

量子计算：开启后摩尔时代的计算新纪元

华泰研究

2024 年 4 月 17 日 | 中国内地

专题研究

电子

增持（维持）

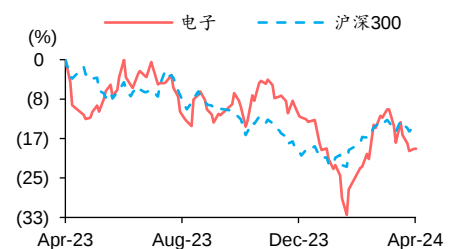
研究员 **黄乐平, PhD**
 SAC No. S0570521050001 leping.huang@htsc.com
 SFC No. AUZ066 +(852) 3658 6000

研究员 **张皓怡**
 SAC No. S0570522020001 zhanghaoyi@htsc.com
 +(86) 21 2897 2228

研究员 **陈钰**
 SAC No. S0570523120001 chenyu019111@htsc.com
 +(86) 21 2897 2228

联系人 **林文富**
 SAC No. S0570123070167 linwenfu@htsc.com
 +(86) 21 2897 2228

行业走势图



资料来源：，华泰研究

量子计算：有望成为后摩尔时代计算能力跨越式发展的重要方案

在摩尔定律的前提下，以硅基为基础的集成电路技术演进已接近物理极限，我们认为量子计算有望成为后摩尔时代计算能力跨越式发展的重要方案之一。量子计算是以量子比特为基本单元，可在某些计算困难问题上提供指数级加速。目前国际学术界普遍认为未来 5-10 年有望陆续实现量子计算的商用落地。随着 2023 年 12 月 IBM 超导量子芯片 Condor 的推出，量子计算已实现 1000+ 量子比特突破。根据 ICV 预计，2027 年后量子计算行业进入高速增长期，2030 年全球有望实现千亿美元规模。国内量子产业相关公司主要包括：国盾量子、本源量子、国仪量子等。

量子计算进展如何：行业雏形逐步显现，海外科技龙头抢先布局

目前该市场仍处于早期探索阶段，海外主要以 IBM、Google、英伟达等大厂为首，同时也诞生出 IONQ、Rigetti、D-Wave 等通过 SPAC 收购方式上市的初创公司。国内量子创业公司技术主要源起高校实验室，代表企业包括：国盾量子、本源量子、国仪量子等。我们目前看到量子计算发展有三大趋势：1) 从技术架构上看，混合量子计算或量超融合或成为未来新趋势。2) 从竞争格局上看，目前布局超导技术与离子阱技术的 IBM、Google、IONQ、Rigetti、Quantinuum 处于行业领先地位，此外布局量子计算系统的 NVIDIA 也推出了 CUDA Quantum。3) 行业尚处于早期，但量子计算公司及科研院在积极探索自身商业模式，包括提供量子计算芯片/整机、提供行业的量子解决方案及开发云平台服务。

量子计算需要投入多少：到 2027 年全球或至少需要累计投入 164 亿美元

从行业发展来看，根据 ICV 预测，NISQ 时代整个行业（到 2027 年以前）至少需要在量子计算领域累计投入 164 亿美元，漫长的技术突破期与不良的现金流情况将对量子计算行业构成挑战。而一台 400 比特的量子计算机的研发投入还包括硬件软件、算法开发、维护和运营成本等，根据我们测算大概需要 1545 万美元，按照 70% 毛利率计算对应售价 5150 万美元，其中硬件组件中，稀释制冷剂和微波控制器是超导或硅量子比特技术计算机的核心设备。此外，量子云平台也有望成为量子计算算力输出的主要形式，采用者的选择正从 Q-SaaS 向 Q-PaaS 和 Q-IaaS 转变，参与者包括 IBM、谷歌、亚马逊等公司。

量子计算应用发展到哪里：化工、金融和制药有望率先落地

量子计算擅长解决大分子模拟、寻找大数质因数等经典计算无法涉足的领域，应用探索集中在量子模拟、量子组合优化和量子线性代数三大方向，目前主要应用于化工、金融、制药等产业。1) 量子计算在化学合成、材料设计、能源开发等方面前景广阔，能够助力化工行业研发加速及降本增效。2) 金融领域将革新投资组合优化、量化交易、模拟定价、风险预测及欺诈侦测等能力。3) 制药领域可赋能靶点识别、分子设计、临床试验全环节，提升效率和精准性。以 NISQ 样机为基础的实用化应用场景探索成为业界核心研究方向。ICV 预计大约从 2025 年起，量子计算开始释放行业应用价值。

风险提示：量子技术发展不及预期，行业竞争加剧，下游场景难以落地。

并购家 免费行业报告网

IPOIPO.CN 每日更新 不用注册会员 无广告 永久免费

正文目录

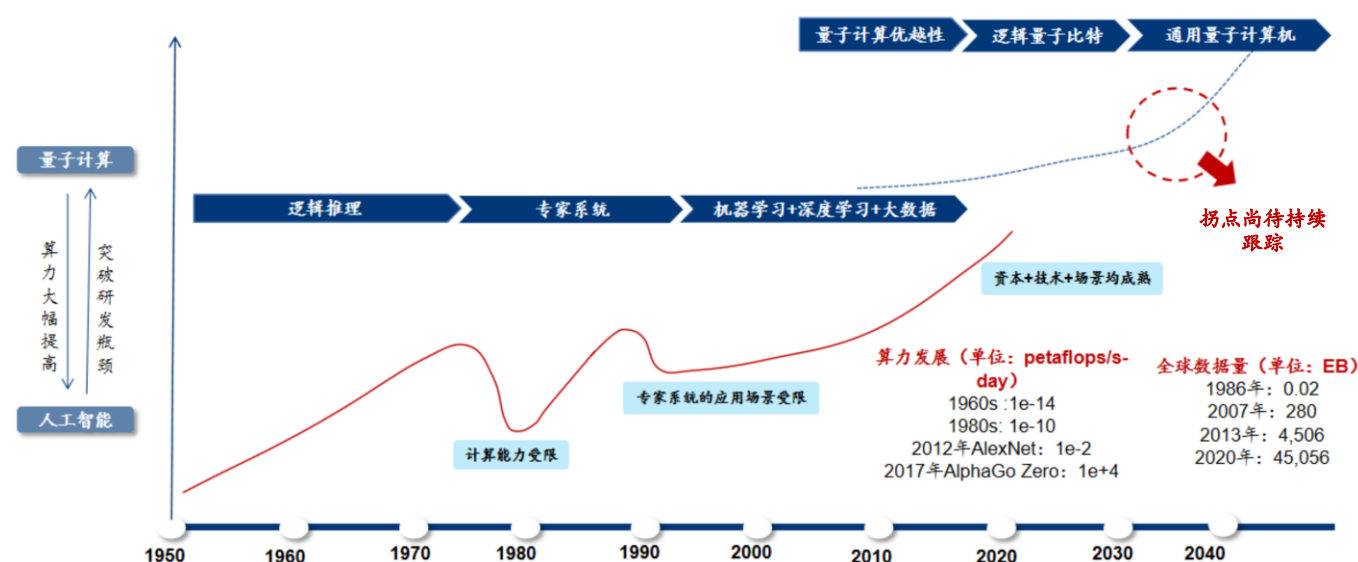
什么是量子计算	3
量子计算进展如何	6
技术路线：超导、离子阱技术处于领先地位，中性原子技术异军突起	6
量子计算需要投入多少	8
行业发展需要投入多少？	8
量子计算机单机成本是多少？	9
量子计算产业分析与规模预测：2030 年全球有望突破千亿美元规模	11
量子计算未来发展趋势：混合量子计算或量超融合或成为未来新趋势	12
量子计算玩家进展：海内外多方玩家积极布局，百舸争流加速技术变革	13
量子应用发展到哪里	16
化工：量子计算助力化工材料研发加速及行业降本增效	16
金融：量子计算将革新投资组合优化、模拟定价、欺诈侦测等多种能力	17
制药：量子计算赋能制药各个环节，更高效且精准	17
软件、算法和云服务发展到哪里	19
量子软件	19
量子算法	19
量子云平台	20
附录：量子计算相关公司进展	23
IBM (IBM US)	23
Google (GOOGL US)	24
IONQ (IONQ US)	24
Atom Computing (未上市)	25
Intel (INTL US)	25
Rigetti (RGTI US)	26
NVIDIA (NVDA US)	27
D-wave (QBTS US)	28
Quantinuum (霍尼韦尔 & 剑桥量子) (未上市)	28
本源量子 (未上市)	29
国盾量子 (688027 CH)	29
国仪量子 (未上市)	30
风险提示	30

什么是量子计算

为什么要关注量子计算：量子计算有望成为后摩尔时代计算能力跨越式发展的重要方案，**2030 年全球有望实现千亿美元规模。**我们认为量子计算发展的必要性主要考虑满足算力持续提升的需求。以机器学习、深度学习、大数据等为代表的新兴技术的快速崛起，对低功耗、小尺寸、异质整合及超高运算速度的芯片架构技术提出了更高的要求，在摩尔定律的前提下，以硅基为基础的集成电路技术演进已接近物理极限，我们认为量子计算有望成为后摩尔时代计算能力跨越式发展的重要方案之一。

目前国际学术界普遍认为未来 5-10 年有望陆续实现量子计算的商用落地。随着 2023 年 12 月 IBM 超导量子芯片 Condor 的推出，量子计算已实现 1000+量子比特突破。根据 ICV 预计，2027 年后量子计算行业进入高速增长期，2030 年全球有望实现千亿美元规模。至于具体临界点，尚待持续跟踪。但较为确定的是量子计算有望助力人工智能实现算力大幅提高。在持续的探索下，国内外量子计算相关公司的商业模式已初见雏形，并有望成为量子计算时代的算力送水人。我们建议当前关注量子计算芯片公司以及其他量子计算机核心部件生产商，相关公司包括：海外企业 IBM、Google、IONQ、Rigetti、D-Wave 等，国内企业国盾量子、本源量子、国仪量子等。

