORKS
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
量子处理器	ibm_fez、ibm_torino、ibm_brisbane、ibm_brussels、ibm_kyiv、ibm_nazca、ibm_quebec、……	Ankaa-2、Ankaa-3、Aspen-M-3、Apen-M-2、Aspen-11、Aspen-10、Aspen-9……	Forte、Aria1、Aria2、Harmony、……	Quantinuum H1、Quantinuum H2	Borealis、x8	Spin-2、Starmon-7	D-Wave Advantage、D-Wave 2000Q、D-Wave 2X、D-Wave Two、……	IonQ、IQM、QuEra、Rigetti	Quantinuum、IonQ、QCI、Pasqal、……	IBM、IQM、QuEra、IonQ、Quantinuum、Rigetti、Xanadu、Atom Computing、NVIDIA、……

硬件类型	超导					离子阱	光量子(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	本源量子	国盾量子 QuantumCTek	SPINQ 量旋科技	QUDOOR 启科量子	Boson 玻色量子	移动云	ARC LIGHT 弧光量子
平台名称	天衍量子计算云平台	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2号	Baihua Dongling Haituo ScQ-P21	本源悟空	骁鸿1号	超导量子芯片	<Aba|Qu>100	CPQC-1000	超导：天工1号 超导：悟空102 超导：五岳1/2/3号 超导：夸父1/2/3/4/5号 CIM：相干光量子计算机 离子阱：<Aba|Qu>100 中性原子：汉原1号	超导量子芯片 离子阱量子芯片

资料来源：中国信息通信研究院

基准测评体系是量子计算产业化从“科研展示”走向“可比产品”的必要基础。由于不同技术路线在比特规模、门保真度、相干时间、任务执行效率和系统稳定性等维度差异较大，仅用单一指标难以判断实际可用性，因此基准测评可以为技术路线选择、应用场景适配、产品采购和产业投资提供可比依据。IBM 发布 Benchpress 基准测试套件，对 7 种量子计算 SDK 进行系统评估；信通院 2025 年更新发布量子计算测评体系 2.0，覆盖硬件、测控系统、编译工具、算法、云平台和应用软件六个层级。

下载日志已记录，仅供内部参考

图22：中国信息通信研究院更新发布量子计算测评体系 2.0



资料来源：中国信息通信研究院

4.3.5. 中远期场景：药物分子模拟、材料设计、组合优化、金融风控、密码冲击

中远期看，量子计算的应用价值主要来自对高复杂度问题的潜在加速能力，核心场景集中在量子模拟、组合优化和密码安全三类方向。科技巨头和初创企业正推动量子计算在金融服务、化学工程、生物制药、交通运输等领域的应用探索，研究方向主要包括量子模拟、量子组合优化和量子基础算法等类型。

药物分子模拟和材料设计是量子计算最具中长期突破潜力的方向。量子模拟能够对微观粒子体系进行复现和动态演化模拟，适合用于分子结构、化学反应路径、材料性能等复杂量子体系研究，因而成为量子计算应用探索中最接近底层科学问题的一类场景。从产业实践看，Classiq 与三菱化学等已在化学材料开发中探索量子算法应用，利用 QPE 算法和 QAOA 算法分别实现 97%和 54%的电路压缩，为降低化学模拟计算资源开销提供思路；德国马普所与 Covestro 合作开发费米子量子模拟方法，用于直接模拟分子行为；Fermioniq 与 IBM 合作开发可预测 mRNA 二级结构的量子算法，尝试将量子计算引入 mRNA 类药物设计。整体看，药物分子模拟和材料设计当前仍以算法验证和场景探索为主，短期商业化弹性有限，但若量子纠错、逻辑比特规模和量子经典混合计算能力持续提升，有望率先形成具有实际价值的科学计算应用。

组合优化场景具备较广行业外延，但商业化效果取决于问题规模、算法适配和硬件性能。组合优化面向大规模、高复杂度决策问题，潜在应用包括物流调度、能源配置、生产排程、金融资产组合和风险管理等。Quantum Motion 与高盛合作探索期权定价等金融复杂计算，DATEV 与 IQM 基于 Markowitz 模型进行预算约束下的产品组合优化，说明金融和资源配置类问题已成为量子组合优化的重要验证方向。

金融风控更可能先以量子经典混合算法和专用优化工具形式落地，而非直接形成通用量子金融系统。期权定价、投资组合优化、风险因子模拟和压力测试本质上都是高维计算或优化问题，理论上适合量子算法探索；但在当前阶段，金融机构更关注能否在特定任务上降低计算时间、提高搜索效率或改善复杂约束下的求解质量，短期仍以联合实验和算法验证为主。

