

量子计算：人工智能与新质生产力的“未来引擎”

2024年03月22日

量子计算有望成为解决 AI 算力瓶颈的颠覆性力量。与传统计算相比，量子计算能够带来更强的并行计算能力和更低的能耗，同时量子计算的运算能力根据量子比特数量指数级增长，在 AI 领域具有较大潜力。海外科技巨头带动量子计算产业发展，IBM、微软、谷歌等公司先后发布量子计算路线图，与此同时，国内量子计算产业与海外科技巨头差距不断缩小，2024年1月16日我国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”上线运行可以一次性下发、执行200个量子线路的计算任务，比国际同类量子计算机具有更大的速度优势。

量子计算软硬件基础设施不断成熟，为商业化落地打下良好基础。当前全球范围内针对量子计算机，已经形成超导、离子阱、光量子、中性原子、半导体量子等主要技术路线，以及以量子门数量、量子体积、量子比特数量等核心指标构成的性能评价体系。量子计算云平台将量子计算机硬件或量子计算模拟器与经典云计算软件工具、通信设备及 IT 基础设施相结合，为用户提供直观化及实例化的量子计算接入访问与算力服务。软件方面，量子算法不断发展中，在当前硬件条件下重点是综合考虑 NISQ 算法的容错代价与算法性能之间的平衡，量子软件体系处于开放研发和生态建设早期阶段，正在不断成熟。

量子计算有望赋能千行百业，开启 8000 亿美元蓝海市场。据 ICV 数据，2023 年全球量子计算市场规模约 47 亿美元，预计 2035 年有望超过 8000 亿美元；其中，金融、化工、生命科学领域有望更加受益量子计算产业发展：

- 1) 金融领域：量子计算应用有望在优化预测分析、精准定价和资产配置等问题中产生优势；
- 2) 化工领域：量子计算应用探索主要通过模拟化学反应，达到提高效率、降低资源消耗等目的；
- 3) 生命科学：量子计算可以用于评估药物研发的成本、时间、性能等实验值；
- 4) 密码学：量子加密理论上是不可被破解的；
- 5) 交通物流：量子计算应用主要聚焦组合优化问题，以更优方案实现路线规划和物流装配，提升效率降低成本。

投资建议：量子计算有望颠覆经典计算架构，成为解决 AI 算力瓶颈的颠覆性力量，或成为发展新质生产力的重要抓手，建议关注国盾量子、科大国创、神州信息、科华数据、中国长城、光迅科技等量子计算相关标的，以及电科网安、吉大正元、格尔软件、国芯科技、浙江东方、亨通光电等量子加密通信标的。

风险提示：量子计算技术发展不及预期，行业竞争加剧。

推荐

维持评级



分析师 吕伟

执业证书：S0100521110003

邮箱：lvwei_yj@mszq.com

相关研究

- 1.计算机周报 20240316：公共数据运营迎来政策“破冰期”-2024/03/16
- 2.计算机周报 20240309：两会 AI 与信创重要机遇信号-2024/03/09
- 3.计算机周报 20240303：计算机行业 2024 年一季度业绩前瞻-2024/03/03
- 4.计算机行业动态报告：全球算力狂潮下的 AI 硬件“超级行情”-2024/03/02
- 5.计算机行业事件点评：重视央企“国家队”在国产 AI 算力与新型举国体制下的机遇-2024/02/26

目录

1 量子计算或成为解决 AI 算力瓶颈的颠覆性力量	3
1.1 量子力学颠覆经典计算体系，带来空前加速.....	3
1.2 巨头争先入场，开启量子计算商业化进程.....	5
1.3 量子计算机：多种技术路线并行	8
1.4 量子云计算平台：定义云计算 Q-XaaS 新范式.....	14
1.5 软件：量子算法与软件体系逐渐成熟	15
2 量子计算有望赋能千行百业	17
2.1 量子计算有望开启 8000 亿美元蓝海市场	17
3 投资建议	19
4 风险提示	19

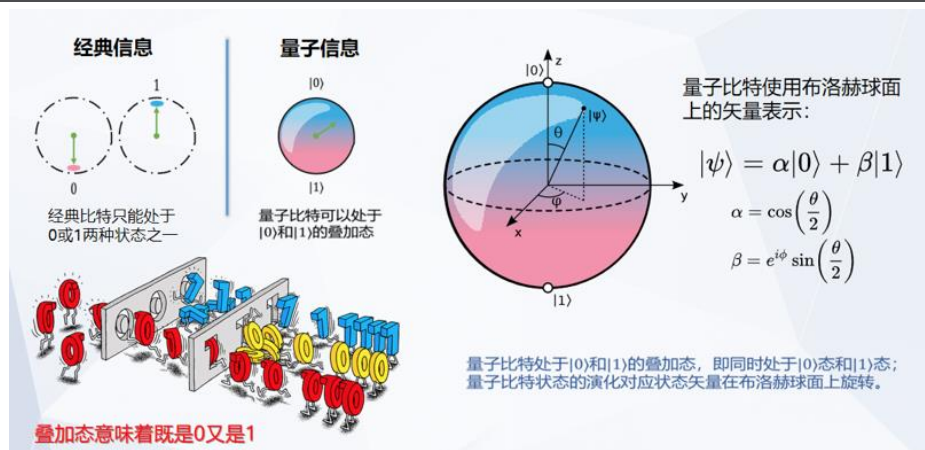
1 量子计算或成为解决 AI 算力瓶颈的颠覆性力量

1.1 量子力学颠覆经典计算体系，带来空前加速

量子计算是基于量子力学的独特行为（如叠加、纠缠和量子干扰）的计算模式，基本信息单位为量子比特。据微软，在物理学中量子是所有物理特性的最小离散单元，通常指原子或亚原子粒子（如电子、中微子和光子）的属性。量子比特是量子计算中的基本信息单位，在量子计算中发挥的作用与比特在传统计算中发挥的作用相似，但经典比特是二进制、只能存放 0 或 1 位，但量子比特可以存放所有可能状态的叠加。量子计算所运用的物理特性主要包括：

- 1) **量子叠加**：处于叠加态时，量子粒子是有可能状态的组合，它们会不断波动，直到被观察和测量；以抛硬币为例，经典比特可以通过正面和反面来度量，而量子比特能够代表硬币的正反面以及正反交替时的每个状态；
- 2) **量子纠缠**：纠缠是量子粒子将其测量结果相互关联的能力，当量子比特相互纠缠时，它们构成一个系统并相互影响，人们可以使用一个量子比特的度量来作出关于其他量子比特的结论，通过在系统中添加和纠缠更多的量子比特，量子计算机可计算指数级的更多信息并解决更复杂的问题；
- 3) **量子干扰**：量子干扰是量子比特固有的行为，由于叠加而影响其坍缩方式的可能性，量子计算机旨在尽可能减少干扰，确保提供最准确的结果。

图1：经典比特与量子比特对比

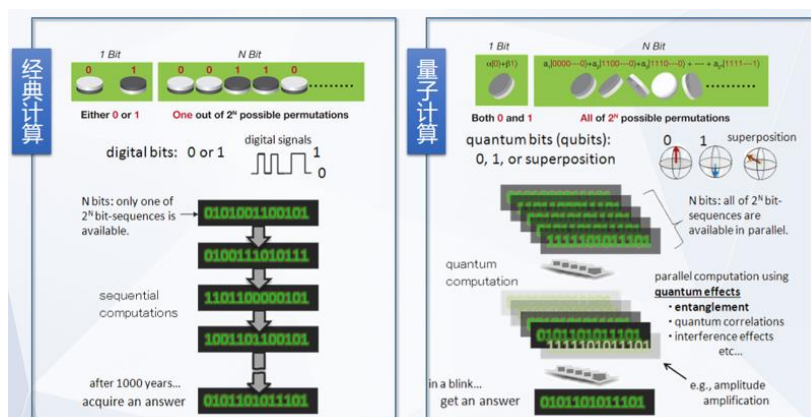


资料来源：爱集微，本源量子，民生证券研究院

与传统计算相比，量子计算能够带来更强的并行计算能力和更低的能耗。据赛迪智库，量子计算通过量子态的受控演化实现数据的存储计算，可以分为数据输入、初态制备、量子逻辑门操作、量子测算和数据输出等步骤，其中量子逻辑门操作是一个么正变换，这是一个可以人为控制的量子物理演化过程；经典计算机的运算模式为逐步计算，一次运算只能处理一次计算任务，而量子计算为并行计算，可以同时同时对 2^n 个数进行数学运算，相当于经典计算重复实施 2^n 次操作；同时，传统