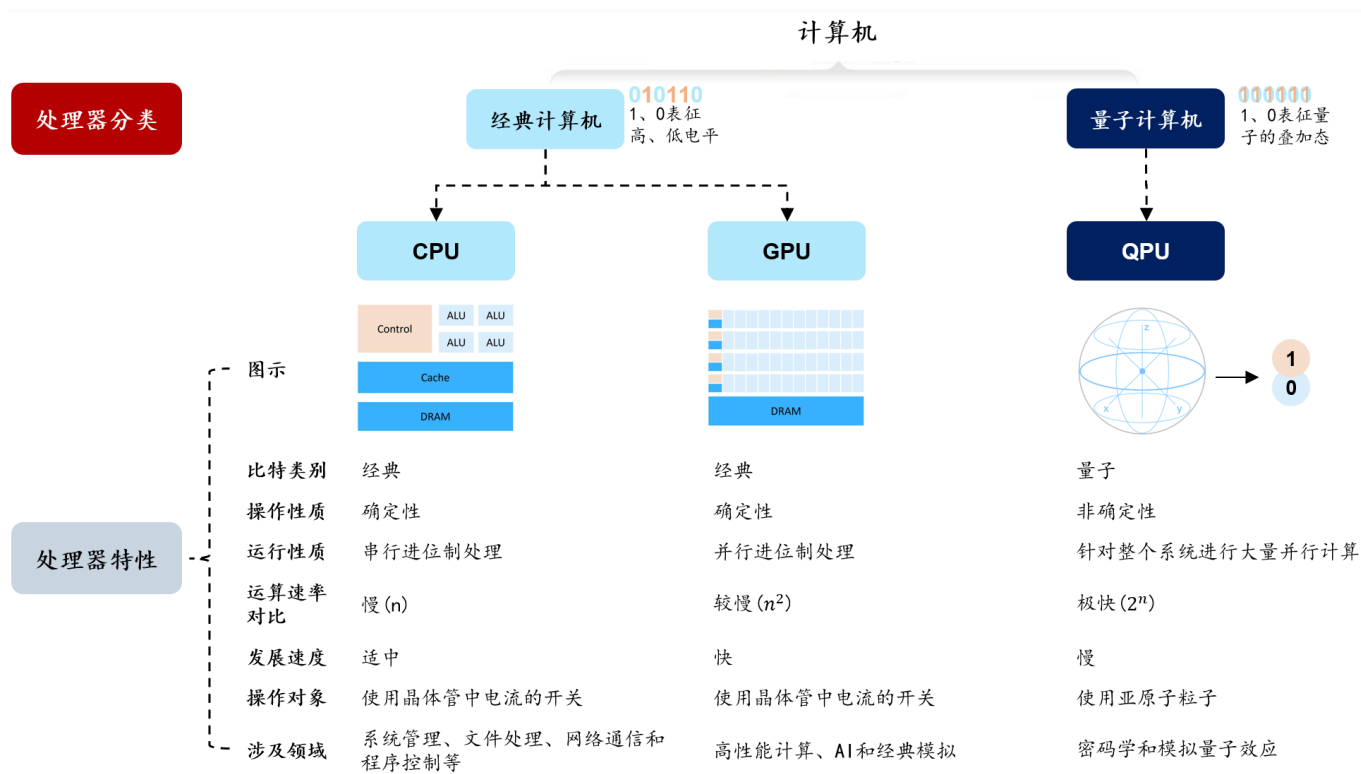
图表1：量子计算和人工智能的发展历程示意图



资料来源：清华大学 AMiner、CSDN、华泰研究

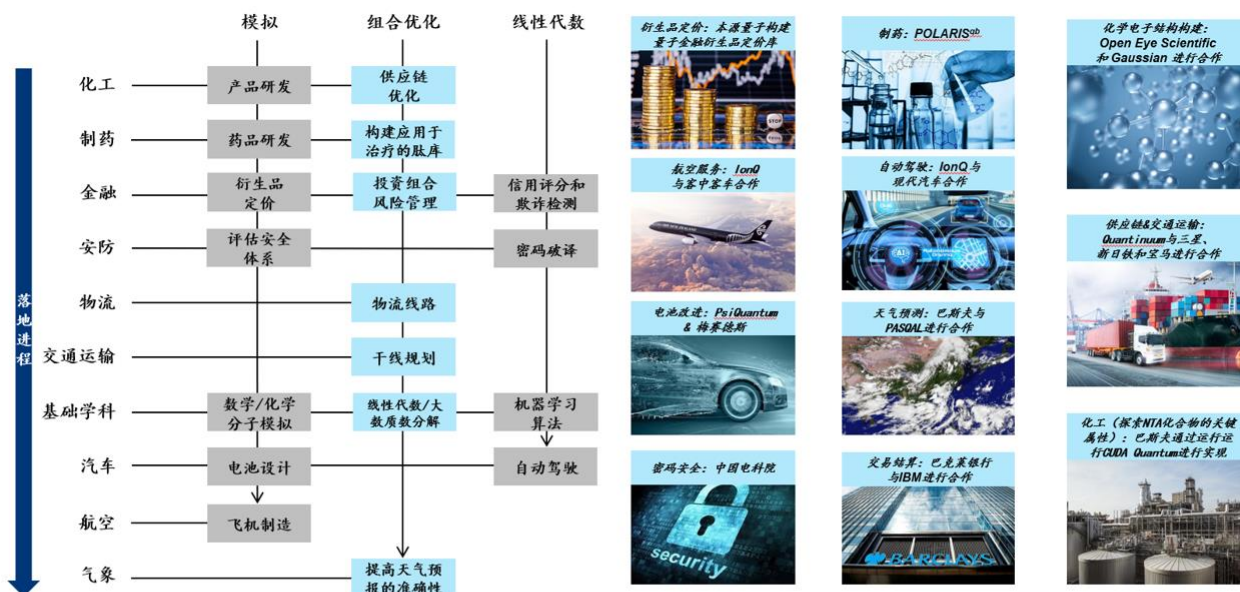
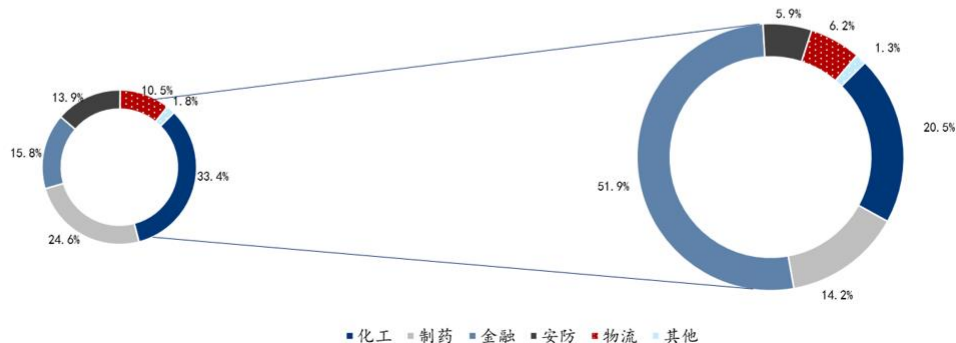
量子计算本质原理：量子计算机实现并行计算指数级加速，形成量子优越性。量子计算是遵循量子力学规律进行信息处理的新型计算范式，以量子比特为基本单元，利用量子叠加和干涉等原理实现并行计算，能在某些计算困难问题上提供指数级加速，是未来算力跨越式发展的重要方向之一。量子计算机相比于经典计算机在算力增长上具有显著的“量子优越性”，具体而言，基于量子力学的叠加原理，一个量子比特可以同时处于 0 和 1 两种状态的相干叠加，使得 QPU 可以同时实现对 2^n 个叠加的数进行并行运算，而 CPU 和 GPU 仅能分别实现对 n 和 n^2 的数进行计算。例如，用每秒运算万亿次的经典计算机分解一个 300 位的大数，需要 10 万年以上；而利用同样运算速率、执行 Shor 算法（快速质因数分解量子算法）的量子计算机，则只需要 1 秒。以 2023 年 10 月构建的光量子计算机（255 个光子）“九章三号”为例，其在求解高斯玻色取样数学问题比目前全球最快的超级计算机快一亿亿倍。QPU 的性能通常用所包含的量子比特表示，目前企业和学术界正在使用各种技术制造 QPU 内的量子比特。

图表2：CPU、GPU、QPU 概念对比图



资料来源：英伟达官网，华泰研究

量子计算可解决的问题：量子计算擅长解决大分子模拟、寻找大数质因数等经典计算无法模拟的领域，目前主要应用于化工、金融与制药产业。通过对目前行业客户参与量子软件与算法研发的进展情况，市场普遍认为以下领域有可能是最先受益的行业：1) 量子计算在化学合成、材料设计、能源开发等方面前景广阔，能够助力化工行业研发加速及降本增效。2) 金融领域：量子计算所带来的算力增长为开发新的金融服务和产品带来了无限可能性，主要包括：投资组合优化、高频（量化）交易、模拟定价、风险预测以及欺诈侦测。3) 制药领域：重点针对某些医学和生物学研究。ICV 预计自 2027 年以后整个量子计算赛道迎来高速增长，截止 2030 年，化工/医药研发/金融/安防/物流/其他领域占比分别为 33.4%/24.6%/15.8%13.9%/10.5%/1.8%。

图表3：量子计算下游应用分类及相关技术落地进程

2030-2035年全球量子计算下游行业规模结构预测


注：规模结构左图为 2030 年，右图为 2035 年。

资料来源：光子盒研究院，ICV，华泰研究

量子计算进展如何

技术路线：超导、离子阱技术处于领先地位，中性原子技术异军突起

量子计算多条硬件技术路线并行发展，超导、离子阱技术处于领先地位，中性原子技术异军突起。量子计算硬件研发目前处于多种技术路线并行发展和开放竞争阶段。当前，考虑到系统可扩展性和操控精度等因素，超导系统与离子阱处于领先地位，而中性原子量子计算路线在量子模拟中体现出的优势也愈发明显。

#1 超导系统：系目前已知的可扩展性最好的方案，基于对超导约瑟夫森结构进行改造，构造出超导量子比特，并通过耦合结构来实现多个超导量子比特的两两近邻耦合。目前 IBM、谷歌、Rigetti、本源量子等公司选择该技术路线。IBM 2023 年 12 月发布的 1121 超导量子比特芯片 Condor（神鹰）是迄今为止公开发布的最高位数超导量子芯片；据其 2023 年 12 月发布的最新量子计算路线发展图，IBM 计划在十年内实现有用计算，到 2033 年，以量子为中心的超级计算机将包括 1000 个逻辑量子比特，全面释放量子计算的能量。

#2 离子阱：离子阱是最早尝试实现量子计算的物理体系，可提供稳定且隔离程度良好的量子系统，但可扩展性有限。目前，IONQ、霍尼韦尔、启科量子等公司选择该技术路线。IONQ 发布的 Forte 是世界上第一台软件可配置的量子计算机，拥有 32 个量子比特和 29 个算法量子比特（AQ），代表了 IONQ 最大的单核量子处理器，且该产品用于现代汽车公司和空中客车。此外，霍尼韦尔的子公司 Quantinuum 也于 2023 年 5 月推出了第二代量子计算机 H2，并利用它创造了非阿贝尔任意子，迈出了构建容错量子计算机的关键一步。

#3 中性原子：中性原子平台使用激光来冷却和控制原子，以提高量子比特的可扩展性和保真度；此外，中性原子的鲁棒性可能较好。目前，Atom Computing、PASQAL 选择该技术路线。Atom Computing 于 2023 年 10 月在其量子计算平台中创建了一个 1225 个站点的原子阵列（目前填充了 1180 个量子比特），并计划于 2024 年推出这台中性原子量子计算机。

图表4：量子计算（比特）技术和主要支持者

量子计算(比特)技术	原理及概况	可扩展性	落地时间	适用范围	商业前景	量子比特 操作方式	量子比特数	主要支持者
超导量子比特	通过使用微波信号将无电阻电流置于叠加状态来实现的。	●	○	●	↑	全电	433	IBM、谷歌、Rigetti、中国科大、本源量子、国盾量子、量旋科技、英特尔、NEC、Quantum Circuits Inc.、Oxford Quantum Circuits
离子阱	离子阱量子计算机的工作原理是捕获离子电场并将它们固定在适当的位置。	○	○	●	↑	全光	29(Aq)	IONQ、Quantinuum、Alpine Quantum、Technologies、启科量子
光子量子比特	光子量子比特是在硅芯片路径上运行的光子。	○	○	○	↑	全光	216	PsiQuantum、Xanadu、中国科大、图灵量子、玻色量子
中性原子	中性原子类似于离子阱，但不使用电离电荷来保持量子比特的位置，而是使用激光“镊子”。	●	○	○	↑	-	1225	Atom Computing、PASQAL、QuEra
硅量子比特	通过向硅添加电子来制造量子。然后使用微波控制电子的状态。	○	○	●	→	全电	12	英特尔、本源量子、Silicon Quantum Computing
拓扑量子比特	利用诸如马约拉纳费米子和任意子等奇异的新准粒子，以不同的原理运作。	●	○	●	→	-	-	微软
金刚石NV色心	由一个取代碳原子的氮原子和相邻一个空位（碳原子缺失）组成，是一种符合DiVincenzo标准的量子计算体系。	○	○	○	↓	-	-	Quantum Brilliance、国仪量子
量子退火机	由一个取代碳原子的氮原子和相邻一个空位（碳原子缺失）组成，是一种符合DiVincenzo标准的量子计算体系。	●	○	○	→	-	-	D-Wave、NEC、日本电报电话公司（NTT）、日立、富士通、Atos
相干伊辛机	可以用于解决组合优化问题，并在有效时间内求解，可用以作为“加速器”补足经典计算机的短板。	●	○	○	→	全光	-	NTT

注：评分采用5分制，1为最差，5为最优，○代表1分，●代表5分。绿色箭头表示商业化发展情况较其他路线较好，黄色和红色依次次之。

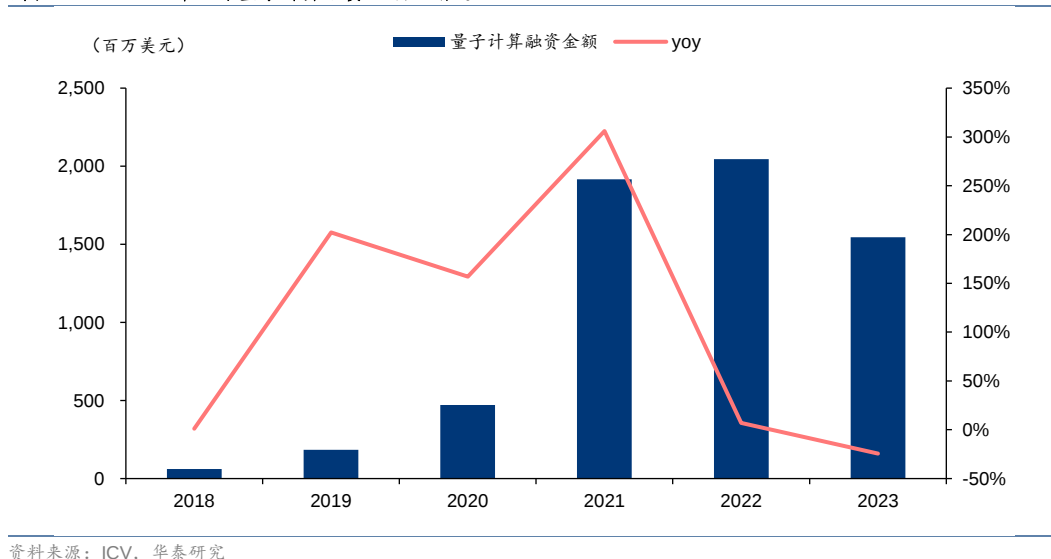
资料来源：ICV、光子盒研究院、各公司官网、华泰研究

量子计算需要投入多少

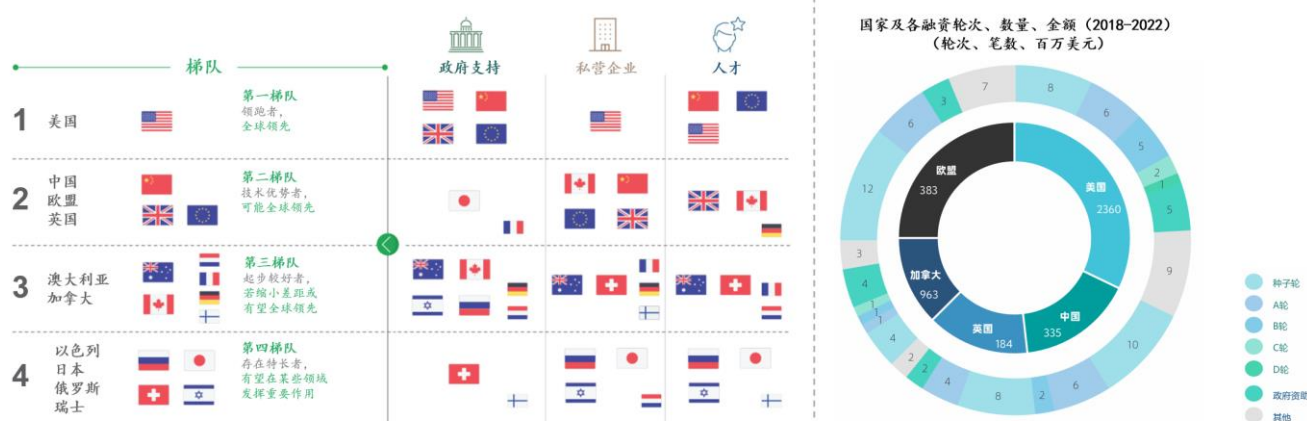
行业发展需要投入多少？

NISQ 时代 2027 年以前全球或至少需要累计投入 164 亿美元，漫长的技术突破期与不良的现金流情况将对量子计算行业构成挑战。根据 ICV 研究，2027 年以前量子计算仍处于 NISQ（中等规模带噪声量子）时代的关键阶段。从 2018 年到 2022 年，全球量子计算融资金额迅速增长，从 0.61 亿美元增长到 20.45 亿美元，五年增长 33.5 倍，CAGR 达 140.6%。2023 年量子投融资金额出现回落，主要由于市场波动导致用于新兴技术如量子计算的风险资本减少，23 年量子初创公司成立数量也相较 22 年有所下降，市场更关注商业可行性和明确的盈利路径。但市场对量子未来增长潜力仍然看好，根据 IDC 预测报告，客户在量子计算领域的支出将从 2022 年的 11 亿美元增长至 2027 年的 76 亿美元，CAGR 达 48.1%；此外 2023-27 年间量子计算市场的投资将以 11.5% 的 CAGR 增长，截止 2027 年底投资累计达到 164 亿美元（涵盖公共和私人的投资，技术和服务供应商的内部分配，以及公司外部资金）。目前，漫长的技术突破等待期与稀缺的付费用户将构成对量子计算行业持续的挑战，如何将先进技术转化为有效需求，并且获得持续耐心的资金，是接下来量子计算行业所需关注的首要问题。