下载日志已记录，仅供内部参考

密码冲击是量子计算最明确的远期外部性之一，将推动网络安全体系向 PQC 和量子安全方案迁移。大规模可容错通用量子计算机运行 Shor 算法，可高效破解基于大数分解和离散对数问题的 RSA、ECC 等公钥密码核心算法，并可能带来“先截获，后破解”的长期数据安全风险；谷歌研究显示，如果造出 100 万位量子比特规模的含噪声量子计算机，可在不到一周内破解 RSA 2048 公钥。

中远期场景的核心约束仍是量子纠错、逻辑比特规模和有效量子优势验证。目前量子纠错实验多处于逻辑量子比特原理性演示、错误率降低或突破盈亏平衡点等初级阶段，在长相干时间、高保真度逻辑门和逻辑比特规模化方面距离实用化仍有数量级差距。由此看，药物、材料、金融和密码场景具备长期战略价值，但真正进入产业级应用仍需要硬件、纠错、软件和应用算法协同突破。

4.4. 量子精密测量产业链：高端仪器先行，多行业场景率先落地

量子精密测量是三大量子信息方向中更接近仪器设备商业化的领域，产业化路径主要体现为高端传感器、测量仪器和行业解决方案。量子精密测量通过量子态制备、调控和测量实现更高精度、更高灵敏度和更高稳定性的物理量测量，覆盖时间频率、磁场、重力、惯性、目标识别、痕量检测等方向；微波原子钟、冷原子重力仪、光量子雷达、量子磁力计等已实现商业化应用，光学原子钟、原子陀螺仪、原子天线等处于样机研发与应用验证阶段。

图 23：量子精密测量主要技术路线和物理量



资料来源：中国信息通信研究院

4.4.1. 产业链结构：传感介质、光电器件、系统设备、数据平台与行业应用

量子精密测量产业链可拆分为上游核心硬件、中游系统设备和下游行业应用三层。上游包括原子、离子、光子、固态自旋等传感介质，以及激光器、探测器、光电器件、环境保障系统和辅助器件；中游以原子钟、量子磁力仪、量子重力仪、量子惯导、量子雷达、量子电场测量设备等系统设备为主；下游则通过数据平台、行业软件和系统集成，将测量结果转化为电力监测、医疗诊断、资源勘探、环境监测和国防应用等具体服务。

下载日志已记录，仅供内部参考

4.4.2. 成熟产品与场景：时频基准、磁场测量、重力测量、目标探测

量子精密测量各方向成熟度差异较大，应按产品化程度和行业支付意愿分层判断。时频基准相对最成熟，原子钟已在计量、通信同步和卫星导航等领域形成稳定应用基础；磁场测量和重力测量处于样机验证与行业导入阶段，在心脑磁检测、资源勘探、地下空间探测、电力设备监测等场景具备应用潜力；量子雷达、量子惯导、里德堡原子天线等方向仍偏早期，更多体现前沿技术储备和特定行业示范价值。

4.4.3. 重点应用：能源电力、生物医疗、油气管网、矿产勘探、国防军工

量子精密测量的商业化关键，是把“更高精度”转化为行业客户可感知、可量化的收益。在能源电力场景，客户关注设备状态感知、故障预警和安全运维；在生物医疗场景，客户关注无创检测、早筛能力和诊断效率；在油气管网和资源勘探场景，客户关注地下结构识别、施工风险降低和勘探效率提升；在国防军工场景，客户关注自主导航、目标识别和复杂环境感知。只有当性能提升能够对应明确经济收益或安全收益时，量子测量设备才具备规模化替代基础。

量子精密测量短期更应按高端仪器国产替代逻辑跟踪，而不是按通用消费电子逻辑外推。后续放量取决于小型化、低功耗、环境适应性、可靠性、维护成本和行业标准适配。具备核心传感器、整机工程化、行业软件和渠道交付能力的企业，更可能率先形成订单闭环。