芯片的特征尺寸很小(数纳米)时,量子隧穿效应开始显著,电子受到的束缚减小,使得芯片功能降低、能耗提高,将不可逆操作改造为可逆操作才能提高芯片的集成度,量子计算中的么正变换属于可逆操作,有利于提升芯片的集成度,进而降低信息处理过程中的能耗。

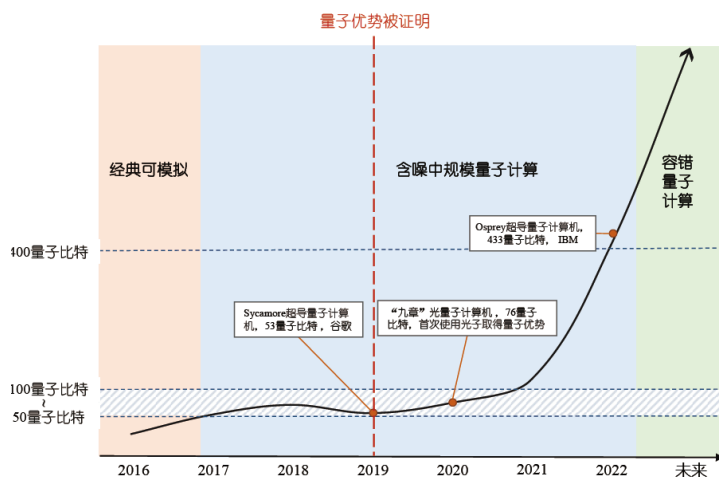
图2: 量子计算与经典计算体系对比



资料来源: 爱集微, 本源量子, 民生证券研究院

量子计算的运算能力根据量子比特数量指数级增长,在 AI 领域具有较大潜力。在经典计算中,计算能力与晶体管数量成正比例线性关系,而量子计算机中算力将以量子比特的指数级规模增长,据中国计算机学会微信公众号,2012年“量子优势”(同样的计算任务,量子计算速度高于传统计算)的概念被提出,并在2019年由谷歌团队实现了实验验证,2020年,潘建伟院士团队基于高斯玻色采样模型成功构建了76个光子的量子计算原型机“九章”进一步验证了量子优势。量子计算机所能拥有的量子比特数由最初的2量子比特增长到了数百量子比特,并正以可观的速度继续增长,这为实现更可靠、更大规模的量子计算,以及挖掘基于量子计算的人工智能应用带来更多可能性。

图3: 经典计算机与量子计算机运算能力对比

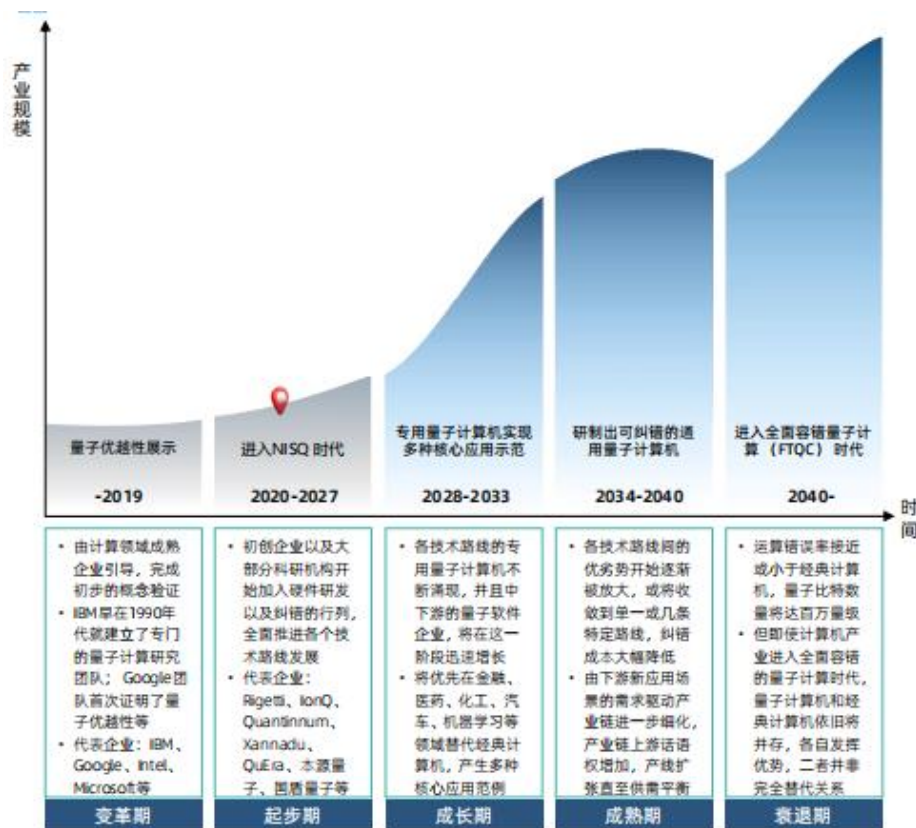


资料来源: 中国计算机学会微信公众号, 民生证券研究院

1.2 巨头争先入场，开启量子计算商业化进程

海外科技巨头带动量子计算产业发展，国内量子计算产业与海外科技巨头差距不断缩小。据量子信息网络产业联盟、ICV 等数据，国外巨头引领量子计算产业发展：2019 年谷歌宣称实现“量子霸权”，首次在实验中证明了量子计算机对于传统架构计算机的优越性，2020 年，IBM 公司公布量子计算机发展路线图，2021 年实现 127 量子比特，2022 年 433 量子比特，2023 年建造 1121 量子比特芯片；与此同时，国内量子计算产业也在政策的支持下快速发展、缩小与海外巨头的差距：2020 年，中国科学技术大学潘建伟等人构建出 76 个光子 100 个模式的高斯玻色取样量子计算原型机“九章”，实现了“高斯玻色取样”任务的快速求解；2021 年，中国科学技术大学潘建伟等人构建了 66 比特可编程超导量子计算原型机“祖冲之二号”，实现了对“量子随机线路取样”任务的快速求解，“祖冲之二号”的计算复杂度比谷歌的“悬铃木”提高了 6 个数量级；2023 年本源量子交付 24 比特超导量子计算机；2024 年 1 月 16 日我国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”上线运行可以一次性下发、执行 200 个量子线路的计算任务，比国际同类量子计算机具有更大的速度优势。

图4：全球量子计算发展历程



量子计算软硬件体系已经初具雏形。据信通院：

量子计算产业上游主要包含环境支撑系统、测控系统、各类关键设备组件以及元器件等，是研制量子计算原型机的必要保障，目前由于技术路线未收敛、硬件研制个性化需求多等原因，上游供应链存在碎片化问题，逐一突破攻关存在难度，一定程度上限制了上游企业的发展，国内外情况对比而言，上游企业以欧美居多，部分龙头企业占据较大市场份额，我国部分关键设备和元器件对外依赖程度较高；