图表5：2018-23 年全球量子计算融资金额及增速



量子计算融资美国独占鳌头，中国积极追赶，同时 SPAC 成为 2022 年量子公司上市的主要方式。量子计算是一个长周期的项目，并且资金需求量较大。波士顿咨询曾认为量子计算的第一推动者是政府，目前美国处于第一梯队，中国、英国和欧盟处于第二梯队。从融资角度看，各方融资总金额差异较大，2018-2022 年，美国量子公司融资约 23.60 亿美元，其中 2021 年 9 月 IONQ 通过 SPAC（特殊目的上市公司，其特点在于先发行上市，后通过并购取得未来的主营业务，为公募投资者提供一个投资于传统私募产品的渠道）收购在纽约证券交易所上市，6.5 亿美元融资额刷新了量子科技公司单笔融资纪录；中国融资合计 3.35 亿元，全部来自风险投资，且金额偏少的部分原因是中国公司部分未披露金额。此外，SPAC 成为 2022 年量子公司上市的主要方式，例如，2022 年 2 月，D-Wave 公司 SPAC 纽交所上市融资 3.4 亿美元，当时估值约为 16 亿美元；2022 年 3 月，Rigetti Computing 公司 SPAC 纳斯达克上市融资 2.6 亿美元。

图表6：量子计算全球梯队层次及投融资结构


注：其他包括上市增发（1）、未披露（4）、赠款（3）、IPO（1）、第三方配售增资（1）、风投（1）、股权+赠款（2）、股权投资（1）、合并注资（1）、合同签订（1）、可转换票据（1）、可转换债券（1）、债务融资（2）、PIPE（2）

资料来源：BCG，ICV，华泰研究

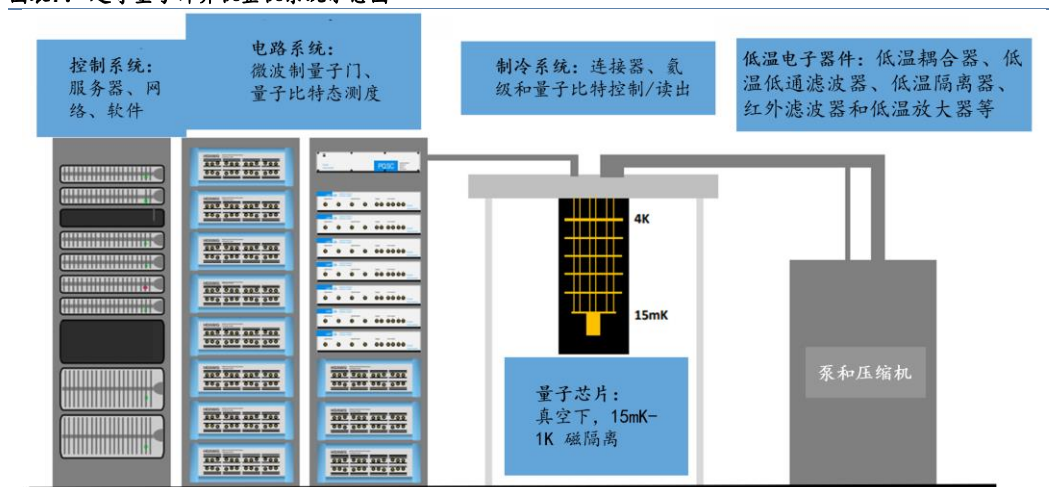
近期的量子计算公司更多进展出现在基础设施、工具链、实用化等方面。近期量子计算的进展不仅聚焦于量子比特数、量子体积、相干时间、保真度等传统评价指标的提升，同时注重量子计算技术相对于经典计算优势的实用落地以及产业链的基础设施和工具链的布局。以 2023 年为例，波音公司与 IBM 基于量子计算开发了航天航空的腐蚀过程的模拟技术；谷歌 Chrome 浏览器部署抗量子密码；IONQ 与美国空军研究实验室（AFRL）签订了 2550 万美元（约 1.86 亿人民币）的合同；巴斯夫等多家企业直接或间接地通过 CUDA Quantum 与英伟达开展合作。此外，近年来 IBM 积极布局产业链上游的稀释制冷剂，并在 2022 年 9 月推出当时世界上最大的稀释制冷机“黄金眼”（Goldeneye）；Rigetti 积极参与量子计算基础设施晶圆厂的建设，并用以为自身制造器件或为费米实验室、美国空军研究实验室（AFRL）和普渡大学等其他机构进行代工。

量子计算机单机成本是多少？

量子计算机成本涵盖研发、硬件、软件和算法开发、维护和运营等成本。1）R&D：研发阶段涉及硬件、软件、量子算法等开发；此外，由于需要专门的设备和设施，例如超导量子比特的超低温实验室，研发成本可能迅速上升。根据《Journal of Quantum Information Science》2019 年发布的研究报告《Quantum Computing: A Financial Overview》（作者 Román Orús 等），小型量子计算机的平均研发成本可达 1,000-1,500 万美元。2）硬件（量子芯片）：量子比特（芯片）可以由超导电路或离子阱等相关技术材料制成，根据《Journal of Quantum Computing》的报告《The Cost of Quantum Computing Hardware》，单个超导量子比特的成本为 1,000-2,000 美元；3）其他硬件组件：量子门、制冷系统和纠错模块等其他硬件组件将增加成本，例如超导量子技术所需的稀释制冷机的成本或高达 50 万美元。4）软件和算法开发：目前开发量子算法的平均成本为 20-50 万美元。5）维护和运营：量子计算机的维护和运营成本包括冷却系统的电力成本、定期硬件升级和软件更新等；目前，小型量子计算机的年度运营成本约为 100-200 万美元。

在其他硬件组件中，稀释制冷剂和微波控制电路系统是超导或硅量子比特技术计算机的核心设备。在硬件系统中，除量子芯片外，mK 级稀释制冷机（包括 GM 脉管预制冷设备）和微波控制电路系统（包括一体化量子计算测控系统、射频微波线缆、低温电子器件、射频微波仪器等）是超导或半导体量子（硅量子比特）计算机的核心设备。射频微波线缆（如同轴电缆、柔性电缆）用于连接处于低温的量子芯片和处于室温的测控系统；而低温电子器件则包括低温耦合器、低温低通滤波器、低温隔离器、红外滤波器和低温放大器等细分组件。其中，关于量子比特的控制和测量，根据技术路线的不同，量子计算测控系统主要分为两种类型：1）光学系统（包含光子源、单光子探测器、激光机等）：主要用于光量子、离子阱以及中性原子等路线量子计算的测控；2）微波控制电路系统（主要包含任意波形发生器、锁相放大器等）：主要用于超导以及半导体量子（硅量子）计算的测控（也可用于如离子阱、中性原子、金刚石 NV 色心等路线的控制）。

图表7：超导量子计算机整机系统示意图



资料来源：Yole，华泰研究

预计一台 400 超导量子比特计算机成本约 1545 万美元，销售单价约 5150 万美元。商业量子计算机可供希望投资量子计算的企业使用，但价格目前昂贵。根据 Quantum Zeigeist 2023 年 8 月报告 *Quantum Computers Available Right Now from Affordable to Expensive*，单台商用量子计算机的成本从 1,000-5,000 万美元不等，具体取决于其功能和规模。我们通过对 400 超导量子比特计算机成本测算，量子计算机整机成本约 1545 万美元。结合 IONQ、Rigetti、D-wave3 家量子上市公司 2022 年毛利率估算，400 超导量子比特计算机单价约 5,150 万美元。

图表8：量子计算机成本及单价测算

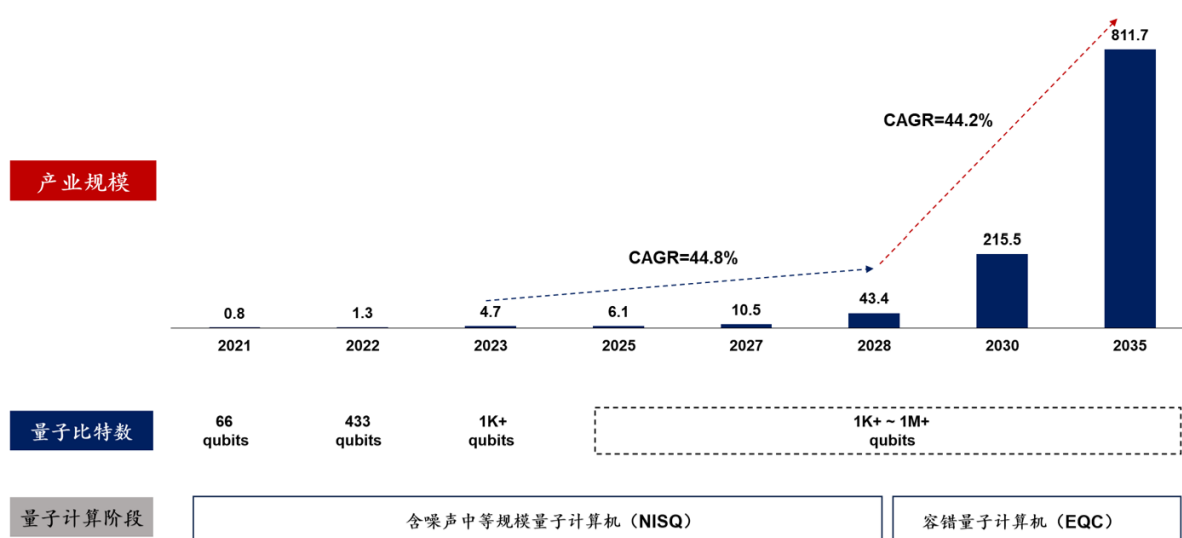
成本类别	成本区间	测算假设		成本测算（万美元）
		量子芯片	其他硬件组件	
研发	1,000-1,500 万美元	区间组中值		1,250
硬件	量子芯片	1,000-2,000 美元/超导量子比特	400 量子比特*1500 美元/超导	60
	其他硬件组件	50 万美元（稀释制冷剂）	量子比特（区间组中值）	50
量子软件和算法开发	20-50 万美元	区间组中值		35
维护和运营成本	100-200 万美元	区间组中值		150
商用量子计算机（合计）	1,000-5,000 万美元	上述科目加总		1,545
公司简称				
2022 年毛利率				
IonQ	73.55%			
Rigetti	78.07%			
D-wave	59.25%			
毛利率算术平均值	70%			
销售价格估算	1,545/0.3=5,150（万美元）			

资料来源：IBM，QUANTUM ZEITGEIST，iFind，华泰研究预测

量子计算产业分析与规模预测：2030 年全球有望突破千亿美元规模

预计 2030 年全球量子计算有望突破千亿美元规模。ICV 认为，2022-2027 年为 NISQ 时代的关键阶段：1) 各大公司将较大概率完成各自的技术路线图目标，通用量子计算机将在比特数与保真度等方面实现技术突破，但通用量子计算机仍只能用来满足科研实验室以及极少部分云平台的商业需求，缓慢而稳定地增长；2) 专用量子计算机有可能实现部分应用以处理组合优化、量子化学、机器学习等特定问题。根据 ICV 研究，2022 年全球量子产业规模达到 12.9 亿美元，预计 2030 年前后从 NISQ（含噪声量子计算）时代进入 ECQ（容错量子计算）时代，并于 2030 年实现千亿美元规模。目前全球各主要量子计算机公司营收以政府和军方为主要采购方的模式或要持续数年，产业投资在难以获得预期回报的背景下，企业将压缩技术和人才的投资，更多的产业推动将来自政府和科研院所。

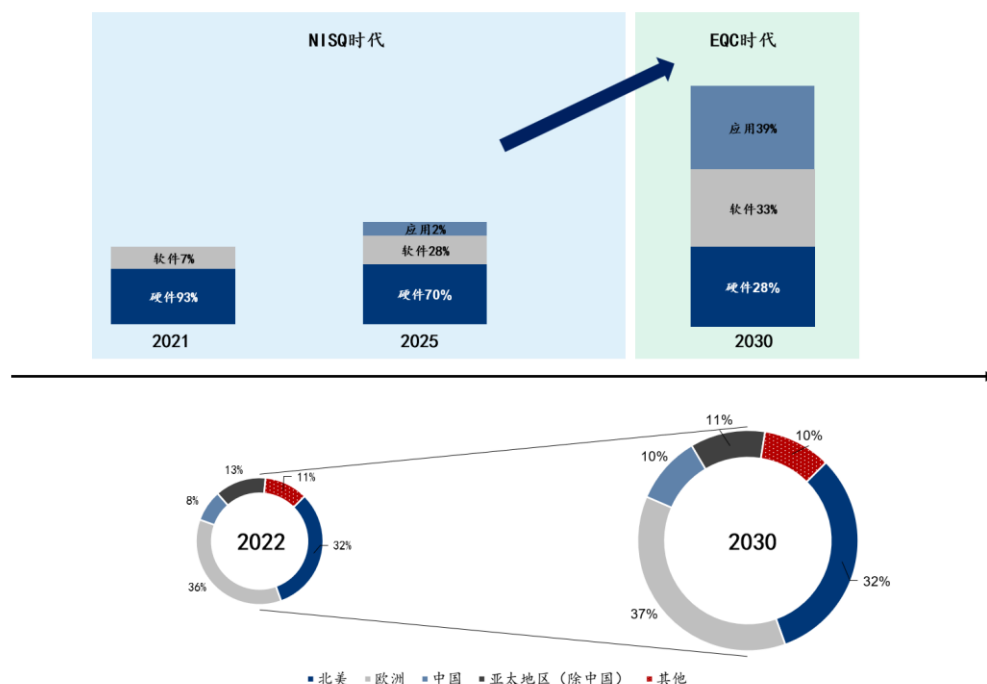
图表9：量子计算全球产业规模及发展阶段预测（十亿美元）



资料来源：ICV，华泰研究

2023 年北美、欧洲、亚太地区占据全球量子计算市场规模 90%左右，NISQ 时代硬件部分仍然是市场的主力。根据 ICV 研究，1) 地区结构拆分：北美/欧洲/中国/亚太地区（除中国）/其他地区预计分别从 2023 年 14.1/18.0/7.1/5.9/1.9 亿美元增长至 2035 年的 2264.6/3287.4/1647.8/665.6/251.6 亿美元，各地区基本同步发展，但技术爆发后其他地区（如非洲地区）市场占比可能会受到挤压。2) 产业结构拆分：在 NISQ 时代，硬件投入仍然是市场的主力，2021 年硬件市场占比达 93%；但预计至 2025 年会迅速降至 70%，届时软件和应用合计占到 30%。从趋势上看，随着量子计算的发展，软件研发和初步应用会逐渐势大，到 EQC 时代，软件与应用合计预计占市场 72%左右。