图24：量子精密测量技术体系框架



资料来源：中国信息通信研究院

4.4.4. 关键约束：体积、功耗、成本、环境适应性与标准化

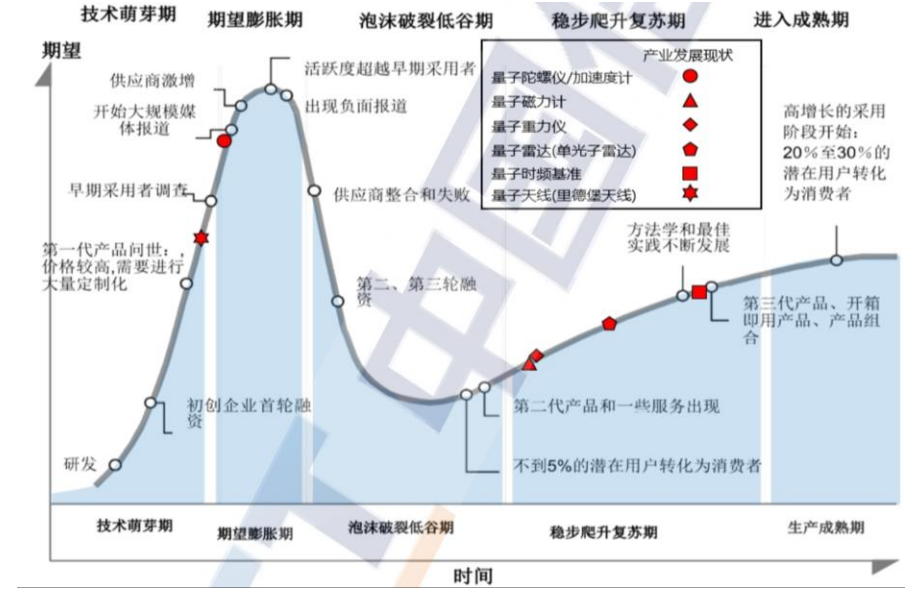
量子精密测量产业化瓶颈主要来自工程化成熟度、供应链协同和场景转化

下载日志已记录，仅供内部参考

能力。当前量子精密测量产业链与生态已具雏形，相关企业数量近 150 家，上游覆盖激光器、探测器、辅助器件及环境保障系统等核心环节，中游系统设备商承担科技成果转化功能，下游则面向科研、医疗、国防、资源勘测、环保、气象、交通、应急等行业场景拓展应用。但由于材料器件种类多、技术路线需求差异大，供应链整合难度较高，大规模商业化仍需突破技术成熟度、成本、场景拓展和市场接受度等瓶颈，后续需通过产学研协同制定标准，并推动模块化、标准化生产以降本提效。

量子精密测量放量节奏取决于不同技术路线的成熟度分化和行业应用闭环。微波原子钟等量子时频基准产品相对成熟，并已在秒定义、世界协调时、卫星定位导航等领域应用；原子磁力仪、重力仪等已有样机产品，并在心脑磁医疗检测、地质资源勘测等场景开展示范应用；光量子雷达已完成产品迭代，并拓展至环保、气象、交通、应急等领域。相比之下，光学原子钟、核钟、量子惯性导航、里德堡原子天线等方向仍处于研究、样机或原型验证阶段。我们认为，量子精密测量后续产业化重点将从单点精度突破转向系统小型化、低功耗、环境适应性、可靠性、可维护性和行业标准适配，只有当测量精度优势能够转化为明确经济收益、安全收益或监管价值时，相关设备才具备替代传统测量方案的商业基础。

图 25：量子精密测量产业发展成熟度



资料来源：中国信息通信研究院

4.5. AI+量子：量子计算、量子精密测量与 AI 双向赋能

4.5.1. AI for Quantum：测控优化、纠错设计、量子态制备、数据后处理

AI for Quantum 的现实价值在于提升量子系统调控效率、稳定性和数据处理能力。在量子计算方向，机器学习和大模型可用于芯片设计、量子线路优化、误差缓解、纠错编码设计和测控参数调优；在量子精密测量方向，AI 可用于高保真量子态制备、测控系统参数优化、噪声抑制、信号提取和测量数据分类。机器学习、大模型和智能体等 AI 技术可优化测控系统参数并高效制备高保真量子态，将 AI 用于量子精密测量数据后处理，也有望进一步提升性能和应用范围。

AI 赋能量子精密测量的商业化路径更清晰，原因是其直接对应测量仪器的数据分析和行业软件层。例如，颗粒物光量子雷达环保监测网络可借助 AI 自动识别污染源，美国 SandboxAQ 的地磁导航系统通过量子磁力计实时测量并结合 AI 算法与地磁地图比对，实现定位导航；这类模式本质上是“量子传感器+AI 数据处理+行业应用”，更接近当前产业软件和仪器设备的商业逻辑。

下载日志已记录，仅供内部参考

4.5.2. Quantum for AI：量子机器学习与潜在算力突破

Quantum for AI 的长期价值来自量子计算对高维计算、采样和优化问题的潜在加速能力。量子计算的并行计算优势可能成为 AI 时代满足算力需求的潜在解决方案，量子计算与 AI 融合已在量子启发式算法、生成式 AI、概率模型采样等方向开展探索，例如芝加哥大学使用量子启发式算法区分癌症患者和健康个体外泌体，多伦多大学和 Insilico Medicine 结合量子计算、生成式 AI 与传统计算方法开展药物研发探索。

Quantum for AI 仍处于远期探索阶段。当前量子计算硬件能力、纠错水平和算法适配性仍限制其对 AI 任务形成稳定、可验证、可规模化的加速优势，因此更合理的判断是，短期 AI 主要赋能量子系统工程化和数据处理，中长期量子计算若在纠错、规模化和有效量子优势上取得突破，才可能进一步拓展 AI 训练、推理、采样和优化的算力边界。