量子计算产业生态中游主要涉及量子计算原型机和软件，其中原型机是产业生态的核心部分，目前超导、离子阱、光量子、硅半导体和中性原子等技术路线发展较快，其中超导路线备受青睐，离子阱、光量子 and 中性原子路线获得较多初创企业关注，美国原型机研制与软件研发占据一定优势，我国量子计算硬件企业数量有限且技术路线布局较为单一，集中在超导和离子阱路线，量子计算软件企业存在数量规模较少、创新成果有限、应用探索推动力弱等问题；

量子计算产业下游主要涵盖量子计算云平台以及行业应用，处在早期发展阶段，近年来全球已有数十家公司和研究机构推出了不同类型的量子计算云平台积极争夺产业生态地位，目前量子计算领域应用探索已在金融、化工、人工智能、医药、汽车、能源等领域广泛开展，国外量子计算云平台的优势体现在后端硬件性能、软硬件协同程度、商业服务模式等方面。大量欧美行业龙头企业成立量子计算研究团队，与量子企业联合开展应用研究，我国下游行业用户对量子计算重视程度有限，开展应用探索动力仍需提升。

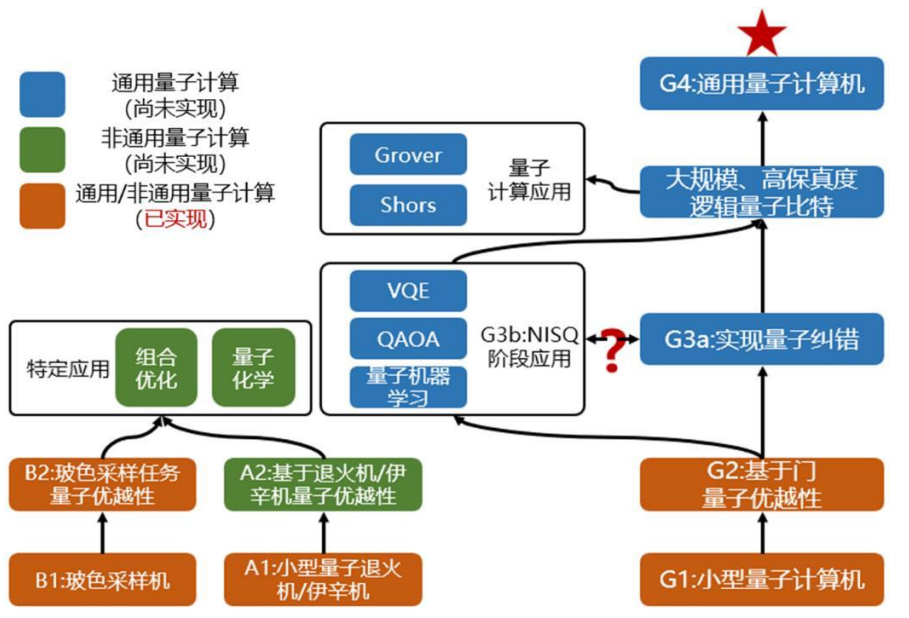
图5：量子计算产业生态与国内外代表性企业概况

产业生态		国际	国内
上游	环境 & 测控	稀释制冷机: BLUEFORS, Oxford, Liden Cryogenics, LT LAB, Cryo-Concept, Janis ULT, FormFactor, ULIAC 测控系统: Zurich Instruments, QM QUANTUM MACHINES, QBLOX, KEYSIGHT, MenloSystems 低温组件: STAR COOLING ELECTRONICS, Atlantic Microwave, Lake Shore, COAX, AmpTech 真空系统: Johnson Vacuum, JVC, Kurt J. Lesker, Leybold, Agilent, EDWARDS, PFEIFFER, VACUUM 激光器: M, NKT Photonics, THORLABS, Thorlabs, nLIGHT, OEWAVES 光学探测器: SABLE SYSTEMS, SCONTEL, Spot, Pixel Photonics	CryoPride, PHYSIKE ZMX, 国盾量子 FERMILAB, 国盾量子 FERMILAB, 国盾量子 Accelink, CETC
	原型机	超导: IBM, Google, Rigetti, IQM, OQC, PsiQuantum, ATLANTIC, SEEQ, QCI, Nerd	本源量子, 百度, CETC, SPINQ
		离子阱: QUANTINUUM, IONQ, AQT, IonQ, Peridot Ionics, eleQtron	XYQ, QUDCOR, 国盾量子, 本源量子
		光量子: XANADU, PsiQ, QUANDELA, QuEra, QUIDX	本源量子, 国盾量子, 本源量子
		硅半导体: intel, Q, NIST, equal1, QUANTUM MOTION, EeroQ, C12, HITACHI, photonic	本源量子
中性原子: Atom Computing, ColdQuanta, PASQAL, IQM, Nanoscale, planqC	本源量子, 本源量子		
其他: Microsoft (拓扑), D-WAVE (量子退火), QUANTUM BRILLIANCE (NV色心)	BosonIQ (CIM), SPINQ (核磁)		
软件	HORIZON, b e, Quantagonia, CLASSIQ, QUANTASTICA, QUANTUM FLYTRAP, YRS, blueqat softwareQ, Q-CTRL, ENERCONICA LABS, QUBIT, parityQ, QuantControl, LightSaber, qubit, quantum, Quantum-Solov, PS, SAVANT, river lane IQBit, Quemix, Qu&Co, QuantFlow, QCWARE, HOOD CHEMISTRY, ProtonQure, QUANTUM, ZAPATA QCI, POLARIS, CogniFrame, inspirationQ, SUPRALIS, GUNDA, Qubit	本源量子, 百度, HUAWAI ARC LIGHT, 国盾量子, 本源量子 腾讯量子实验室, 京东探索研究院	
	云平台	IBM, AWS, XANADU, Rigetti, Quantum Inspire, QMware, QUANTINUUM, IONQ, IQEra, STRANGE WORKS, PASQAL	本源量子, 百度, HUAWAI, 国盾量子, ARC LIGHT, 本源量子, 中国移动
下游应用探索	JP Morgan, Booz Allen Hamilton, SAMSUNG, USB, BCC, accenture, AFORE, BARCLAYS, AIRBUS, DAIMLER, W, V, BMW, NAGASE, MS	建信金科, 光大科技有限公司, 本源量子, 中国移动, 中国民生银行	

资料来源：信通院，民生证券研究院

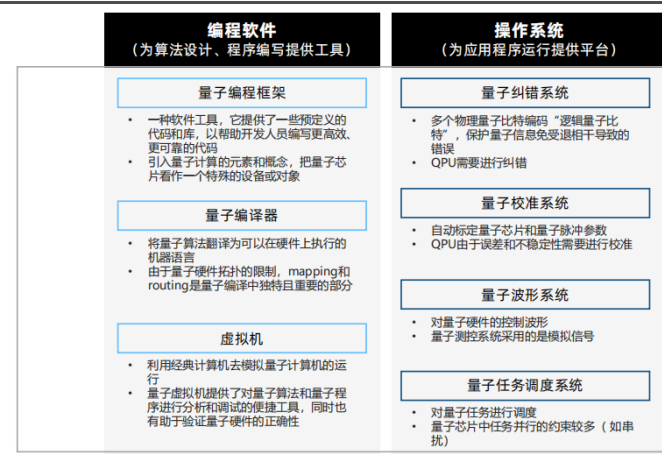
量子通信产业发展的核心是突破量子纠错突破平衡点，实现通用量子计算。据信通院、量子信息网络产业联盟，未来，通用量子计算发展的近期或中期重要目标主要有两个：一是提升量子硬件性能和纠错编码能力，实现量子逻辑比特操控；二是在 NISQ 样机平台，探索具有实际应用价值和量子加速优势的“杀手级”应用。其中，量子态的不可克隆性、相干性以及差错连续性等决定了量子纠错 (QEC) 与经典纠错有本质差异，量子比特当前产生的错误率比经典比特更高，错误类型也更加广泛；QEC 是通过使用多个物理比特编码一个逻辑比特，通过增加信息编码空间的冗余度，使受到环境噪声或退相干影响的量子态可以被识别和区分，并通过纠错操作恢复出原始量子态，使量子计算具备理论可行性的底层解决方案，也是支持大规模量子逻辑门操作，实现通用量子计算的必要环节。