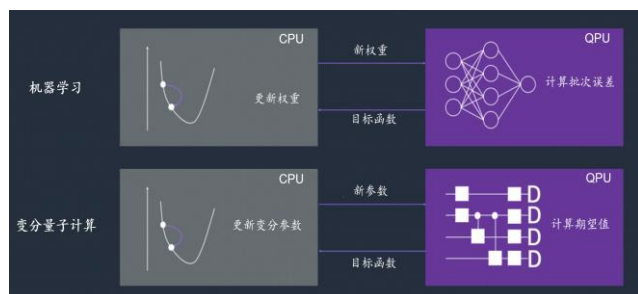
图表10：量子计算地区及产业结构拆分



量子计算未来发展趋势：混合量子计算或量超融合或成为未来新趋势

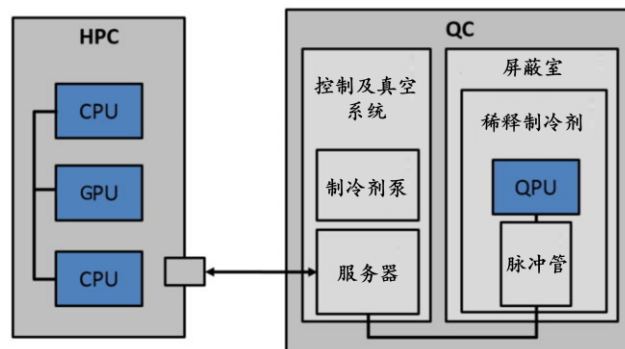
趋势#1：从技术架构上看，混合量子计算或量超融合或成为未来新趋势。随着量子计算机在未来几年的成熟，其计算能力将不断提高，可应用于更多场合，并在特定的实际领域提供帮助。但量子计算机在未来可预期的3-5年或存在局限性，例如：QPU组织和访问内存方面不如CPU，在渲染复杂图形方面不如GPU。因此，经典系统处理数据准备、可视化和纠错等任务，而量子系统处理复杂的计算，这样混合量子计算架构或成未来新趋势。目前在业界中，IBM认为，计算的未来是以量子为中心的超级计算机，其中QPU、CPU和GPU都在一起工作以加速计算；AWS于2021年宣布推出亚马逊Braket混合作业功能，旨在帮助用户设置、监控和高效运行混合量子-经典算法；NVIDIA于2022年推出了混合量子系统编程的开放平台QODA；美国微软公司Azure Quantum量子云服务于2023年3月推出了一项新功能，首次将量子计算和经典计算在云中无缝集成，并允许开发者将经典代码和量子代码混合使用，甚至使用经典代码控制量子计算机。

图表11：量超协同基础框架



资料来源：亚马逊AWS，华泰研究

图表12：经典计算与量子计算协同运行的计算机概念图



资料来源：英伟达官网，华泰研究

趋势#2：从竞争格局上看，目前布局超导技术与离子阱技术的 IBM、Google、IONQ、Rigetti、Quantinuum 处于行业领先地位，NVIDIA 推出的 CUDA Quantum 研发进展较快。1) 从技术分类或产业链布局上看，超导与离子阱技术持续保持领先，量子系统布局公司或将重塑量子产业生态。2) 各领域典型公司上看，i) 超导技术：大规模超导量子比特的集成化有望加速；ii) 离子阱技术：IONQ 作为离子阱技术的行业龙头，在商业上已取得一定进展；iii) 中性原子技术：Atom Computing 于 2023 年 10 月宣布有望于 2024 年推出 1225 量子比特的中性原子量子计算机，有望实现中性原子技术的加速赶超；iv) 布局量子计算系统：NVIDIA 正在与其合作者基于 CUDA QUANTUM 开展涉及软硬件等各方面合作，未来或有望重塑量子产业链生态。

趋势#3：行业尚处于早期，但量子计算公司及科研院在积极探索自身商业模式。当前全球范围内的量子计算整机仍然以原型机为主，我们仍处于 NISQ 时代的早期阶段，可验证到的应用基本都是在量子计算模拟器上进行的。尽管如此，全球领先的量子计算机公司及科研院所仍在积极探索自身盈利模式，我们看到目前包括以下几种方式：**1) 提供量子计算芯片/整机：**目前购买芯片/整机的主要是军方和国家科研单位，例如量子计算上市公司 IONQ 曾在业绩报中披露，与美国空军研究实验室达成 2550 万美元的量子协议，主要用于量子网络研究和应用开发部署两个量子系统。**2) 提供行业的量子解决方案：**量子计算公司与行业客户共同开展课题研究，帮助下游垂直行业客户提供整套解决方案，包括量子算法、模型优化等。IONQ 就与 UMD 国家量子实验室签订合同为其提供量子计算服务和设备接入，三年内支付 1400 万美元款项。**3) 大部分具备量子计算硬件的公司均开发了云平台，**通过云计算的方式为潜在客户提供算力，IONQ 部分收入就来自 QCaaS 服务，为用户提供量子系统的方案及维护支持。

量子计算玩家进展：海内外多方玩家积极布局，百舸争流加速技术变革

海内外多方玩家积极布局，百舸争流加速技术变革。量子计算行业目前处于早期探索阶段，核心参与者不多，产业链上下游较为清晰，目前量子计算的主要参与者可分为四大类：第一类是国际科技巨头，例如 IBM、谷歌、霍尼韦尔、本源量子等；第二类是量子计算初创公司，例如 Rigetti、IONQ 等；第三类是国家科研院所，例如美国费米国家实验室（Fermilab）、美国阿贡国家实验室（Argonne National Laboratory）、中科院量子信息与量子科技创新研究院；第四类是高水平研究型大学，例如剑桥大学、中国科学技术大学、哈佛大学等。

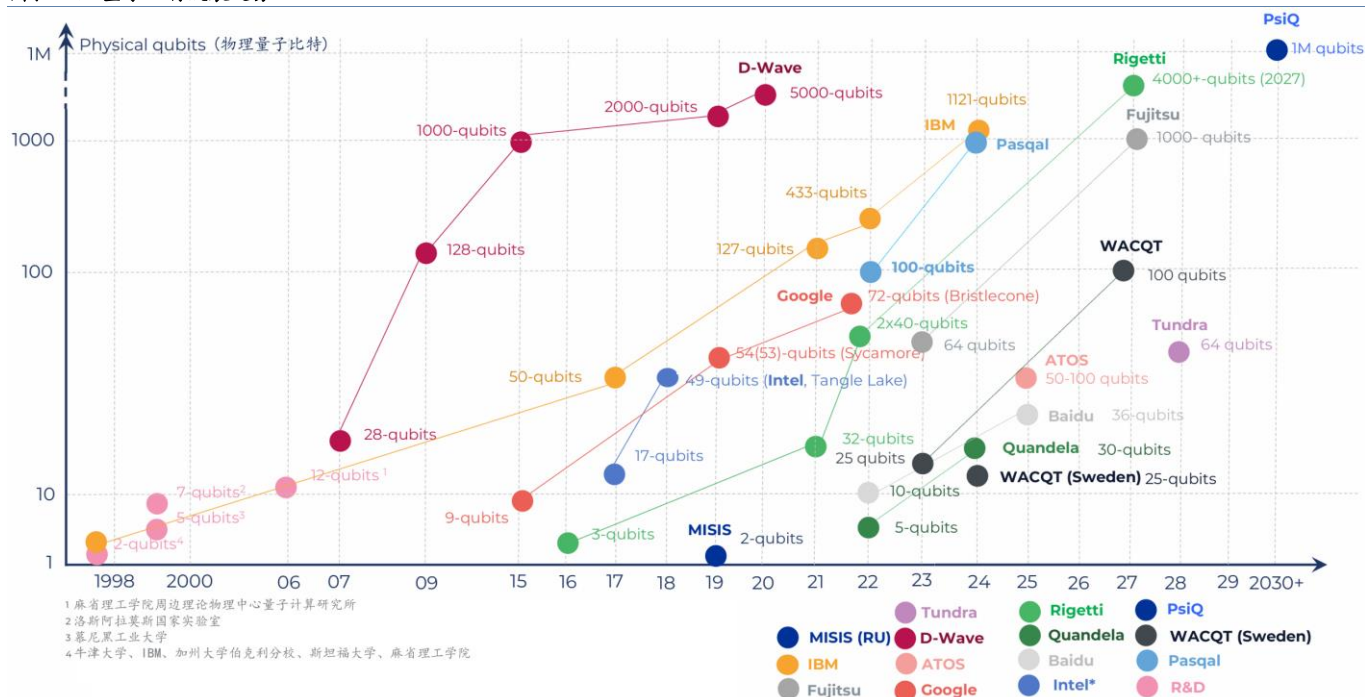
图表13：布局量子计算主要公司

主要公司	技术路线	代表产品	性能	相关应用
IBM	超导量子比特	Osprey	433 量子比特	Q Experience、Qiskit
Google	超导量子比特	Sycamore	70 量子比特	OpenFermion-Cirq、TensorFlow Quantum
IONQ	离子阱	Forte	29 算法量子比特	-
本源量子	超导量子比特	WY-SC64-200	64 量子比特	本源司南
	硅量子比特	玄微 XW-S2-200	2 量子比特	-
Intel	超导量子比特	Tangle Lake	49 量子比特	-
	硅量子比特	Tunnel Falls	2 量子比特	-
Quantinuum	离子阱	System Model H2	32 量子比特	Lambeq
Atom Computing	中性原子	Phoenix	100 量子比特	-
微软	拓扑量子比特	-	-	Azure Quantum

资料来源：光子盒研究院、各公司官网、华泰研究

量子计算已实现 1000+量子比特突破。上世纪 90 年代末以来实验室仅能控制数个比特，2021 年 IBM 突破 100 量子比特，2023 年 12 月 IBM 推出了拥有 1,121 超导量子比特芯片 Condor。IBM 副总裁兼 IBM 研究员杰伊·甘贝塔（Jay Gambetta）在 2023 年量子峰会上表示：“生成式人工智能和量子计算都正在达到一个拐点，这为我们提供了一个机会，利用 watsonx 的可信基础模型框架简化量子算法的构建，以进行公用事业规模的探索。这是朝着拓宽量子计算的访问方式，并将其作为科学探索工具交到用户手中迈出的重要一步。”

图表14：量子比特发展趋势



量子计算领域，美国科技公司领跑，中国公司积极追赶。根据 IPRdaily 统计，截至 2022 年 10 月 18 日，全球量子计算技术发明专利 top100 企业主要来自 18 个国家和地区，美国占比 40%，中国占比 15%，日本占比 11%。其中来自美国的科技公司 IBM 以 1323 件专利位列第一，美国科技公司 Google 和加拿大量子计算公司 D-Wave 分别以 762 件专利、501 件专利排名第二位和第三位；而中国公司本源量子以 234 件专利，在该榜单上位列第六位。

图表15：全球量子计算技术发明专利 top30

截至 2022 年 10 月 18 日 在全球公开的量子计算技术发				截至 2022 年 10 月 18 日 在全球公开的量子计算技术发			
排序	企业简称	国家/地区	发明专利申请量/件	排序	企业简称	国家/地区	发明专利申请量/件
1	IBM	美国	1323	16	Toshiba	日本	85
2	Google	美国	762	17	Honeywell	美国	82
3	D-Wave	加拿大	501	18	NEC	日本	78
4	Microsoft	美国	496	19	IQM	芬兰	76
5	Northrop Grumman	美国	262	20	NTT	日本	73
6	本源量子	中国	234	21	HP	美国	61
7	Intel	美国	221	22	Bull SAS	法国	55
8	百度网讯	中国	186	23	Hitachi	日本	52
9	IONQ	美国	164	24	Psiquantum	美国	51
10	Rigetti	美国	110	25	华为	中国	50
11	Zapata Computing	美国	102	26	阿里巴巴集团	中国	45
12	NSI	澳大利亚	96	27	Unisearch	澳大利亚	45
13	浪潮	中国	95	28	Accenture	爱尔兰	44
14	腾讯科技	中国	93	29	Isis Innovation	英国	42
15	1QBit	加拿大	90	30	Equal1.Labs	美国	37

资料来源：IPRdaily，华泰研究

产业链逐渐清晰与完善。随着量子计算机各个路线研发工作的逐步推进，整机所需的上游硬件设备与器件选型逐渐清晰，同时，量子计算机的软件系统也在不断跟进，整个产业链上下游各环节的构成逐渐清晰与完善，各环节的参与者也在逐渐增多。具体来看，上游涵盖可分为稀释制冷剂、测控系统、低温组件、真空系统、激光器、光学探测器等硬件以及软件开发工具包；中游产业涵盖整机、系统软件、应用软件等；下游涵盖量子云平台以及国防军事、航天航空、金融、医药、汽车、交通、化工、材料等各方应用合作。