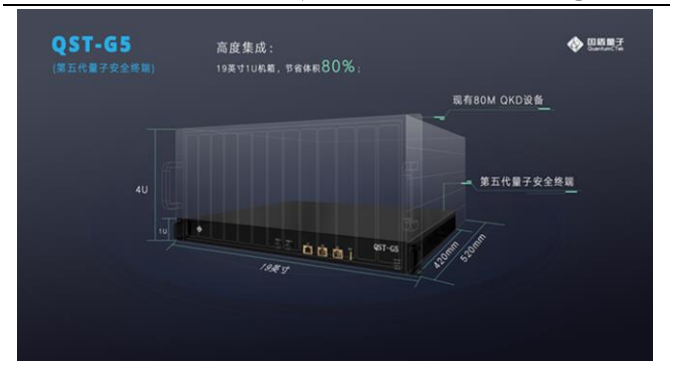
5. 量子科技商业化提速，重点公司竞争力拆解

5.1. 国盾量子（688027）：量子通信设备龙头，QKD 产品线+量子计算布局

国盾量子是国内量子信息产业化代表性上市公司，业务覆盖量子通信、量子计算和量子精密测量三大方向。根据公司 2025 年年报，国盾量子主要从事量子通信、量子计算、量子精密测量产品的研发、生产和销售，并提供相关技术服务；其中量子通信产品包括量子保密通信网络核心设备、量子安全应用产品、核心组件及网络管理控制软件，量子计算产品包括超导量子计算机整机、测控系统、稀释制冷机等核心组件，量子精密测量产品包括冷原子重力仪、单光子成像雷达、单光子探测器和光学传感器等。

量子通信仍是国盾量子的基础业务，核心商业模式是向量子保密通信网络系统集成商提供设备和技术服务。公司在量子通信产业链中的定位是核心产品和相关技术服务供应商，已具备大批量供货能力，产品最终用于量子保密通信骨干网、城域网、局域网建设及基于网络建设的行业应用。2025 年，公司量子通信行业收入 1.40 亿元，占主营业务收入 47.05%；量子通信产品收入 9163.36 万元，毛利率 73.07%，仍具备较高盈利质量。

图 26：国盾量子轻量化第五代量子安全终端（QST-G5）



资料来源：国盾量子官网

图 27：QST-G5 功能性能参数



资料来源：国盾量子官网

量子计算业务成为国盾量子 2025 年收入增长的主要驱动。2025 年公司实现营业收入 3.10 亿元，同比增长 22.53%，归母净利润 539.19 万元，同比扭亏；公司披露营业收入增长主要系量子计算业务收入增长所致。分行业看，2025 年量子计算行业收入 1.20 亿元，同比增长 111.82%；分产品看，量子计算产品收入 1.18 亿元，同比增长 276.16%。公司量子计算产品主要包括超导量子计算整机及可单独销售的超导量子计算测控系统、稀释制冷机等组件级产品。

下载日志已记录，仅供内部参考

国盾量子的竞争力在于从 QKD 设备向量子计算和精密测量延伸，形成较稀缺的量子信息全栈产品组合。公司研发部门覆盖产品研发、量子密钥管理、量子安全应用、光电混合集成器件、量子计算设备、量子计算云平台和量子成像技术等方向，说明其能力边界已从传统 QKD 网络设备扩展至光电器件、测控系统、云平台和测量仪器。

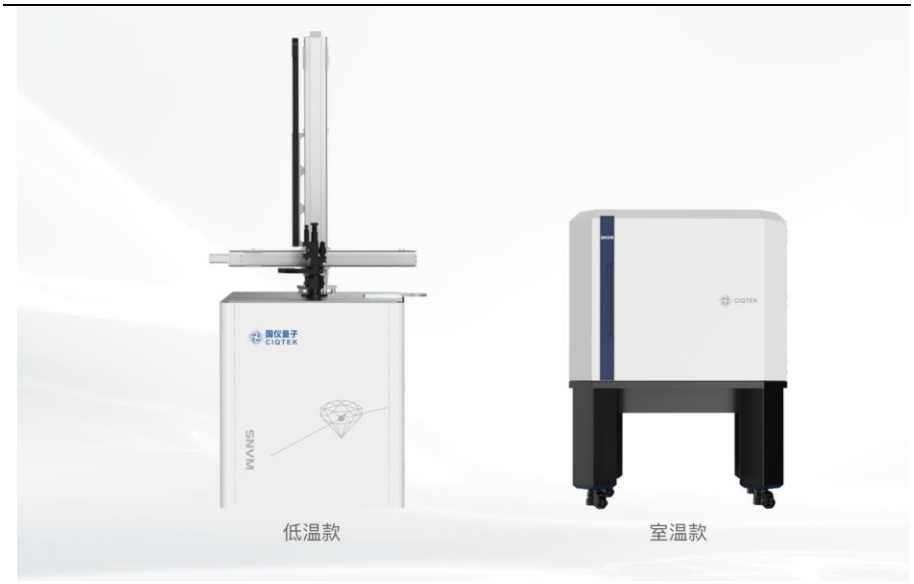
5.2. 国仪量子（已获证监会同意注册，待发行上市）：量子精密测量仪器平台型公司