图6：量子计算发展的重要里程碑



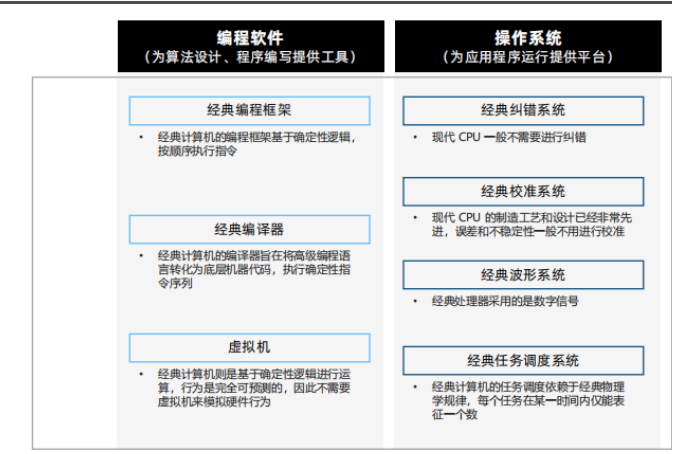
资料来源：量子信息网络产业联盟，民生证券研究院

图7：传统计算的编程与操作系统



资料来源：ICV，民生证券研究院

图8：量子的编程与操作系统



资料来源：ICV，民生证券研究院

1.3 量子计算机：多种技术路线并行

当前全球范围内针对量子计算机，已经形成超导、离子阱、光量子、中性原子、半导体量子等主要技术路线，以及以量子门数量、量子体积、量子比特数量等核心指标构成的性能评价体系，据信通院、ICV 数据：

1) 超导：基于超导约瑟夫森结构造扩展二能级系统，具有可扩展、易操控和集成电路工艺兼容等优势，超导量子计算处理器比特规模和保真度等指标逐年稳步提升，在纠缠态制备、拓扑物态模拟等科研实验方面取得诸多进展，是量子计算领域业界关注度最高的发展方向，代表厂商为 IBM，2023 年 IBM 发布了首款超过 1000 量子比特的量子计算处理器 Condor，其拥有 1121 量子比特；

2) 离子阱：利用电荷与磁场间所产生的交互作用力约束带电离子，通过激光或微波进行相干操控，具有比特天然全同、操控精度高和相干时间长等优点，离子阱路线未来发展需要突破比特规模扩展、高集成度测控和模块化互联等技术瓶颈，未来能否在量子计算技术路线竞争中占据优势仍有待进一步观察，代表厂商 Quantinuum 的相关产品量子体积指标达到 524288，成为业界最新纪录；

3) 光量子：利用可利用光子的偏振、相位等自由度进行量子比特编码，具有相干时间长、室温运行和测控相对简单等优点，可分为逻辑门型光量子计算和专用光量子计算两类，以玻色采样和相干伊辛等为代表的专用光量子计算近年来的研发成果较多，代表厂商中科大的“九章三号”成功构建了 255 个光子；

4) 中性原子：利用光镊或光晶格囚禁原子，激光激发原子里德堡态进行逻辑门操作或量子模拟演化，相干时间和操控精度等特性与离子阱路线相似，在规模化扩展方面更具优势，未来有望在量子模拟等方面率先突破应用，中性原子路线近年来在比特数目扩展和量子纠错等方面进展迅速，有望成为技术路线竞争中的后起之秀，代表尝试 Atom Computing 公司 2023 年发布 1225 原子阵列中性原子量子计算原型机，成为首个突破千位量子比特的系统；

5) 半导体（硅路线）：利用量子点中囚禁单电子或空穴构造量子比特，通过电脉冲实现对量子比特的驱动和耦合，具有制造和测控与集成电路工艺兼容等优势，代表厂商英特尔发布了一种在主流 CMOS 工艺技术上构建的具有 12 个量子比特的量子芯片 Tunnel Falls。它由 12 个量子点构建，可配置 4 至 12 个基于自旋的量子比特，其目的是让研究实验室用不同的拓扑结构来构建更大的系统，特别是测试量子比特的纠错方案，硅半导体路线虽然得到英特尔等传统半导体制造商支持，但由于同位素材料加工和介电层噪声影响等瓶颈限制，比特数量和操控精度等指标提升缓慢。

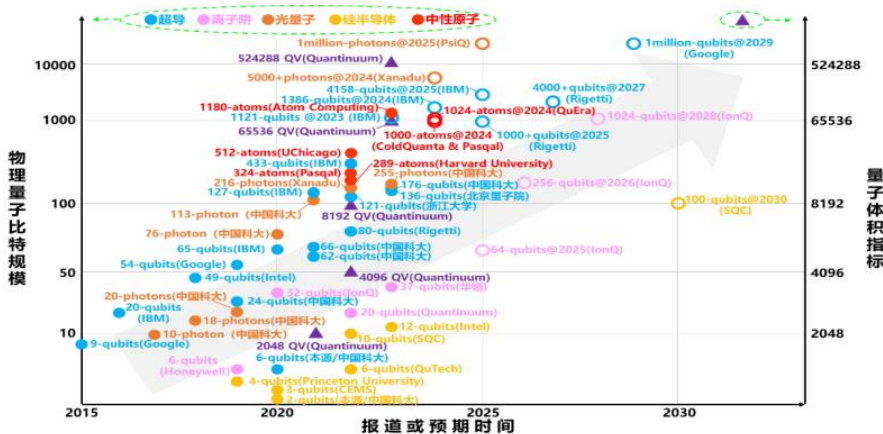
图9：量子计算发展阶段及其硬件趋势图（单位：量子比特数量）



资料来源：ICV，民生证券研究院

量子计算技术持续突破，比特数与量子体积指标持续提升。据信通院，超导路线在量子比特数量、逻辑门保真度等指标方面表现较为均衡；离子阱路线在逻辑门保真度和相干时间方面优势明显，但比特数量和门操作速度方面瓶颈也同样突出；光量子路线目前在比特数量、逻辑门保真度和相干时间等指标方面均未展现出明显优势；中性原子近年来在比特数量规模、门保真度和相干时间等指标方面提升迅速。

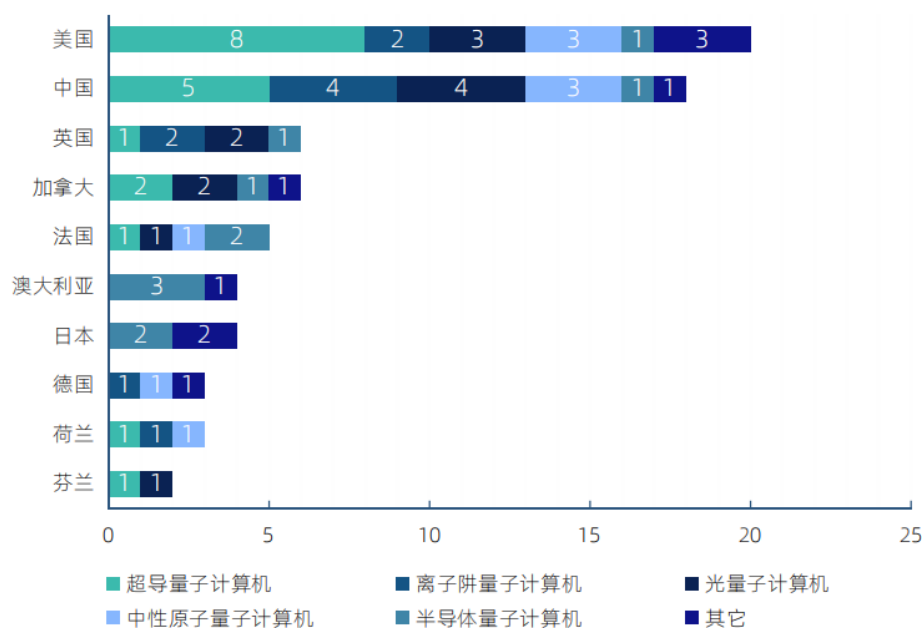
图10：量子计算比特数和量子体积指标发展趋势



资料来源：信通院，民生证券研究院

中美领跑全球量子计算机军备竞赛。据 ICV，中美是中游整机公司最多且类型分布最广的国家，都涵盖了超导、离子阱、光子、中性原子等物理平台，其中美国的代表性企业有 IBM、谷歌、微软、亚马逊、英特尔、Rigetti、IonQ、Xanadu 等，中国的代表产品包括“祖冲之”系列、“悟空”系列、“九章”系列等。