图表16：量子计算产业链全景图



资料来源：光子盒，华泰研究

量子应用发展到哪里

量子计算已进入实用化应用场景探索的新阶段，化工、金融和制药有望率先受益。量子计算硬件的飞速发展推动百位量子比特的含噪声中等规模量子计算机（NISQ）时代到来，以 NISQ 样机为基础的实用化应用场景探索逐渐成为业界的研究热点。目前应用探索主要集中在量子模拟、量子组合优化和量子线性代数三大方向。量子模拟可以在原子尺度模拟微观系统相互作用，应用集中在物理模型、生物制药、材料研究等领域，发展趋势从提供物理现象的定性演示向为应用问题提供解决方案演进；量子组合优化是使用量子算法来解决组合优化问题，这类问题通常是 NP 难问题，在经典计算中难以获得全局性最优解。量子组合优化可以提升优化方案的效率和准确性，应用于涉及复杂多变量组合优化的量化金融、交通规划、气象预测等领域；量子线性代数基于量子计算机解决涉及矩阵和向量的线性代数问题，量子机器学习、密码破译等领域是主要应用方向。目前量子计算的应用处于发展早期阶段，多领域探索广泛开展但应用尚未落地。根据技术成熟度与潜在价值来看，化工、金融和制药有望率先受益。

图表17：量子计算应用发展概况



注：评分采用5分制，1为最差，5为最优，○代表1分，●代表5分。

资料来源：中国信通院、ICV、华泰研究

化工：量子计算助力化工材料研发加速及行业降本增效

量子计算在化学合成、材料设计、能源开发等方面前景广阔，能够助力化工行业研发创新、降本增效、绿色发展。首先，量子计算能够加快化工行业的研发进程。在化工领域，微观结构的变化对于宏观效果的呈现具有较强影响。为了精确模拟微观结构，需要匹配复杂度极高的计算，传统计算机算力有限，逐渐成为化工研发加速的瓶颈之一。量子计算能够创造大量算力，通过构建更高精度的模型，研发人员能够更好掌握和优化分子结构与化学反应机理，这为新材料、新配方的开发奠定了基础。其次，量子计算能够实现化工领域的降本增效。采用量子计算，可以研发出更高效的催化剂，将其应用在化工领域，能够提高反应效率、降低原料消耗，从而为企业节省大量成本。2019 年本源量子推出化学应用系统 ChemiQ，是国内首个针对量子化学的算法应用程序，其量子计算解决方案能够用于二氧化碳催化过程的模拟、甲烷催化过程的模拟，帮助化工企业寻找更为高效的催化剂；进行锂电池材料模拟，从而开发出新型锂离子电池，对传统产品进行更新迭代。在海外，2020 年 IBM 推出了 RoboRXN 人工智能模型，用于原料成分和反应程序的预测；2020 年 Google 也利用其 Sycamore 量子处理器成功模拟了二氮烯分子异构化反应过程及结合能，实现了当前最大规模化学反应模拟计算。据此，量子计算对于化学领域有所裨益，未来渗透率还将进一步提升。

金融：量子计算将革新投资组合优化、模拟定价、欺诈侦测等多种能力

金融是量子计算的“第一波产业”，量子计算将革新投资组合优化、模拟定价、欺诈侦测等多种能力。根据麦肯锡数据，在量子计算创造短期价值的 100 个案例中，金融领域占了 28 个，是所有行业中最多的，且具有较高的中长期潜在价值。优化、模拟和机器学习是量子计算将革新的能力。在优化方面，投资组合优化存在“维度诅咒”：即数据维度和量的迅速增加导致数据分散且难以聚类，而量子计算的量子退火（D-Wave 的系统）和基于门的模型（IBM 的设备）等可以解决这一问题；在模拟方面，量子计算通过加速蒙特卡洛方法减少估计误差，被应用于普通期权、多资产期权和路径依赖型期权等多种衍生品定价，也能够以较高的精度确定风险价值（VaR）和风险评估工具条件风险值（CVaR）从而更好地防范金融风险；在机器学习方面，量子计算显著有效地加速大规模神经网络中的深度学习，彻底解决银行的“计算能力瓶颈”，深化人工智能在银行业信用评级、反洗钱、智能营销等领域的应用。此外，长期来看，古典和新古典经济学理论的基础是均衡，而量子理论将价格视为不确定的数量，量子金融远期更大的贡献可能是改变金融领域问题的形成、结构和建模的方式。

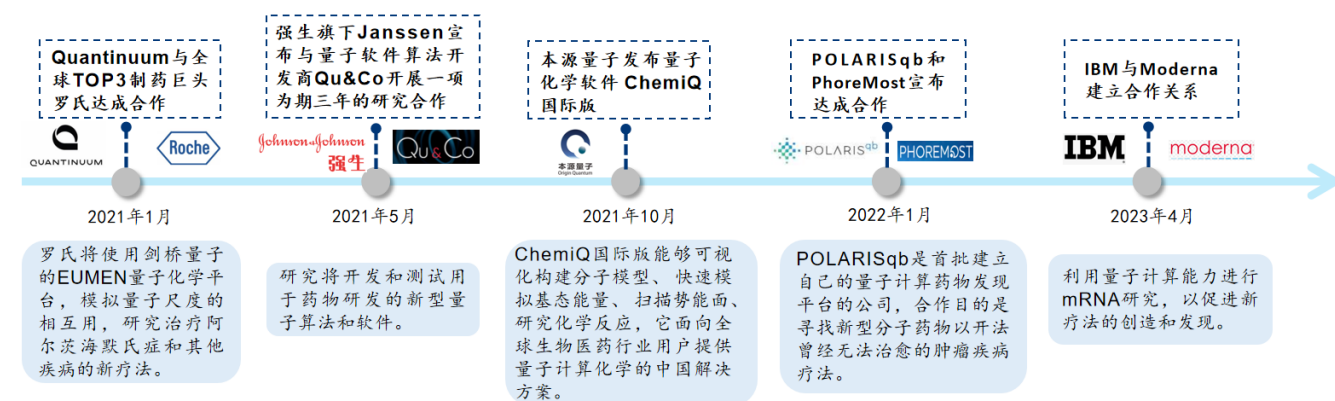
图表18：探索量子计算的金融机构及研究方向

金融机构	合作机构	量子金融研究方向
摩根大通	IBM、Chicago Quantum Exchange 等	投资组合优化、交易策略、资产定价和风险分析
BBVA	Multiverse、埃森哲、富士通等	套利、信用评级、蒙特卡罗模拟
渣打银行	NASA、USRA、Rigetti 等	投资组合优化
花旗银行	1QBit、QC Ware 等	交易算法、欺诈检测、投资组合优化和风险管理
巴克莱银行	IBM	2017 年创建了内部量子计算工作组，建模人员在 IBM 的量子云上运行程序，合作开发可用于证券交易结算的量子算法
高盛集团	D-Wave、QC Ware	风险评估、模拟定价
毕马威事务所	微软、Azure Quantum	量子算法、量子生态系统
德意志交易所	JoS Quantum	量子算法类研究，解决计算交易所业务风险模型中存在的挑战
工商银行	中国科技大学	2015 年率先实现基于量子通信技术的同城和异地数据加密传输，在电子档案和网上银行等领域落地试点；2019 年率先完成了量子随机数的场景试点
建设银行旗下建信金科	本源量子	共建量子金融应用实验室，联合发布“量子期权定价算法”与“量子风险价值计量算法”，相关参数明显优于国外同类产品，实现了国内量子金融算法 0 的突破
新华财经	本源量子	新华财经 App 上线共同发布的“量子金融应用”产品
光大科技	玻色量子、北京量子信息科学研究院	量子计算投资组合产品：天工经世量子计算量化策略平台

资料来源：《量子金融白皮书》（2022 年 本源量子），华泰研究

制药：量子计算赋能制药各个环节，更高效且精准

量子计算赋能制药各个环节，更高效且精准。药物研发的起点是靶点识别，分子结构预测是其中的重要内容。对于传统的计算机辅助药物设计（CADD）和新兴的 AI 辅助药物设计（AIDD）而言，由于算力限制和缺乏数据支撑，很难得到动态、精确的构造过程。以蛋白质结构预测为例，在缺乏实验数据时，AlphaFold 可以通过比较序列相似性预测得到蛋白结构，但却无法得到蛋白在体内的动态变化过程。而量子计算可以利用从头计算法，模拟氨基酸之间、分子同环境之间的相互作用，得到较为精确的蛋白靶点的结构变化。药物研发中期主要聚焦于药品的化学表现和分子设计，需要大量运算模拟，是量子计算未来可重点切入的市场。目前量子计算在制药领域应用的大部分工作就是研发中期的筛选化合物和化合物的结构优化。在药物研发后期的临床试验环节，量子计算能更准确地模拟药物在人体内的吸收、分布、代谢和排泄过程，可以避免人类作为测试载体。药物研发的投入高、周期长，根据麦肯锡数据，新药从开始研发到推向市场平均需要二十亿美元和十年以上的时间，而量子计算可以赋能制药各个环节，使目标识别、药物设计和毒性测试不再依赖试验和错误，大幅提升效率和精准性。

图表19：相关公司在量子计算的制药应用进展


资料来源：光子盒、IBM、本源量子、Quantinuum、Qu&Co、PhoreMost 官网，华泰研究

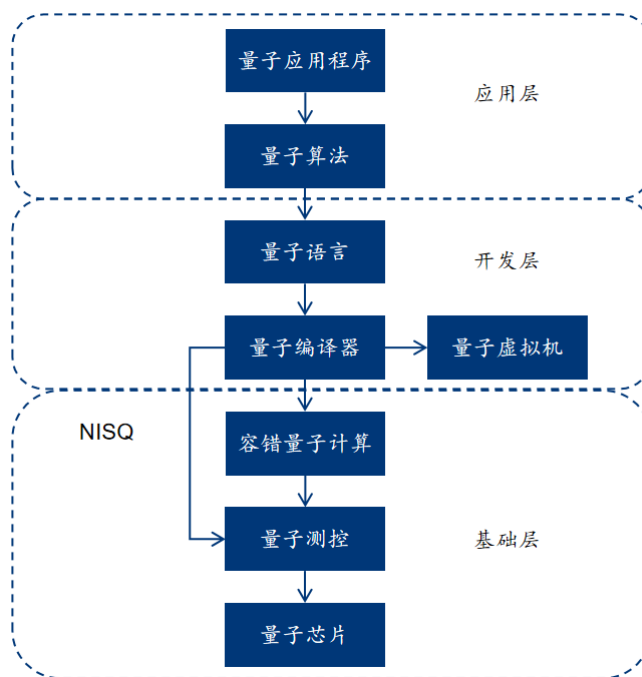
软件、算法和云服务发展到哪里

对于实际问题的解决，需要协同硬件与软件、算法和云服务的发展。与经典计算机一致，量子计算机生态需围绕操作系统、编译软件、开发工具和应用算法与软件而存在。从各国量子计算机系统软件、量子算法和量子软件技术发展水平上来看，2022 年美国相关技术和应用仍然遥遥领先，而中国、日本、加拿大则紧随其后。1) 量子软件：纠错技术是系统软件的主要进展之一，硬件厂商也均发布各自编译软件，未来社区开源发展将成为主流模式。2) 量子算法：可加速某些计算问题的解决，并降低基础设施的成本。3) 量子云平台：可应用于量子研究、量子教学和量子开发等领域，推动量子技术的发展和应用。

量子软件

量子软件是构成量子计算系统的关键环节，目前主流量子计算机采用经典+量子混合体系。硬件是量子计算应用的基础，但解决实际问题离不开软件的发展。量子计算软件系统可以分为三层：基础层软件主要作用是实现量子算法的运行，同时提供对量子芯片运行维护服务的支持，与硬件紧密相关，是量子计算软件技术的发展核心；开发层软件提供了研究量子算法、开发量子应用的工具链体系，包含了众多量子编程语言和量子软件开发工具；应用层软件是量子技术走向应用的关键，通过算法和应用程序匹配行业需求，解决特定领域问题。当前的量子计算机是从经典计算机体系中衍生出来的，主流的商业化量子计算机采用“混合量子/经典”层来加速计算。在量子软件系统架构上，应用层和开发层的软件都是在经典计算机中实现和运行的，而位于基础层的软件主要用于维护和驱动量子芯片及其附属纠错和测控系统的运行。

图表20：量子计算软件系统

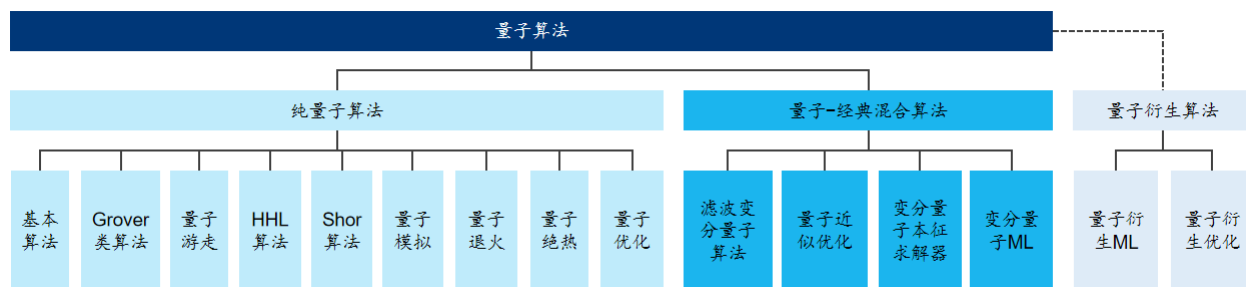


资料来源：赵勇杰，吴伟. 量子软件与量子云[J]. 信息通信技术与政策, 2020(7):49-57、华泰研究

量子算法

量子算法可加速某些计算问题的解决，并降低基础设施的成本。量子算法是运行在量子计算现实模型上的一套逻辑程序。量子算法设计的核心在于利用干涉现象，通过线性酉算子操控量子态演化，使目标态概率最大。根据量子算法运行的物理环境，量子算法可以分为以下 3 类：1) 纯量子算法：运行在量子计算机或其模拟环境中的算法；2) 量子-经典混合算法：核心部分由量子计算机计算，其他部分由经典计算机运行的算法，又称变分量子算法；3) 量子衍生算法：一种借用量子力学思想来增强的经典算法，无需在量子计算机上运行。