国仪量子是国内量子精密测量和高端科学仪器商业化代表，业务本质更接近高端仪器国产替代平台。根据国仪量子招股说明书，公司自成立以来专注于高端科学仪器研发，面向国家重大战略需求，以电子顺磁共振波谱仪、场发射扫描电子显微镜等产品为突破口，打破国际巨头在国内相关市场的垄断局面，并发布扫描 NV 探针显微镜、量子钻石单自旋谱仪等国际或国内首台套产品。公司以自旋共振技术为起点，在量子精密测量领域完成技术成果转化，并将量子信息技术拓展至医疗检测、工业质检、航空航天等应用方向。

国仪量子的产品矩阵覆盖量子信息技术与自旋共振、电子显微镜、随钻测量、气体吸附分析和物联网等系列。2025 年公司主营业务收入 6.63 亿元，其中量子信息技术与自旋共振系列收入 2.18 亿元，占比 32.95%；电子显微镜系列收入 3.73 亿元，占比 56.29%；其中量子传感系列收入 6416.48 万元，占比 9.68%，量子计算系列收入 2270.16 万元，占比 3.43%。从收入结构看，电子显微镜是当前最大收入来源，量子信息技术与自旋共振系列则体现公司量子精密测量属性。

国仪量子的量子精密测量能力主要围绕自旋共振和 NV 色心量子传感展开。招股书显示，电子顺磁共振波谱仪基于未成对电子在外加磁场中的自旋共振原理对物质性质进行测量，可用于物理、化学、生物、环境、食品安全等科研和工业领域；公司 2018 年发布首款脉冲式 X 波段电子顺磁共振波谱仪 EPR100，成为国内首家实现商业化生产的企业，2024 年交付首台 W 波段脉冲式电子顺磁共振波谱仪 EPR-W900，成为国内唯一、全球继布鲁克之后第二家具备该产品研发生产能力的企业。

图 28：国仪量子扫描 NV 探针显微镜产品



资料来源：国仪量子官网

国仪量子的量子传感系列体现其从科学仪器向新型量子测量平台延伸的能力。公司量子传感系列产品基于金刚石 NV 色心作为固态量子传感器，以控

下载日志已记录，仅供内部参考

制单量子系统实现物理量高精度测量和信号转换；公司 2019 年发布国内首台扫描 NV 探针显微镜和国际首台量子钻石单自旋谱仪，2023 年进一步推出宽场 NV 显微镜等产品。该类产品适用于磁性材料、微观磁场、微观磁共振等测量需求，是量子精密测量在科研和工业检测中的重要落地方向。

国仪量子的商业化进展优于多数纯量子计算公司，主要原因是其产品服务于真实科研和工业检测需求。2023 至 2025 年，公司营业收入分别为 4.00 亿元、5.01 亿元和 6.66 亿元，复合增长率 29.11%；销售毛利率由 33.35%提升至 46.98%；扣非归母净利润亏损由 1.69 亿元收窄至 1887.80 万元。公司解释亏损主要来自市场导入期规模效应不足、研发试制和定制交付成本较高、高端科学仪器行业前期研发和营销投入较大以及股权激励费用等。

国仪量子的竞争力来自高端科学仪器国产替代、量子精密测量技术平台和客户场景拓展三重驱动。招股书显示，公司产品已交付超过 80 所 985/211 高校和超过 150 家科研院所，企业客户覆盖京东方、比亚迪、宁德时代、奇瑞汽车、隆基绿能、成飞集团、南方航空、中船集团、中核集团、中电科、中石油、中海油等行业客户；公司累计牵头或参与国家级重大科研项目 9 项，并参与制定量子测量行业 7 项国家标准中的 4 项且为牵头制定方中唯一企业单位。

5.3. 本源量子（未上市）：超导量子计算整机，国产量子芯片自主路线

本源量子是国内超导量子计算全栈路线代表，核心定位是打造自主可控工程化量子计算机。本源量子成立于 2017 年，团队技术起源于中科院量子信息重点实验室，围绕量子芯片、量子计算测控一体机、量子操作系统、量子软件、量子计算云平台和量子计算科普教育等核心业务进行全栈研制开发，应用探索覆盖生物科技、化学材料、金融分析、船舶制造、大数据等领域。

本源量子的产品化重点在超导量子计算整机和云端算力服务。公司官网显示，“本源悟空 180”为第四代自主超导量子计算机，面向云端开放和真实任务运行，提供可编程、可交付的量子算力服务；“本源悟空”系列由公司自主研发，面向全球开放真实量子算力服务，是国内先进的可编程、可交付超导量子计算机。公司量子计算云平台则提供学习资源、编程工具、算力服务和应用开发等全流程服务。