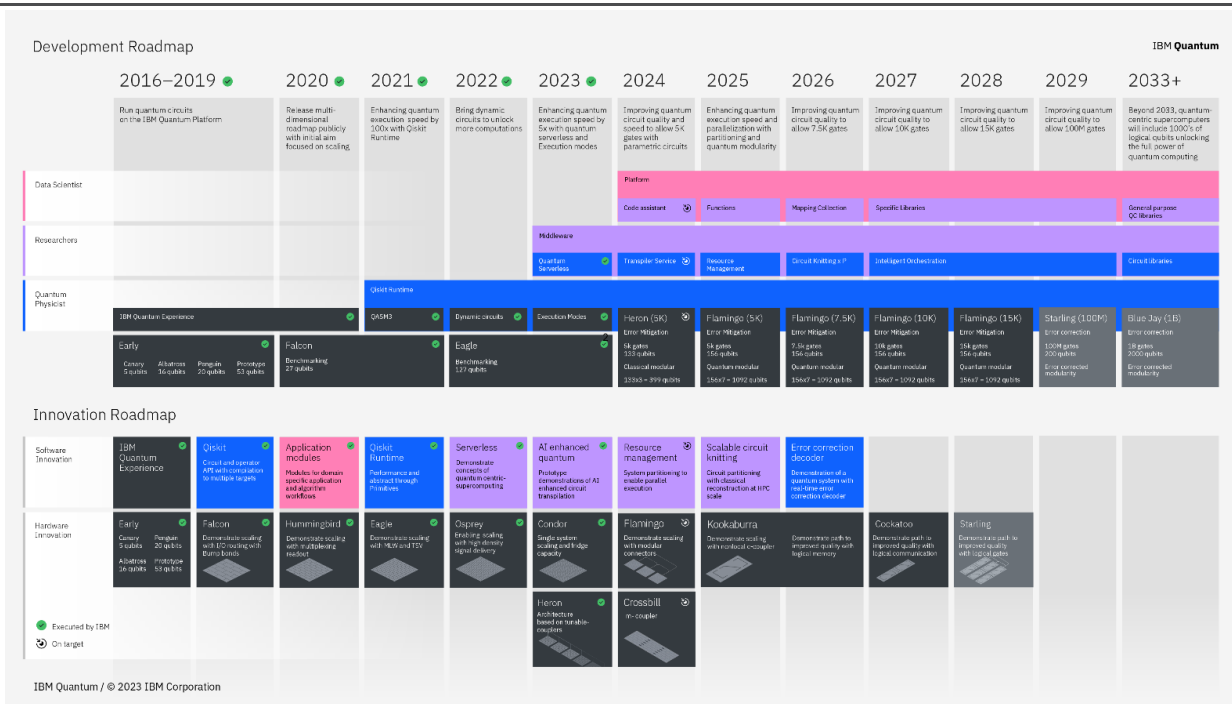
图11：2023 全球各主要科技国整机硬件企业各技术路线分布情况



资料来源：ICV，民生证券研究院

IBM 定义量子计算摩尔定律，2033 年有望生产 1000 个量子比特的超级计算机。IBM 量子计算机采用超导量子路线，认为每年量子计算机的量子体积增加一倍，并发布 2023 年度量子计算路线图，据量子客微信公众号，在路线图上，使用多芯片链接在量子处理器之间建立通信，四年内的错误缓解 Flamingo 处理器将从 2025 年的 5,000 个门增长到 2028 年的 15,000 个门。模拟并验证了为二维最近邻量子比特阵列量身定制的独特纠错协议；到 2026 年，Kookaburra 处理器中的逻辑内存和操作证明大规模噪声抑制是可能的；从 2028 年开始，这种噪声抑制与 Starling 处理器开始稳定增加的电路深度和量子比特计数相结合，可产生超出经典验证所能达到的纠错准确输出；到 2033 年以后，以量子为中心的超级计算机将包含 1000 个逻辑量子比特，从而释放量子计算的全部能力，即真正实现大规模商用量子计算机；在此过程中，IBM 为其正在研究的每个主要组件提供了年度目标。新的纠错码和系统模块化以及互连的构建块将使数百万个量子比特能够提供相同的整体性能，纠错码呈现为数十万个量子比特，并与 IBM 正在创新的新耦合器互连。

图12: IBM 量子计算路线图



资料来源: IBM, 民生证券研究院

微软将未来量子计算分为基础、弹性和规模三个级别。微软的量子计算机基于较为冷门的量子拓扑技术，在基础阶段通过 Azure Quantum 将主流量子计算机引入云，包括 IonQ、Pasqal、Quantinuum、QCI 和 Rigetti；在弹性阶段，从嘈杂的物理量子比特过渡到可靠的逻辑量子比特，增加每个逻辑量子比特的物理量子比特数，使物理量子比特更稳定，或者两者兼而有之；在规模阶段，设计出一台规模化的、可编程的量子超级计算机，这样的量子超级计算机至少需要 100 万个每秒可靠的量子操作数 (rQOPS)。

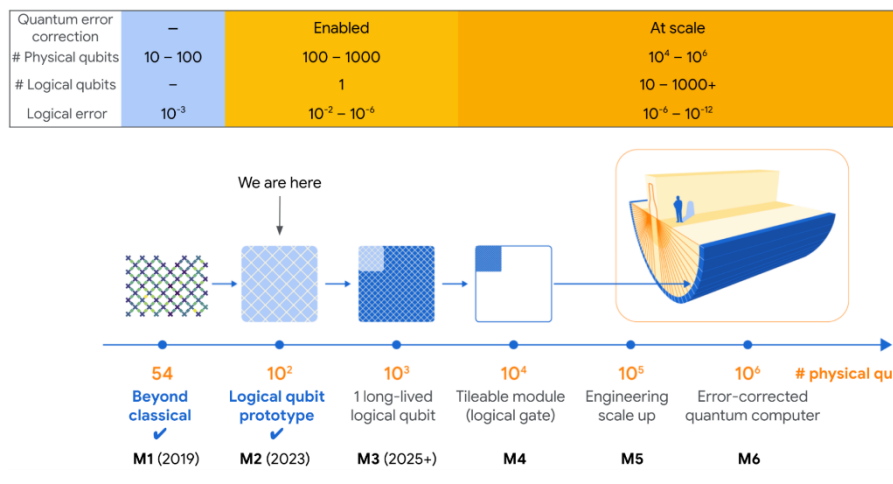
图13: 微软量子计算路线图



资料来源: 微软官网, 民生证券研究院

谷歌量子计算路线图瞄准百万物理量子比特最终目标。谷歌量子计算机采用超导路线，公司于 2023 年在顶级学术期刊《Nature》发表论文《Suppressing quantum errors by scaling a surface code logical qubit》宣布其成功达到第二里程碑，即 100 个物理量子比特。未来，公司预计将构建容错量子计算机，并有望在 2025 年达到 1000 个物理比特的第三里程碑。