图表21：量子算法分类



资料来源：AIoT 物联网研究院，华泰研究

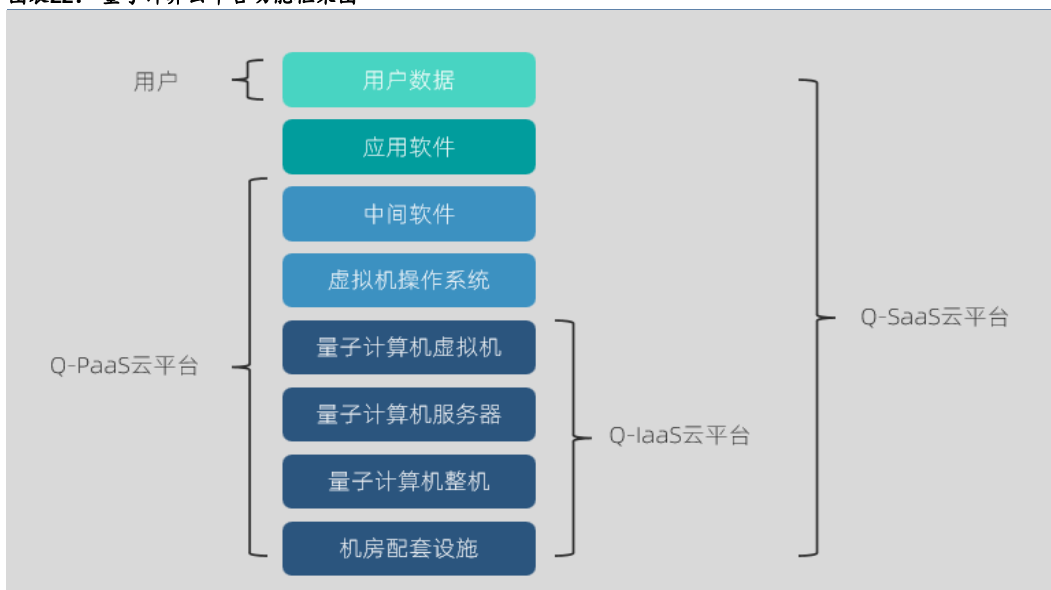
Shor 算法、Grover 算法和 HHL 算法不断加速解决计算问题，未来或有望进一步助力机器学习、人工智能等技术突破。在量子算法研究上，Shor 算法（质因数分解算法）、Grover 算法和 HHL 算法为三大里程碑式算法。1）1992 年提出的 Deutsch-Jozsa 量子算法是量子并行计算理论的基石，其演示了量子计算的优越性，Shor 算法即是以此为基础。2）1994 年贝尔实验室的 Shor 提出利用量子计算机自身的并行运算能力，在可企及的时间内将一个大的整数分解为若干质数乘积，用以破解 RSA 加密。3）1996 年贝尔实验室的 Grover 提出量子搜索算法，用以从大量未分类的个体中，快速寻找出某特定个体；例如，对于 100 万条的路线搜索，量子计算机仅需 1000 次即可完成。4）2008 年，麻省理工学院的三位学者联合开发了一种求解线性系统的量子算法，例如在一个 $N \times N$ 的矩阵中，若采用高斯消元法可在 $O(N^3)$ 时间内求解，HHL 算法则可以在 $O(\log_2 N)$ 时间内求解，从而达到加速的目的。由于线性系统是很多科学家和工程领域的核心，因此，HHL 算法或将是未来能够在机器学习、人工智能科技得以突破的关键性技术。

量子云平台

量子云平台成为量子计算商业化进程的有力助推。由于量子计算机硬件尚不成熟，占用空间大、制造成本昂贵、环境要求严苛、维护难度高、无法满足个人用户本地部署的要求，近年来量子计算云平台逐渐成为量子计算算力输出的主要形式。量子云服务是指通过云计算平台提供的量子计算能力，使个人或企业用户在无需自己拥有物理量子计算机的情况下可以通过互联网访问量子计算资源。具体来说，下游用户通过客户端操纵云端经典计算机，计算任务转化为量子计算控制/测量指令，并在量子计算机中完成计算操作并通过测量返回计算结果。综合了量子计算与云计算优势的量子云平台已经成为量子计算科普教育、算法开发以及应用创新的试验床，将长期持续助力量子计算的商业化进程。

三类量子云平台，采用者的选择从 Q-SaaS 向 Q-PaaS 和 Q-IaaS 转变。量子云平台服务类型分为量子基础设施即服务（Quantum Infrastructure as a Service, Q-IaaS）、量子平台即服务（Quantum Platform as a Service, Q-PaaS）和量子软件即服务（Quantum Software as a Service, Q-SaaS）。Q-IaaS 将量子计算机的硬件及配套设施在量子计算云平台上提供给用户，用户可以低成本调用量子计算机、量子计算模拟器、经典服务器、存储器等硬件而无需对其进行维护。这类平台主要面向底层开发和科学研究人员。Q-PaaS 将量子计算相关基础设施和中间件组成的开发平台在量子计算云平台上提供给用户，用户可以在云平台上进行特定的软件开发。Q-SaaS 将打包好的应用服务方案在量子计算云平台上提供给用户，主要面向大型企业。没有人真正知道什么样的量子硬件战略会胜出，因此早期采用者通常会寻求最大程度上不依赖硬件的平台，即 Q-SaaS 或 Q-PaaS。目前大部分量子云平台的服务以 Q-SaaS 为主，因为使用它的技术壁垒不高，大多数企业可以通过和 Q-SaaS 的合作开发并完善适合自身的软件。预计随着量子开发人员增长和量子硬件的完善，采用者会由于保障数据安全和差异化战略等因素，完成由选择 Q-SaaS 到 Q-PaaS 和 Q-IaaS 服务的逐渐转变。

图表22：量子计算云平台功能框架图



资料来源：中国信通院，华泰研究

量子计算云平台服务提供商多元化发展，竞争与合作并存。目前云平台供应商主要分为两类，第一类供应商自身参与量子计算硬件的研发，将自研的量子计算机等硬件放在云平台，典型企业包括 IONQ、PASQAL、Rigetti、本源量子等；第二类供应商则接入其他公司的量子计算硬件或软件系统，提供云平台供用户使用，典型企业包括 Microsoft、Amazon、Strangeworks 等。也有一些企业两者能力兼具，比如最早于 2016 年就推出商业化量子计算云平台的 IBM，除了能够调用 AQT、IONQ 等量子计算硬件资源，还自研多款超导量子计算芯片。

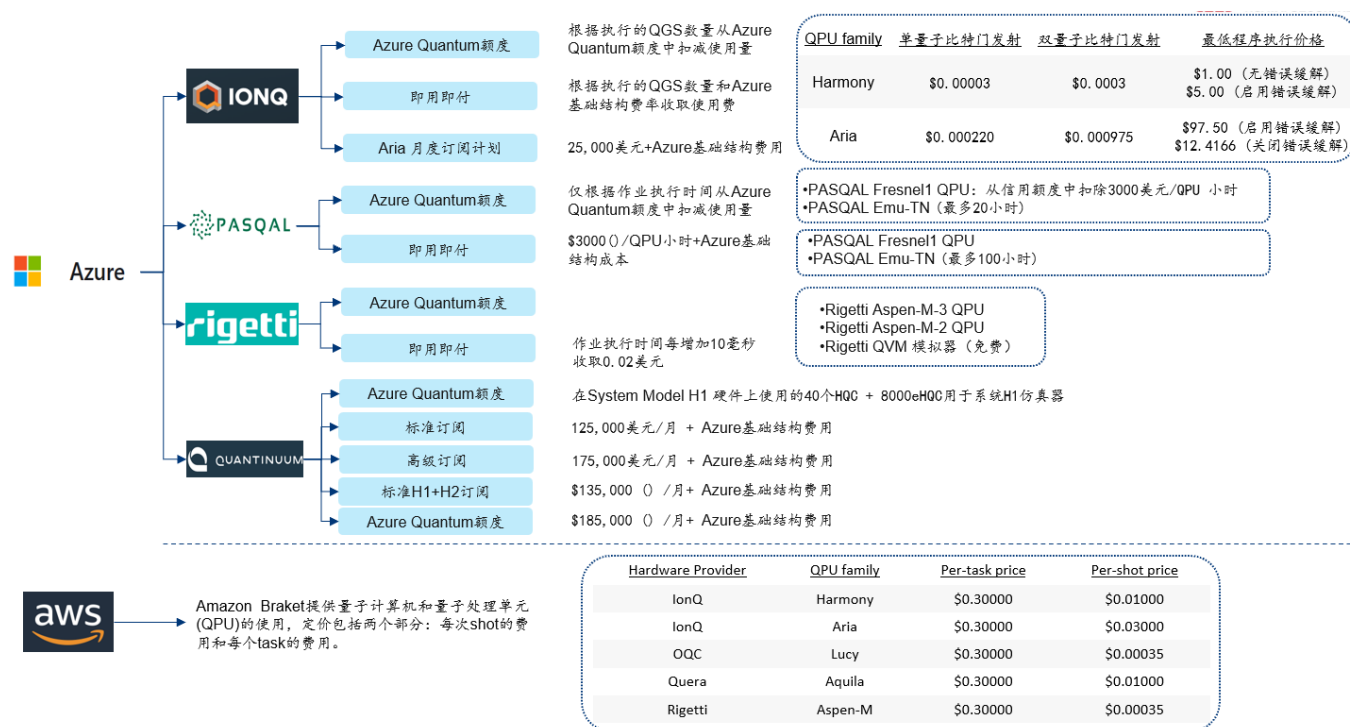
图表23：国内外代表性企业/组织量子云平台/软件发展概况

公司	云平台/软件	提供优化服务 (eg: 在线开发、外接服务等)					
		超导量子	量子比特	离子阱	光子量子比特	中性原子	量子退火机
IBM	Q Experience	✓	✓	✓			
IBM	Qiskit		✓				
谷歌	OpenFermion-Cirq & TensorFlow Quantum		✓				
D-wave	Leap						✓
Amazon	Amazon Braket	✓	✓	✓		✓	✓
Amazon	Qatalyst	✓					
Microsoft	Azure Quantum	✓		✓	✓		
Xanadu	Xanadu Quantum Cloud				✓		
Honeywell					✓		
QuTech	Quantum Inspire		✓				
Strangeworks		✓	✓	✓			
华为	HiQ	✓					
本源			✓				
百度	量脉 & 量桨 & 量易伏	✓	✓	✓			
腾讯	Simhub		✓				
阿里巴巴	太章	✓	✓				
量旋	金牛座		✓				
北京量子院	Quafu	✓	✓				
量子创新研究院	量子计算云平台		✓				
国盾量子	“祖冲之号”量子计算云平台	✓					

资料来源：中国信通院、各公司官网，华泰研究

相较于直接使用量子计算机，云平台使用成本更低。量子计算机由于价格昂贵且制造难度较大，并未向公众广泛提供。The Verge 曾在 2017 年向 D-Wave 购买了 2000Q 量子计算机，花费约 1500 万美元。IQM 近期发布了一台预装有 5 量子比特的超导量子计算机，售价不到 100 万欧元（约合 796 万人民币）。目前，微软和 AWS 等科技巨头提供一整套量子计算服务解决方案。其中，微软定价主要采用 Azure Quantum 额度模式，根据不同单位从额度中扣减使用量，客户也可以选择其他的即用即付和订阅模式。而 Amazon AWS Braket 的定价包括任务和执行两个部分，每次任务的价格对所有 QPU 都是相同的，为 0.3 美元一次，每次执行的价格取决于所使用的 QPU 类型，价格区间在 0.00035-0.03 美元/一次。假设一位科学家使用 Amazon Braket 在 Rigetti 量子计算机上运行量子机器学习算法。这个作业包括 50 次迭代，每次迭代有 2 个任务，每个任务有 100 次执行。那么运行此作业的最低价格为 50 次迭代 x 2 次任务 x 0.30 美元/任务 + 50 次迭代 x 2 次任务 x 100 次执行 x 0.00035 美元/次，总计 33.5 美元。

图表 24：微软和 AWS 量子云平台定价



资料来源：微软官网、AWS 官网、华泰研究

附录：量子计算相关公司进展

IBM (IBM US)

IBM 是全球最早布局量子计算的公司之一，超导量子技术领域始终遥遥领先，目前正在开创以量子为中心的超级计算机时代。2001 年，IBM 先后在 5 位 NMR 量子计算机、7 位 NMR 量子计算机上成功运行了 Shor 量子算法，这是人类首次在硬件上实现 Shor 算法。2016 年，随着量子计算云平台 IBM Q Experience 的问世，IBM 成为全球第一个推出量子云服务的公司。2019 年 1 月，在国际消费电子展上，IBM 推出了“世界上第一个专为科学和商业用途设计的集成通用近似量子计算系统”——Q System One，该高度集成的模块化系统的推出，意味着通用超导量子计算机开始走出实验室。2020 年 9 月，IBM 首次发布量子技术路线图，并据此分别在 2021 年、2022 年和 2023 年相继推出“鹰”（Eagle）、“鱼鹰”（Osprey）和“神鹰”中性原子，2023 年可实现 1121 个量子比特的量子计算机“神鹰”是全球迄今最大的量子计算机。此外，2022 年 9 月 IBM 将当时世界上最大的稀释制冷机“黄金眼”（Goldeneye）冷却到工作温度（~25 mK）。2023 年 IBM 量子峰会，IBM 副总裁兼 IBM 研究员杰伊·甘贝塔认为量子计算正在到达拐点。展望未来，IBM 认为计算的未来是以量子为中心的超级计算机，其中 QPU、CPU 和 GPU 都在一起工作以加速计算。