图 29：本源悟空等五台量子计算机机群



资料来源：新华网

本源量子的产业价值在于打通量子芯片、测控、操作系统、软件和云平台的

下载日志已记录，仅供内部参考

闭环。对量子计算企业而言，单点硬件突破并不等同于商业化能力，关键在于能否把低温环境、测控系统、量子芯片、编译软件、操作系统和云平台集成为可交付产品。本源量子的全栈布局有助于减少关键环节外部依赖，并通过云平台降低用户接入门槛，面向高校、科研院所和企业研发部门提供算力试用、算法验证和科研服务。

本源量子的短期商业化仍以科研服务、云平台开放和行业应用探索为主。现阶段量子计算尚未在复杂实际问题中普遍证明超越经典计算的稳定优势，因此本源量子的商业模式更可能先体现为整机销售、算力访问、联合研发、教育培训和行业解决方案试点。中长期看，若超导量子芯片规模、门保真度、测控集成度和纠错能力持续提升，公司有望从科研工具型供应商逐步向量子算力基础设施提供商演进。

5.4. 相关上市公司梳理：围绕软件平台、算力底座与量子安全形成产业链延伸布局

除国盾量子、国仪量子、本源量子等直接从事量子通信、量子计算、量子精密测量的核心企业外，A 股相关公司更多分布在量子软件平台、经典算力底座、信创安全基础设施、量子通信应用和抗量子密码等环节。科大国创的量子相关布局主要集中于量子云平台和量子经典混合计算方向，公司积极开展国创星云量子云平台研发，该平台定位为面向多元融合计算时代的量子-经典混合算力服务枢纽。中科曙光和中国长城在量子科技领域主要体现为前沿方向跟踪和技术储备。中科曙光密切跟踪光子计算、存算一体、量子计算等前沿方向，保持技术前瞻储备；中国长城在互动平台表示，公司持续关注量子计算产业发展态势，并有一定研发投入。神州信息和吉大正元的量子相关布局主要集中于量子安全方向。神州信息官网列示分布式量子 SaaS 平台、量子增强安全服务平台、量子 VPN 身份认证平台等产品；吉大正元推出抗量子密码产品，加入量子密码基础设施（QCI）标准工作组，并提交量子密钥分发相关专利申请。

表6：相关上市公司量子科技布局梳理

证券简称	证券代码	相关方向	量子布局
科大国创	300520.SZ	量子云平台、量子经典混合计算、量子科技股权布局	公司积极开展国创星云量子云平台研发，该平台定位为量子-经典混合算力服务枢纽，可实现跨厂商量子计算硬件资源的透明接入与智能调度；公司前瞻布局量子科技等未来产业，参股投资九章量子，推动量子软件方向协同与合作。 公司持有国仪量子 2.75%股权、九章量子 4.29%股权。九章量子是光量子计算方向企业，成立于 2022 年 11 月，主要研发生产光量子计算全链条关键器件，研制专用光量子模拟机、通用量子计算机及量子教育产品；公司源于中国科学技术大学“九章”光量子计算原型机团队，具备光量子计算工程化和产品化属性。
神州信息	000555.SZ	量子通信应用、量子安全、量子通信股权布局	公司在量子通信方向布局分布式量子 SaaS 平台、量子增强安全服务平台、量子 VPN 身份认证平台等产品；公司与国盾量子、国翔辰瑞共同出资成立神州国信（北京）量子科技有限公司，推动量子通信产品研发及行业应用。 神州信息 2025 年年度报告披露其持有神州国信 69.10%股权。神州国信是神州信息、国盾量子、国翔辰瑞共同出资成立的量子通信合资公司，定位为量子通信产品及行业应用解决方案提供商，面向量子通信骨干网、城域网、行业专网等场景提供量子通信设备，并为政府、金融等行业客户提供量子通信解决方案及相关服务。
吉大正元	003029.SZ	抗量子密码、量子密码基础设施	公司加强“量子+抗量子”密码安全技术攻关，加入量子密码基础设施（QCI）标准工作组，参与多个量子密码标准制定，并已推出抗量子电子证书认证系统、抗量子多合一安全网关等产品。
格尔软件	603232.SH	抗量子密码、量子安全、密码应用层产品	公司自 2018 年起储备量子安全相关技术，持续深耕抗量子密码技术领域，从算法研究、产品研发到场景应用形成全链条布局。公司已形成抗量子密