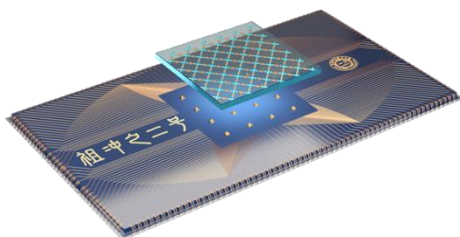
图14：谷歌量子计算路线图



资料来源：谷歌官网，民生证券研究院

“祖冲之” 176 比特量子计算云平台面向全球开放。“祖冲之二号” 量子计算机采用超导技术路线，据新华网，潘建伟团队采用全新的倒装焊 3D 封装工艺，解决了大规模比特集成问题，成功研制出“祖冲之二号”。根据目前已公开的最优经典算法，“祖冲之二号”对“量子随机线路取样”问题的处理速度，比目前全球最快的超级计算机快 1000 万倍以上。2023 年 5 月 31 日，“祖冲之二号”量子计算云平台面向全球开放，该平台在 66 比特的芯片基础上做出提升，新增了 110 个耦合比特的控制接口，使得用户可操纵的量子比特数达到 176 比特。除了比特规模，在涉及量子计算机性能的连通性、保真度、相干时间等关键指标上，“祖冲之号”云平台接入的新一代量子计算机的设计指标也瞄准国际先进水平。

图15：“祖冲之二号”量子处理器图



资料来源：中国科学报，民生证券研究院

图16：“祖冲之二号”超导量子计算机



资料来源：新华网，民生证券研究院

“本源悟空”搭载 72 位自主超导量子芯片“悟空芯”，是目前中国最先进的可编程、可交付超导量子计算机。据科学网，“本源悟空”采用超导技术路线，搭载的 72 位超导量子芯片“悟空芯”在中国首条量子芯片生产线上制造，共有 198 个量子比特，其中包含 72 个工作量子比特和 126 个耦合器量子比特；本源量子拥有中国首条量子芯片生产线、中国首款量子计算机操作系统、中国首个量子计算测控系统；本源量子计算专利数排名中国第一、全球第六。

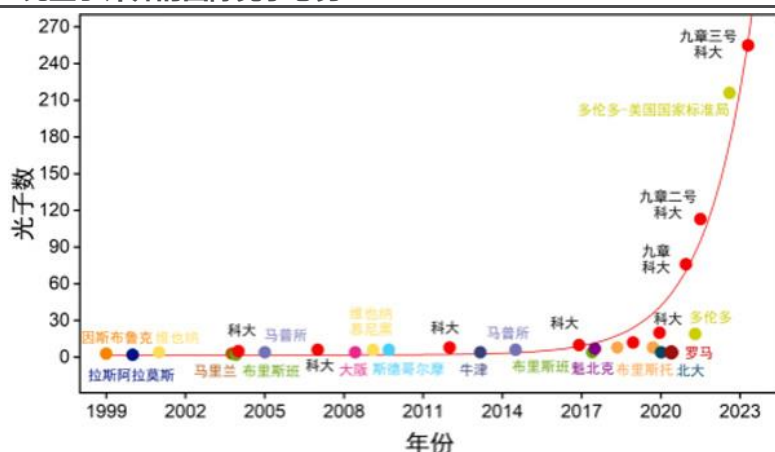
图17：中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”



资料来源：科学网，民生证券研究院

“九章三号”拥有 255 个光子，处于国际领先地位。“九章三号”采用光量子路线，据中科大新闻网，中国科大团队在理论上首次发展了包含光子全同性的新理论模型，实现了更精确的理论与实验的吻合；同时，发展了完备的贝叶斯验证和关联函数验证，全面排除了所有已知的经典仿冒算法，为量子计算优越性提供了进一步数据支撑。在技术上，研制了基于光纤时间延迟环的超导纳米线探测器，把多光子态分束到不同空间模式并通过延时把空间转化为时间，实现了准光子数可分辨的探测系统。这一系列创新使得研究团队首次实现了对 255 个光子的操纵能力，极大提升了光量子计算的复杂度，处理高斯玻色取样的速度比“九章二号”提升了一百万倍。

图18：光量子计算的国际竞争态势

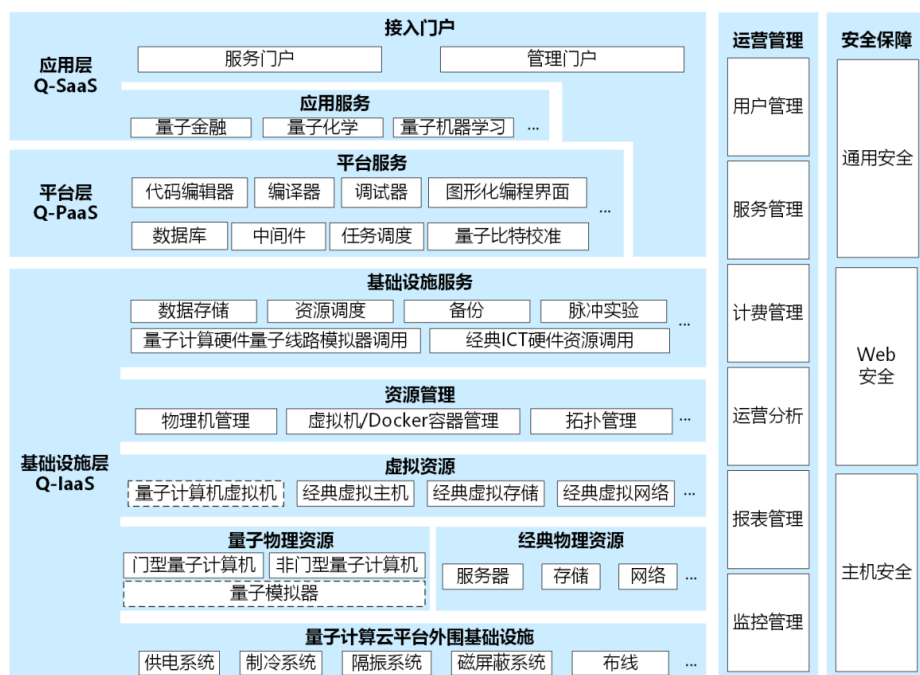


资料来源：中科大新闻网，民生证券研究院

1.4 量子云计算平台：定义云计算 Q-XaaS 新范式

量子计算云平台将量子计算机硬件或量子计算模拟器与经典云计算软件工具、通信设备及 IT 基础设施相结合，为用户提供直观化及实例化的量子计算接入访问与算力服务。据量子信息网络产业联盟，Q-IaaS 将量子计算机的硬件及配套设施作为服务在量子计算云平台上提供给用户。用户可以调用云平台上的硬件（包括量子计算机、量子计算模拟器、经典服务器、存储器等）而无需对其进行维护，实现低成本的底层开发和科学研究等活动。Q-PaaS 将量子计算相关基础设施和中间件组成的开发平台作为服务在量子计算云平台上提供给用户。用户可以基于量子计算软件开发平台开发量子编程框架和量子算法库，并通过云端服务器连接到不同公司的量子计算硬件进行计算。支持单一平台开发或跨平台兼容开量子计算云平台功能模型、体系架构与能力分级研究报告发。可支持经典-量子混合计算，并自动分配经典计算资源和量子计算资源。Q-SaaS 根据特定行业应用场景和应用需求将打包好的应用服务方案作为服务在量子计算云平台上提供给用户。