图表25：IBM 量子计算路线发展图

	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026及其以后
总体目标	在IBM云上运行量子电路	对于量子算法和应用进行演示并制作原型	使用Qiskit运行量子程序使得速度提升100倍	将动态电路引入Qiskit Runtime以解锁更多计算	通过弹性计算和并行化Qiskit Runtime以提升应用程序性能	通过可扩展的错误缓解以提高Qiskit Runtime的准确性	通过控制Qiskit Runtime电路编织工具箱以规模化量子应用	将纠错集成到Qiskit Runtime以提高量子工作流的准确性和速度
模型开发					量子软件应用原型	量子软件应用	机器学习 自然科学优化	
算法开发		量子算法和应用模组			无服务器量子	智能编排	电路编制工具箱	电路库
内核开发		电路	Qiskit Runtime		动态电路	线程原语	错误抑制与缓解	误差修正
系统模块化	Falcon 27量子比特	Hummingbird 65量子比特	Eagle 127量子比特	Osprey 433量子比特	Condor 1121量子比特	Flamingo 1386+量子比特	Kookaburra 4158+量子比特	扩展到基于10k-100k量子比特的经典与量子交互模式
					Heron 133量子比特*p	Crossbill 408量子比特		

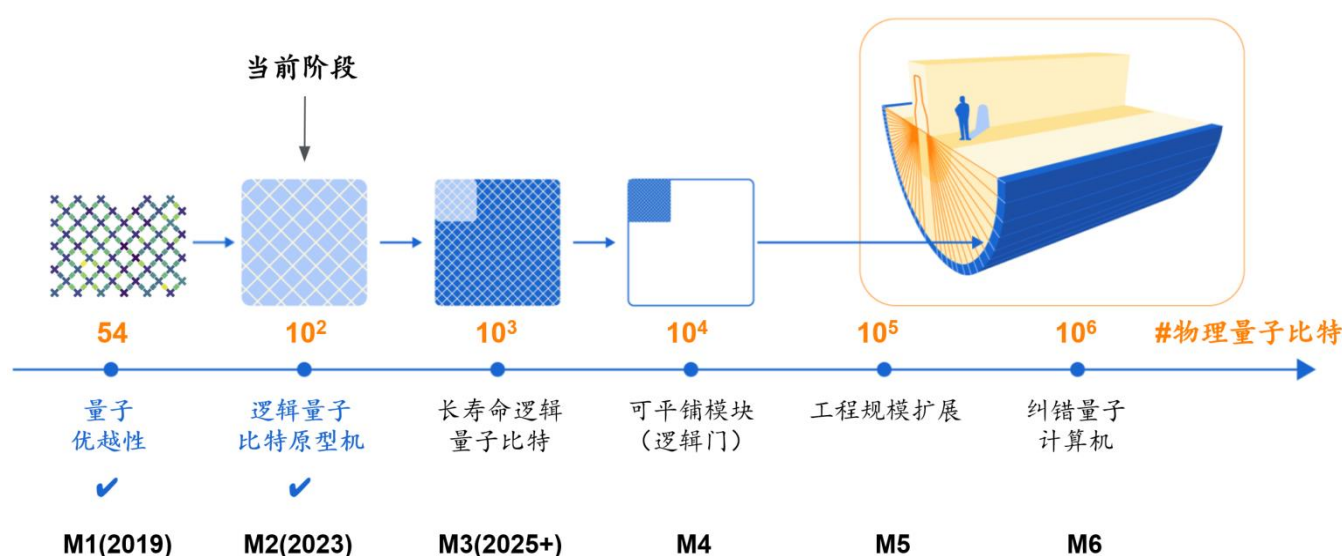
注：✔为 IBM 已完成的部分

资料来源：IBM 官网，华泰研究

Google (GOOGL US)

谷歌量子计算技术持续保持全球领先，量子比特数的增加与量子纠错协同推进。2012 年成立专门的量子实验室。2014 年谷歌招募了加州大学圣塔芭芭拉分校 John Martinis 团队以在量子计算方面发力。2019 年，超导量子计算机“悬铃木”问世，John Martinis 团队一举将“量子计算优越性”变为现实，在该量子计算机上进行了 53 比特、20 层的量子随机线路采样，200 秒可进行 100 万次采样，最终结果的保真度有 0.224%。2020 年 9 月，谷歌发布了量子计算路线图，并预计在 2029 年前实现包含 100 万个物理量子比特、具备纠错能力的计算机。2021 年谷歌基于“悬铃木”实现了量子计算错误抑制的指数级增长。2022 年 7 月，谷歌突破了量子纠错的盈亏平衡点，首次实现量子计算机的错误率随着比特数增加而降低，证明了超导量子比特系统的性能足以克服增加量子比特数量带来的额外错误。2023 年 8 月，谷歌 Chrome 浏览器宣布部署抗量子密码。总体而言，在谷歌量子计算发展的路线规划中，量子比特数的增加和量子纠错是协同推进的。

图表 26：谷歌量子计算路线发展图



注：M 为里程碑 (Milestone)

资料来源：Google Quantum AI，华泰研究

IONQ (IONQ US)

IONQ：离子阱量子计算巨头，商业化进程较快。IONQ 是马里兰大学量子计算的核心人物 Chris Monroe 于 2016 年同 Jungsang Kim 一起组建的量子计算公司，并于 2021 年 10 月成功上市，主要聚焦于离子阱量子计算。2018 年 12 月，IONQ 公布了两个新型离子阱量子计算机，它具有 160 个存储量子比特和 79 个量子比特；2023 年 5 月，IONQ 宣布，其量子计算机 IONQ Aria 系列的最新旗舰量子系统，正式在 AWS 量子计算云平台 Amazon Braket 上线，其算法量子比特 (AQ) 高达 25，是当前世界上较强大的商用量子计算机之一；目前，IONQ 性能最高的量子计算系统 IONQ Forte 拥有 32 个量子比特和 29 个算法量子比特 (AQ)。2023 年量子世界大会上，IONQ 发布 Forte Enterprise 和 Tempo 的 2 台企业级机架式系统，计划于 2024 和 2025 年实现 35 和 64 量子比特。根据 IONQ 管理层公告宣布，24 年 1 月 Forte Enterprise 系统已经实现 35 量子比特。

Figure 1: Development of AI applications in the chemical industry. The chart shows the number of AI applications (Y-axis, 0 to 1200) from 2022 to 2028E. The data points are: 2022 (25), 2023 (29), 2024E (35), 2025E (64), 2026E (256), 2027E (384), and 2028E (1024). The chart is divided into three stages: Stage 1 (2022-2023), Stage 2 (2024E-2025E), and Stage 3 (2026E-2028E). Stage 1 is labeled '概念验证 实验室检验' (Concept Verification, Laboratory Testing). Stage 2 is labeled '企业级时代 生产准备' (Enterprise-level Era, Production Preparation). Stage 3 is labeled '广泛采用 系统成熟' (Widespread Adoption, System Maturity). The chart also highlights key areas of AI application: '算法量子' (Algorithm Quantum) in 2022, '机器学习' (Machine Learning) in 2024E, '材料' (Materials) in 2026E, and '化学' (Chemistry) in 2028E. A grid of 18 images on the right shows various AI applications in the chemical industry, including: 优化路线 (Optimization Route), 复杂合成路线 (Complex Synthesis Route), 化学建模 (Chemical Modeling), 行为预测 (Behavior Prediction), 生产优化 (Production Optimization), 自我优化 (Self-Optimization), 人工智能 (Artificial Intelligence), 药物研发模拟 (Drug Development Simulation), 复杂物流 (Complex Logistics), 高能电池 (High-Energy Battery), 蛋白质学 (Protein Science), 天气预测 (Weather Prediction), 物理模拟 (Physical Simulation), 粮食生产 (Food Production), 计算机视觉 (Computer Vision), 能源生产 (Energy Production), 材料研发 (Material Research), 高能化学合成 (High-Energy Chemical Synthesis), 分子动力学 (Molecular Dynamics), 智能制造 (Intelligent Manufacturing), and 网络优化 (Network Optimization).

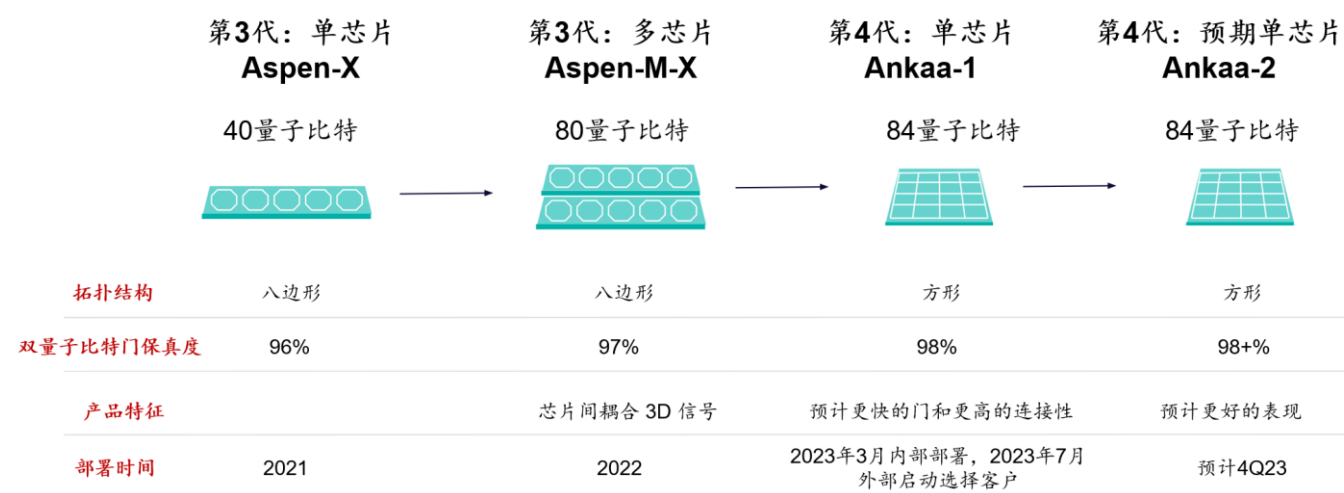
资料来源：ICV，华泰研究

英特尔技术转向硅基自旋量子，目前已实现 12 量子比特。芯片巨头英特尔于 2017 年成功测试 17 位量子超导计算芯片，并于 2018 年的 CES 上高调宣布已经成功设计、制造和交付 49 量子比特（量子位）的超导测试芯片 Tangle Lake。但此后英特尔将技术转向硅基自旋量子比特领域。英特尔指出，相比超导量子比特，硅基自旋量子比特有着显著优势，例如每个量子比特的裸片面积缩小了几个数量级。这在英特尔的最新研究成果中得到了验证：在 2021 年 11 月实现了在单个 300mm 的硅晶圆上集成了超过 10,000 个硅基自旋量子比特阵列。2023 年，英特尔发布包含 12 个硅自旋量子比特的全新量子芯片 Tunnel Falls，该芯片是英特尔迄今为止研发的最先进的硅自旋量子比特芯片。此外，基于制造 Tunnel Falls 的经验，英特尔已经开始研发下一代量子芯片，公司预计将于 2024 年推出。

Rigetti (RGTI US)

Rigetti 已实现 84 量子比特多芯片 Ankaa-1，2025 年计划突破 1000+量子比特。Rigetti 成立于 2013 年，自 2017 年以来一直在云上运行量子计算机，并于 2022 年 3 月通过 SPAC 在纳斯达克上市。Rigetti 是全栈量子计算的先驱，并拥有量子计算平台 QCS。目前，公司已推出单芯片 Aspen-X、多芯片 Aspen-M-X、多芯片 Ankaa-1 等多颗超导量子产品，并于 23 年 12 月推出 84 量子比特的 Ankaa-2 系统，未来还将继续开发 84 比特的 Ankaa-3 系统。此外，根据 Rigetti 于 2022 年 5 月发布的 QPU 路线图，在推出 84 量子比特处理器后 Rigetti 计划推出 336 量子比特处理器 Lyra，该处理器有 4 个 Ankaa 芯片组装于一个载体衬底上；并且分别计划在 2025 年和 2027 年推出 1000+和 4000+量子比特的 QPU。

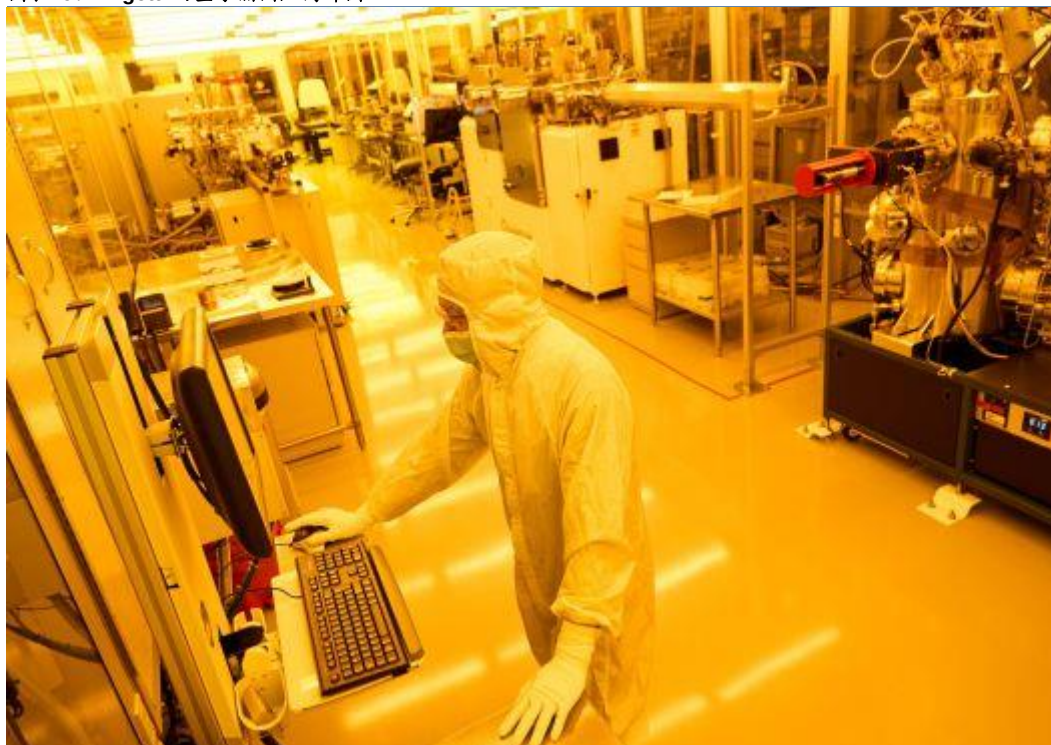
图表28：Rigetti 量子计算路线发展图



资料来源：Rigetti，华泰研究

Rigetti 自建量子晶圆厂以自用或为其他机构代工。Rigetti 的制造策略与其他大多数量子创业公司的竞争对手截然不同。从早期起，他们就决定建立自己的晶圆厂来制造芯片，而非依赖于大学的无尘室或试图与像 GlobalFoundries 这样的大型半导体代工厂合作。因此，于 2017 年 5 月，Rigetti 在弗里蒙特开设了业界首个专用和集成的量子器件制造工厂 Fab-1。Rigetti 使用自身的工厂能够在 5-15 周内完成设计；而若选择外部半导体代工厂，预计需要 22-40 周以上的时间。目前 Rigetti 不仅为自己制造器件，而且还为费米实验室、美国空军研究实验室(AFRL)和普渡大学制造器件，2023 年 9 月 Rigetti 宣布与美国空军研究实验室（AFRL）信息局签订了一份为期五年的不定期交付、不定数量（IDIQ）合同，为其研究人员提供量子代工服务。