下载日志已记录，仅供内部参考

			码机、网关、PKI 基础设施、密码服务平台等产品基础，并发布量子安全 PKI 基础设施、量子安全密钥管理系统等抗量子产品；公司研制的 NGPKI 深度融合后量子密码、自动化管理及人工智能等技术，兼容国产后量子密码算法及国际 FIPS 系列算法。公司与海光信息、国泰海通证券联合发布抗量子密码平滑迁移方案，负责密码应用层产品落地，将算法、协议转化为可部署的网关、加密组件和证书服务。
海光信息	688041.SH	抗量子密码、芯片级内生安全、国产算力安全底座	公司联合国泰海通证券、格尔软件发布抗量子密码平滑迁移解决方案，该方案基于海光内生安全技术体系，采用“商密+抗量子密码”混合架构，支持传统密码、混合密码及纯抗量子密码的平滑切换，为金融、政务、能源等关键领域应对量子计算威胁提供可落地方案。公司依托 CPU 与 DCU 双芯架构，将密码技术、机密计算、可信计算与漏洞防御能力深度融合，并已基于自主安全架构实现抗量子算法兼容落地，为上层应用平滑迁移提供硬件基础。
中科曙光	603019.SH	高端计算、算力基础设施、前沿技术储备	公司密切跟踪光子计算、存算一体、量子计算等前沿方向，保持技术前瞻储备。
中国长城	000066.SZ	量子计算产业跟踪、前沿技术储备、自主计算底座	公司持续关注量子计算产业发展态势，并有一定研发投入。

资料来源：科大国创 2025 年年度报告、科大国创投资者互动平台、九章量子官网、神州信息 2025 年年度报告、神州信息公司官网、吉大正元 2025 年度总经理工作报告、格尔软件 2025 年年度报告、格尔软件官网、海光信息 2025 年年度报告、上证报中国证券网《海光信息联合多方发布全球首个抗量子密码平滑迁移解决方案》、中国证券报《海光信息应志伟：把安全“刻进”芯片里》、中科曙光《2026 年度“提质增效重回报”行动方案暨 2025 年度行动回顾》、中国长城互动易问答、国泰海通证券研究

表7：重点公司估值表

股票代码	股票简称	价格（元）	EPS（元）			PE		
			2025A	2026E	2027E	2025A	2026E	2027E
688027.SH	国盾量子	507.84	0.05	0.07	0.17	10156.80	7254.86	2987.29
000066.SZ	神州信息	11.26	0.06	0.12	0.24	187.67	93.83	46.92
688041.SH	海光信息	308.22	1.10	2.92	4.49	280.20	105.55	68.65
603019.SH	中科曙光	86.51	1.49	2.16	2.62	58.06	40.05	33.02
000066.SZ	中国长城	17.81	-0.02	0.04	0.08	-890.50	445.25	222.63

资料来源：Choice，国泰海通证券研究
注：收盘价来源于 Choice，为 2026/6/17 数据，EPS 预测值来自国泰海通证券研究

6. 风险提示

1）技术路线不确定性风险。量子科技仍处于多技术路线并行探索阶段，量子计算领域存在超导、离子阱、光量子、中性原子、硅半导体、拓扑量子等多种路线，量子通信和量子精密测量内部也存在不同协议、器件和系统方案。不同技术路线在可扩展性、稳定性、成本、工程复杂度和产业生态成熟度方面差异较大，当前尚未形成完全确定的主导路线。若后续技术路线验证不及预期、主流路线发生切换，或企业既有研发方向与产业化方向不匹配，可能导致相关公司研发投入回报低于预期，并影响产业链公司的订单兑现和估值水平。

2）量子计算实用化进度不及预期风险。量子计算仍处于技术攻关和应用验证阶段，大规模容错量子计算需要在物理量子比特规模、门保真度、相干时间、量子纠错、逻辑量子比特质量、测控系统和软件栈等环节持续突破。当前量子计算商业化收入仍以云平台开放、科研服务、算法验证和行业概念验证为主，距离在药物分子模拟、材料设计、组合优化、金融风控等真实产业场景中形成稳定商业闭环仍存在较大不确定性。若量子纠错、逻辑比特扩展或实际任务加速效果低于预期，可能导致量子计算产业化进度、资本投入强度和相关公司收入增长不及预期。

3）量子通信市场需求及 PQC 竞争风险。量子通信当前主要面向运营商专网、政务金融、电力能源、工业控制等高安全场景，商业化推广仍受设备成本、光纤资源、组网复杂度、运维成本、密钥成码率、传输距离和行业预算

下载日志已记录，仅供内部参考

节奏影响。与此同时，抗量子密码 PQC 具备端到端部署、迁移成本较低、兼容现有信息系统等特点，可能在多数通用信息安全场景中成为优先方案。若 QKD 与 QRNG 等量子安全产品无法在安全收益、成本结构和运维便利性上体现足够优势，或 PQC 迁移进度快于预期，量子通信设备和量子安全专网需求释放可能不及预期。