图19：量子计算云平台功能框架图



资料来源：量子信息网络产业联盟，民生证券研究院

此外，据 ICV，量子计算领域有望带来其他增量需求：1) 量子比特环境：重点是满足大空间、高冷量以及满足分布式量子计算的稀释制冷机；2) 量子测控系统：强化学习促进超导测控系统软硬件协同，硅氮化物、硅光集成加速光学测控系统器件研发进程；3) 其他需求：如硅锗量子材料，晶圆级集成工艺等。

1.5 软件：量子算法与软件体系逐渐成熟

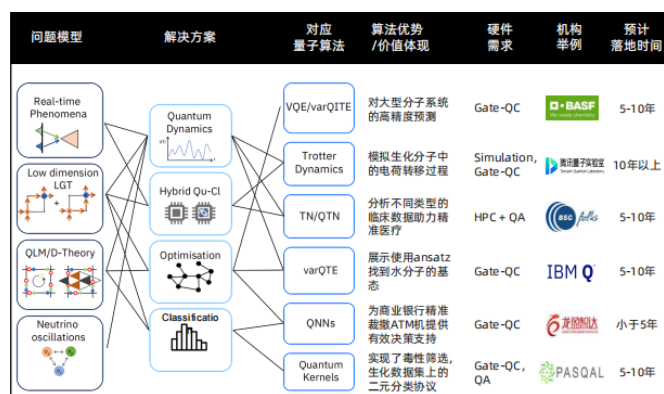
量子算法不断发展中，在当前硬件条件下，重点是综合考虑 NISQ 算法的容错代价与算法性能之间的平衡。据 ICV，相比经典计算，量子计算在每一步的执行时间上较慢，增加了容错的代价。量子计算算法设计的发展大方向可以是：

第一，针对不同的量子计算硬件平台和技术路线，设计出更适合的量子计算算法，以提高量子计算的效率和可靠性。例如，针对超导量子计算、光子量子计算、离子阱量子计算、硅基量子计算等不同的物理实现方式，设计出更优化的量子逻辑门、量子纠错码、量子编译器等；

第二，针对不同的应用领域和问题，设计出更通用和更高效的量子计算算法，以扩大量子计算的应用范围和影响力。例如，针对优化问题、机器学习问题、密码学问题、模拟问题等不同的问题类型，设计出更具有量子优势的量子算法，或与经典算法结合，形成更强大的混合算法。

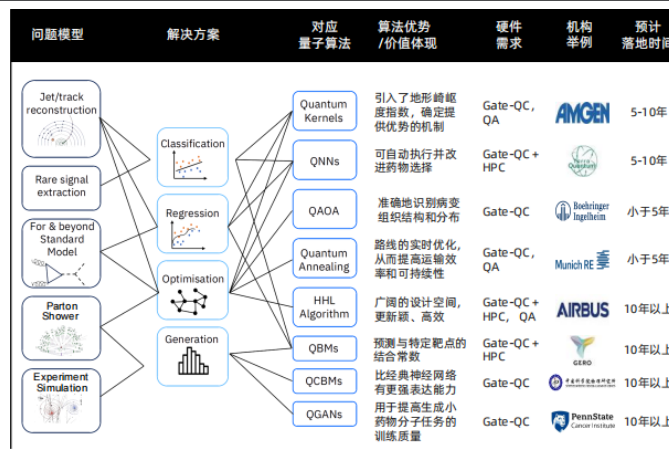
第三，针对不同的量子计算资源和条件，设计出更灵活和更鲁棒的量子计算算法，以适应量子计算的实际情况和需求。例如，针对有限的量子比特数、有限的量子相干时间、有限的量子通信带宽等不同的资源限制，设计出更节省资源的量子算法，或者利用量子压缩、量子随机存取等技术，提高量子资源的利用率。

图20：重点量子算法实例



资料来源：ICV，民生证券研究院

图21：重点量子算法实例



资料来源：ICV，民生证券研究院

量子计算软件体系处于开放研发和生态建设早期阶段。据信通院，量子计算软件是连接用户与硬件的关键纽带，在编译运行和应用开发等方面需要根据量子计算原理特性进行全新设计，提供面向不同技术路线的底层编译工具，具备逻辑抽象工程的量子中间表示和指令集，以及支撑不同计算问题的应用软件，具体来说：

1) **应用开发软件**：是为开发者提供创建和操作量子程序的工具集、开发组件以及算法库，未来需要进一步增加应用场景、计算问题和算法开发的支持能力，以

及与不同硬件系统软硬件协同适配性；

2) **编译软件**：是用于明确量子编程边界并确保程序编译正确执行，并提供完善且体系化的语法规则用于协调和约束量子操作与经典操作，IBM、微软、谷歌等国外巨头以及华为、百度、本源量子、中科院等都已经发布相关产品；

3) **EDA**：主要用于实现量子芯片的自动化设计、参数标定与优化、封装设计等功能，未来，量子计算芯片 EDA 软件需要在芯片性能验证、设计自主程度、设计效率等方面持续研究和完善。

图22：量子计算软件体系



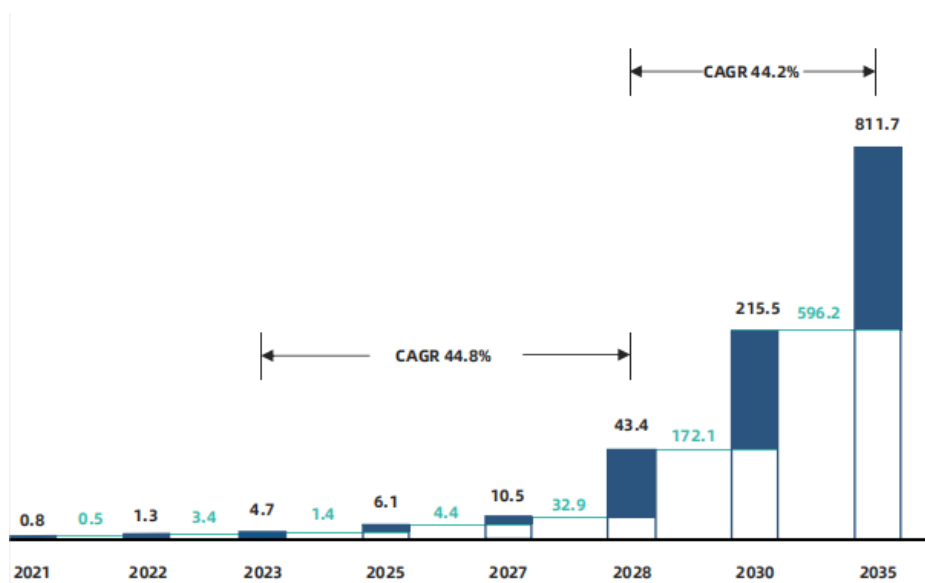
资料来源：信通院，民生证券研究院

2 量子计算有望赋能千行百业

2.1 量子计算有望开启 8000 亿美元蓝海市场

2023 年全球量子计算市场规模约 47 亿美元，预计 2035 年有望超过 8000 亿美元。据 ICV，随着量子计算技术的不断演进，以及 AI 技术等领域的快速发展，量子计算的应用边界被不断拓展，2023 年，全球量子产业规模达到 47 亿美元，2023 至 2028 年的年平均增长率 (CAGR) 达到 44.8%；2027 年专用量子计算机预计将实现性能突破，带动整体市场规模达到 105.4 亿美元，参考 IBM 2023 年量子计算路线图，2028 年量子门数量、以及纠错等计算技术将达到较为成熟阶段，在 2028 年至 2035 年，市场规模将继续迅速扩大，受益于通用量子计算机的技术进步和专用量子计算机在特定领域的广泛应用，到 2035 年总市场规模有望达到 8117 亿美元。

图23：全球量子计算产业规模 (2021~2035) (单位：十亿美元)