4）量子精密测量产品化和场景拓展不及预期风险。量子精密测量更接近高端科学仪器和行业传感设备，应用场景覆盖时频基准、磁场测量、重力测量、惯性测量、目标探测、生物医疗、能源电力和资源勘探等方向，但不同产品的成熟度、成本曲线和客户付费能力差异较大。部分量子测量设备仍需在小型化、低功耗、环境适应性、可靠性、可维护性和批量生产一致性方面持续提升。若量子精密测量产品在复杂工业环境中的性能优势无法转化为明确经济收益或安全收益，或行业标准、客户验证和采购流程推进较慢，相关产品放量节奏可能低于预期。

5）核心设备、材料和供应链风险。量子科技产业化高度依赖高端激光器、单光子探测器、稀释制冷机、低温电子学、真空系统、微纳加工、光电器件、特种材料、测控系统等上游环节，部分核心设备和关键材料仍存在技术门槛高、供应商集中、国产化能力不足和交付周期不确定等问题。若核心设备性能、稳定性、成本或供货能力不能满足量子计算整机、量子通信网络和量子精密测量仪器的产业化需求，可能制约中游产品迭代和下游项目交付，并对相关企业毛利率、订单确认和研发进度产生不利影响。

6）政策、标准与行业采购节奏不及预期风险。量子科技属于政策牵引、科研投入和产业应用共同驱动的未来产业方向，现阶段部分需求来自政府项目、科研机构、运营商、能源电力、国防军工和重点行业客户，订单释放节奏与财政预算、重大项目立项、行业标准制定、产品测评认证和客户采购流程密切相关。若未来产业政策支持力度、地方项目推进节奏、运营商和行业客户采购规模不及预期，或量子计算、量子通信、量子精密测量相关标准和测评体系建设慢于预期，可能影响产业链公司收入兑现和商业化进程。

下载日志已记录，仅供内部参考

本公司是本报告所述海光信息(688041)的做市券商。本报告系本公司分析师根据海光信息(688041)公开信息所做的独立判断。

下载日志已记录，仅供内部参考

本公司具有中国证监会核准的证券投资咨询业务资格

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格或相当的专业胜任能力，保证报告所采用的数据均来自合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响，特此声明。

免责声明

本报告仅供国泰海通证券股份有限公司（以下简称“本公司”）授权客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。本报告仅在相关法律许可的情况下发放，并仅为提供信息而发放，概不构成任何广告。

本报告的信息来源于已公开的资料，本公司对该等信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可升可跌。过往表现不应作为日后的表现依据。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告。本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告中所指的投资及服务可能不适合个别客户，不构成客户私人咨询建议。在任何情况下，本报告中的信息或所表述的意见均不构成对任何人的投资建议。在任何情况下，本公司、本公司员工或者关联机构不承诺投资者一定获利，不与投资者分享投资收益，也不对任何人因使用本报告中的任何内容所引致的任何损失负任何责任。投资者务必注意，其据此做出的任何投资决策与本公司、本公司员工或者关联机构无关。

本公司利用信息隔离墙控制内部一个或多个领域、部门或关联机构之间的信息流动。因此，投资者应注意，在法律许可的情况下，本公司及其所属关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券或期权并进行证券或期权交易，也可能为这些公司提供或者争取提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务。在法律许可的情况下，本公司的员工可能担任本报告所提到的公司的董事。

市场有风险，投资需谨慎。投资者不应将本报告作为作出投资决策的唯一参考因素，亦不应认为本报告可以取代自己的判断。在决定投资前，如有需要，投资者务必向专业人士咨询并谨慎决策。

本报告版权仅为本公司所有，未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表或引用。如征得本公司同意进行引用、刊发的，需在允许的范围内使用，并注明出处为“国泰海通证券研究”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

若本公司以外的其他机构（以下简称“该机构”）发送本报告，则由该机构独自为此发送行为负责。通过此途径获得本报告的投资者应自行联系该机构以要求获悉更详细信息或进而交易本报告中提及的证券。本报告不构成本公司向该机构之客户提供的投资建议，本公司、本公司员工或者关联机构亦不为该机构之客户因使用本报告或报告所载内容引起的任何损失承担任何责任。

评级说明

投资建议的比较标准

投资评级分为股票评级和行业评级。

以报告发布后的 12 个月内的市场表现为比较标准，报告发布日后的 12 个月内的公司股价（或行业指数）的涨跌幅相对同期的沪深 300 指数涨跌幅为基准。

	评级	说明
股票投资评级	增持	相对沪深 300 指数涨幅 10%以上
	谨慎增持	相对沪深 300 指数涨幅介于 5%～10%之间
	中性	相对沪深 300 指数涨幅介于-5%～5%
	减持	相对沪深 300 指数下跌 5%以上
	无评级	对于个股未来市场表现与基准指数相比无明确观点
行业投资评级	增持	明显强于沪深 300 指数
	中性	基本与沪深 300 指数持平
	减持	明显弱于沪深 300 指数

国泰海通证券研究所

地址 上海市黄浦区中山南路 888 号 邮编 200011 电话 （021）38676666