资料来源：ICV，民生证券研究院

据信通院等，金融、化工、生命科学领域有望更加受益量子计算产业发展：

1) **金融领域**：量子计算应用有望在优化预测分析、精准定价和资产配置等问题中产生优势。案例包括 2023 年法国 CIB、Pasqal 和 Multiverse 联合发布量子计算金融应用解决方案的验证结果，减少金融衍生品估值计算所耗算力资源，提升评估速度与准确性等；

2) **化工领域**：量子计算应用探索主要通过模拟化学反应，达到提高效率、降

低资源消耗等目的。案例包括 2023 年德国尤利希中心利用量子计算提升寻找蛋白质最低能量结构的成功率，牛津大学实现基于网格的量子计算化学模拟，探索基态准备、能量估计到散射和电离动力学等方面能力等；

3) 生命科学：量子计算可以用于评估药物研发的成本、时间、性能等实验值。

案例包括 AWS 制药解决方案，通过针对某些药物研发问题的内置示例代码，例如分子对接、蛋白质折叠、RNA 折叠和逆合成规划，进行量子计算完成任务；

4) 密码学：使用量子机密对安全数据进行加密和传输的各种网络安全方法。

但它有可能比以前的加密算法类型安全得多，甚至在理论上是不可破解的；

5) 交通物流：量子计算应用主要聚焦组合优化问题，以更优方案实现路线规划

和物流装配，提升效率降低成本。案例包括 2023 年，Terra Quantum 和泰雷兹公司使用混合量子计算验证加强卫星任务规划过程并改善卫星运行效率，英伟达、罗尔斯-罗伊斯和 Classiq 将量子计算用于提升喷气发动机的工作效率；

表1：量子计算应用场景分析

行业领域	关键环节	问题原型	应用时间 (加号代表影响力)			产业估值 (亿美元)		
			3-5 年	5-10 年	10 年以上	保守估值	乐观估值	
金融	金融服务	组合优化	++	++	+++	3940	7000	
		人工智能						
能源与材料	传统能源	量子模拟	+	++	++	100	200	
	可持续能源	组合优化	+	++	+++	100	300	
		化工	人工智能	++	++	+++	1230	3240
		量子模拟						
生命科学	制药	组合优化	++	++	+++	740	1830	
		人工智能						
先进工业	汽车	人工智能						
		量子模拟	++	++	+++	290	630	
	航空航天与国防	组合优化						
		量子模拟	+	++	+++	300	700	
电信传媒	电子产品	组合优化						
		量子模拟	+	++	++	100	200	
	半导体	组合优化						
		量子模拟						
出行、运输、物流	物流	量子模拟						
		组合优化	+	++	++	500	1000	
		人工智能						
		因式分解						

资料来源：信通院，民生证券研究院整理

3 投资建议

量子计算有望颠覆经典计算架构，成为解决AI算力瓶颈的颠覆性力量，或成为发展新质生产力的重要抓手，建议关注国盾量子、科大国创、神州信息、科华数据、中国长城、光迅科技等量子计算相关标的，以及电科网安、吉大正元、格尔软件、国芯科技、浙江东方、亨通光电等量子加密通信标的。

4 风险提示

1) **量子计算技术发展不及预期。**当前量子计算技术仍处于起步阶段，技术路线较为复杂，无法判断量子计算的不同技术路线落地的确定性，若相关公司选择错误技术路线或面临产品竞争力下滑，进而对业绩产生不良影响。

2) **行业竞争加剧。**量子计算或有较大蓝海市场，具备较强吸引力，若行业竞争加剧，或对相关公司利润率水平造成不良影响。

插图目录

图 1: 经典比特与量子比特对比.....	3
图 2: 量子计算与经典计算体系对比.....	4
图 3: 经典计算机与量子计算机运算能力对比.....	4
图 4: 全球量子计算发展历程.....	5
图 5: 量子计算产业生态与国内外代表性企业概况.....	6
图 6: 量子计算发展的重要里程碑.....	7
图 7: 传统计算的编程与操作系统.....	7
图 8: 量子的编程与操作系统.....	7
图 9: 量子计算发展阶段及其硬件趋势图 (单位: 量子比特数量).....	9
图 10: 量子计算比特数和量子体积指标发展趋势.....	9
图 11: 2023 全球各主要科技国整机硬件企业各技术路线分布情况.....	10
图 12: IBM 量子计算路线图.....	11
图 13: 微软量子计算路线图.....	11
图 14: 谷歌量子计算路线图.....	12
图 15: “祖冲之二号”量子处理器图.....	12
图 16: “祖冲之二号”超导量子计算机.....	12
图 17: 中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”.....	13
图 18: 光量子计算的国际竞争态势.....	13
图 19: 量子计算云平台功能框架图.....	14
图 20: 重点量子算法实例.....	15
图 21: 重点量子算法实例.....	15
图 22: 量子计算软件体系.....	16
图 23: 全球量子计算产业规模 (2021~2035) (单位: 十亿美元).....	17

表格目录

表 1: 量子计算应用场景分析.....	18
----------------------	----

分析师承诺

本报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并登记为注册分析师，基于认真审慎的工作态度、专业严谨的研究方法与分析逻辑得出研究结论，独立、客观地出具本报告，并对本报告的内容和观点负责。本报告清晰地反映了研究人员的研究观点，结论不受任何第三方的授意、影响，研究人员不曾因、不因、也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接收到任何形式的补偿。

评级说明

投资建议评级标准		评级	说明
以报告发布日后的 12 个月内公司股价（或行业指数）相对同期基准指数的涨跌幅为基准。其中：A 股以沪深 300 指数为基准；新三板以三板成指或三板做市指数为基准；港股以恒生指数为基准；美股以纳斯达克综合指数或标普 500 指数为基准。	公司评级	推荐	相对基准指数涨幅 15%以上
		谨慎推荐	相对基准指数涨幅 5% ~ 15%之间
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上
	行业评级	推荐	相对基准指数涨幅 5%以上
		中性	相对基准指数涨幅-5% ~ 5%之间
		回避	相对基准指数跌幅 5%以上

免责声明

民生证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证监会许可的证券投资咨询业务资格。

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑个别客户的特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代个人的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

本报告是基于已公开信息撰写，但本公司不保证该等信息的准确性或完整性。本报告所载的资料、意见及预测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，且预测方法及结果存在一定程度局限性。在不同时期，本公司可发出与本报告所刊载的意见、预测不一致的报告，但本公司没有义务和责任及时更新本报告所涉及的内容并通知客户。

在法律允许的情况下，本公司及其附属机构可能持有报告中提及的公司所发行证券的头寸并进行交易，也可能为这些公司提供或正在争取提供投资银行、财务顾问、咨询服务等相关服务，本公司的员工可能担任本报告所提及的公司的董事。客户应充分考虑可能存在的利益冲突，勿将本报告作为投资决策的唯一参考依据。

若本公司以外的金融机构发送本报告，则由该金融机构独自为此发送行为负责。该机构的客户应联系该机构以交易本报告提及的证券或要求获悉更详细的信息。本报告不构成本公司向发送本报告金融机构之客户提供的投资建议。本公司不会因任何机构或个人从其他机构获得本报告而将其视为本公司客户。

本报告的版权仅归本公司所有，未经书面许可，任何机构或个人不得以任何形式、任何目的进行翻版、转载、发表、篡改或引用。所有在本报告中使用的商标、服务标识及标记，除非另有说明，均为本公司的商标、服务标识及标记。本公司版权所有并保留一切权利。

民生证券研究院：

上海：上海市浦东新区浦明路 8 号财富金融广场 1 幢 5F； 200120

北京：北京市东城区建国门内大街 28 号民生金融中心 A 座 18 层； 100005

深圳：广东省深圳市福田区益田路 6001 号太平金融大厦 32 层 05 单元； 518026