图表29: Rigetti 的量子晶圆厂内部图



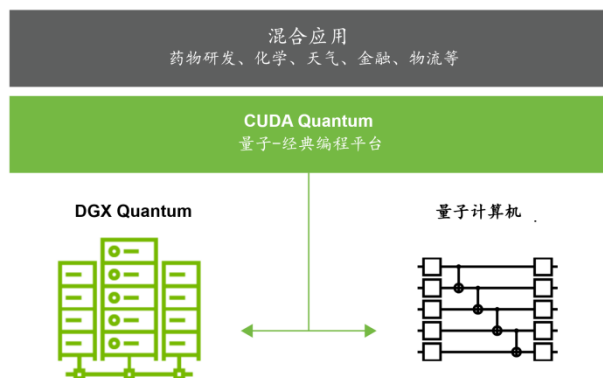
资料来源: Rigetti, 华泰研究

NVIDIA (NVDA US)

英伟达积极推出量子计算与经典计算交互产品。英伟达于 GTC 2022 开发者大会推出用于加速量子计算的 cuQuantum 软件开发包, 并在同期积极开发量子编译器 nvq++ 以用于量子计算机与经典计算机的交互。2022 年 7 月, 英伟达发布统一计算平台——NVIDIA 量子优化设备架构 (QODA), 以加快在人工智能 (AI)、高性能计算 (HPC)、医疗、金融和其他学科的量子研发突破。GTC 2023 开发者大会, 英伟达发布全球首个 GPU 加速的量子计算系统 NVIDIA DGX Quantum, 该系统有助于集成量子处理单元与经典处理单元, 其结合了 NVIDIA Grace Hopper 超级芯片和 the Quantum Machines OPX+ 控制系统, 从而以最高性能运行混合算法、量子纠错、校准和控制; 此外, DGX Quantum 使用 PCIe Gen5 互连在 GPU 和 QPU 之间以提供亚微秒级的低延迟, 进而加速 QPU 相干时间内的量子纠错等基本工作负载。

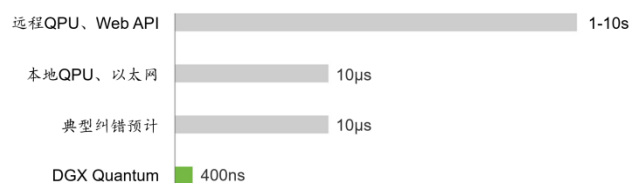
图表30: DGX Quantum 概念图

DGX Quantum



资料来源: 英伟达官网, 华泰研究

图表31: 经典计算与量子计算延迟对比图



资料来源: 英伟达官网, 华泰研究

CUDA QUANTUM 社区不断扩大，助力数字中心加速计算或为未来趋势。SC23 大会上，英伟达公司高性能计算和超大规模数据中心业务副总裁伊恩·巴克表示过去两年时间内英伟达量子计算平台已经积累了 120 多家合作伙伴。CUDA Quantum 是一个用于 CPU、GPU 和量子计算机（也称为 QPU）编程的平台，英伟达与其合作者主要基于该平台。目前，英伟达已经与 Anyon Systems、Atom Computing、IONQ、ORCA Computing、Oxford Quantum Circuits、罗尔斯-罗伊斯和 QuEra 合作，将 CUDA Quantum 整合到他们的平台中；量子软件公司 Agnostiq 和 QMware，多个超级计算中心，如国家先进工业科技研究所、IT 科学中心（CSC）和国家超级计算应用中心（NCSA）、尤利希超级计算机中心（FZJ）也正与英伟达合作。此外，伊恩·巴克还表示量子计算未来的趋势在于数据中心规模的加速计算与英伟达全栈式创新相结合。

图表32：NVIDIA 量子计算业务合作伙伴



资料来源：NVIDIA，华泰研究

D-wave (QBTS US)

D-wave 是量子信息产业的先行者。2011 年，D-wave 成为第一家租赁、交付和安装量子退火系统的公司；2017 年，D-wave 成为第一家在量子计算机上实现早期复杂优化应用的公司，大众汽车将该应用用于出租车路线建模；2018 年，D-wave 成为第一家通过云提供实时量子访问的公司，目前公司继续通过基于云的产品为其客户提供服务；2020 年，D-wave 成为第一家提供混合求解器服务的公司，通过将量子退火和经典资源结合在一起运行多达 100 万变量的问题，并于同年提供了 5000 量子比特系统；2022 年 6 月，D-Wave 发布 7000 量子比特 Advantage2 系统的原型机；2023 年 11 月，D-Wave 证明其 Advantage2 退火量子计算实验原型成功实现了量子纠错（QEM）。

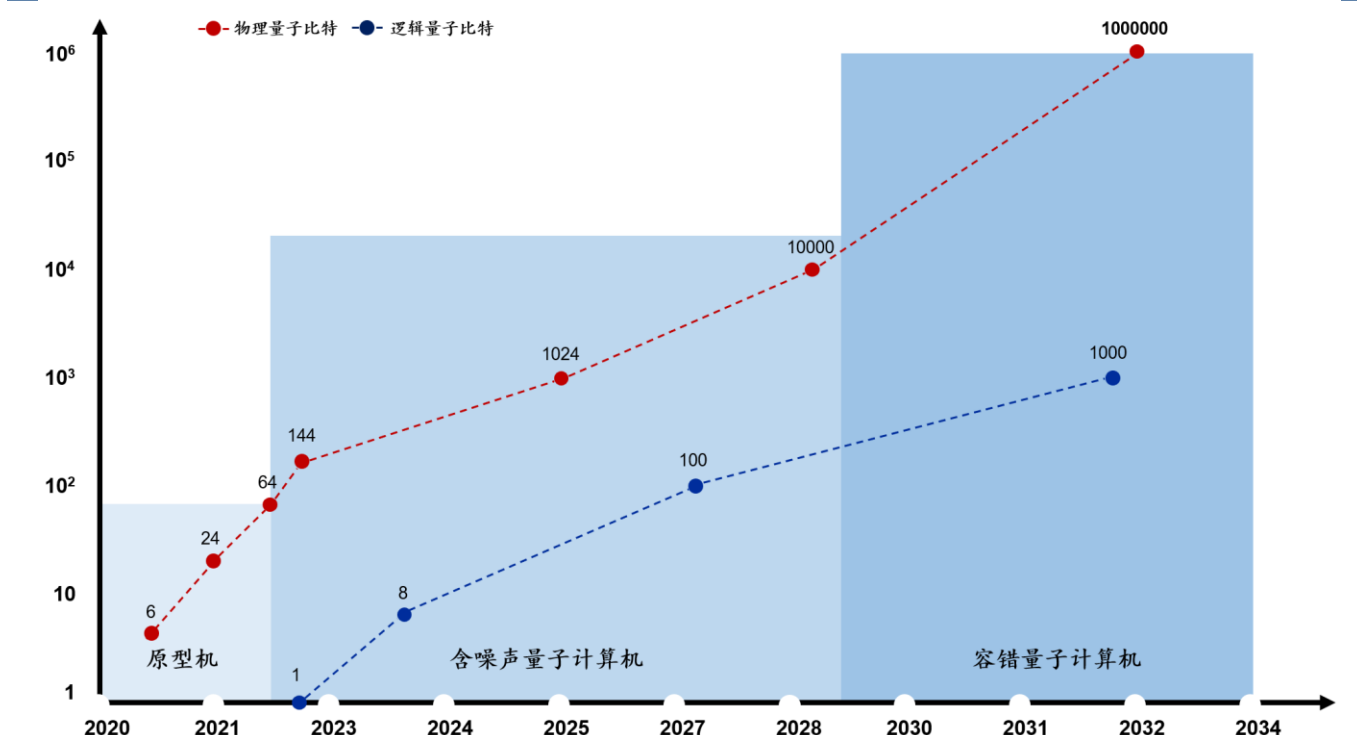
Quantinuum (霍尼韦尔&剑桥量子) (未上市)

Quantinuum 将一流软硬件相结合，加速量子计算技术发展。Quantinuum 于 2021 年在霍尼韦尔收购英国量子公司剑桥量子后，从国防承包商巨头霍尼韦尔分离出来，开始建造量子计算机。2021 年 3 月、7 月和 12 月，霍尼韦尔 SystemModelH1 分别通过 512、1024 和 2048 量子体积的基准测试，持续保持当时的量子体积的世界记录。而剑桥量子公司方面，2021 年 10 月，发布世界上第一个用于量子自然语言处理（QNLP）的工具包和库——lambeq；12 月，利用霍尼韦尔 SystemH1 量子计算机也创建了随机数，并推出世界上第一个量子计算驱动的加密密钥生成平台。2023 年，Quantinuum 宣布推出量子计算系统 H2，其声称该系统是有史以来最精确的量子计算机，并利用该系统创造了非阿贝尔任意子，目前 H2 为 32 量子比特。

本源量子（未上市）

本源量子：国内量子计算龙头企业，布局兼具超导量子与硅量子技术。本源量子 2017 年成立于合肥市高新区，团队技术起源于中科院量子信息重点实验室，创始人为中国科学院院士郭光灿和中国科学技术大学教授郭国平；2021 年 9 月发布未来五年量子计算技术规划路线图，规划至 2025 年将实现 1024 量子比特；2022 年 1 月宣布自主建设的两大实验室正式启用，并将覆盖从量子芯片到量子计算整机软硬件的全栈式开发。本源量子是中国首家可交付量子计算机工程机的公司，是国内目前唯一同时开展超导量子计算与硅基半导体量子计算工程化的团队，本源量子已先后推出了 6 比特超导量子芯片夸父 KF C6-100、24 比特超导量子芯片夸父 KF C24-100、64 比特超导量子芯片 KF C64-200、72 比特超导量子芯片 KF C72-300，以及第二代硅基自旋二比特量子芯片玄微 XW S2-200，其中第三代自主超导量子芯片——“悟空芯”（夸父 KF C72-300）于 24 年 1 月 6 日上线，是目前中国最先进的可编程、可交付超导量子计算机。到 4 月 8 日，“本源悟空”先后被 117 个国家（地区）用户访问超 534 万次，并成功完成 16.8 万个全球量子计算任务。

图表33：本源量子计算技术路线规划图



资料来源：本源量子、华泰研究

国盾量子（688027 CH）

国盾量子：产品矩阵逐渐完善，量子计算占比上升。国盾量子前身为安徽量子通信技术有限公司，起源于中国科学技术大学的量子信息研究团队，早期主要从事量子保密通信产品及相关信息技术服务业务。近年来公司在量子计算及测量仪器设备以产学研深度合作方式推动科技成果转移转化，完成了量子计算原型机整机搭建与销售，搭建了量子计算云平台，以及飞秒激光频率梳、原子重力仪等量子测量产品的导入，有序推进生态建设。现如今公司产品覆盖量子信息技术的量子计算、量子通信和量子测量三大领域，2023 年三大业务营收占比分别为 55%/29%/11%。3 月 12 日国盾量子发布公告《关于 2024 年度向特定对象发行 A 股股票预案》，中国电信旗下中电信量子集团斥资 19 亿元入股国盾量子，持有的股份比例为 23.08%，拥有 41.36% 的股份表决权，本次发行完成后，中电信量子集团将成为公司控股股东，国务院国资委将成为公司实际控制人，强强合作将有利于国盾量子推动量子信息技术产业化发展。

国仪量子（未上市）

国仪量子成立于 2016 年 12 月，源于中国科学技术大学，是国内第一家以量子精密测量为核心技术的国家高新技术企业，主要从事量子精密测量、量子计算和高端科学仪器等技术及相关产品的研制、生产与销售。公司秉承“为国造仪”的理念，积极为解决“卡脖子”问题贡献力量，陆续研制并发布了国际首台量子钻石原子力显微镜、金刚石量子计算教学机，国内首台商用脉冲式电子顺磁共振谱仪、场发射扫描电子显微镜；发布了量子测控系列产品锁相放大器、任意波形发生器，比表面吸附系列产品比表面及孔径分析仪、高温高压气体吸附仪等 20 余款新产品，以上多款仪器突破国际禁运，在关键性能指标上实现了超越。公司产品已经交付到清华大学、上海第九人民医院、华为公司等数百家客户，并在德国、美国、以色列等国家完成海外交付。公司同时致力于用量子技术赋能各行各业，已经在石油勘探、生命科学、先进材料、电力电网等领域实现了示范应用。

风险提示

量子技术发展不及预期：量子科学正处于起步阶段，技术路线选择较多且较为复杂，一旦相关公司在技术研发上出现失误，将耽误产品迭代进展，甚至影响公司在行业中的竞争力。

行业竞争加剧，下游场景难以落地：目前量子技术初创公司数量陆续增加，且头部大厂也在加大研发投入，若整体竞争加剧或行业内公司未能找到合适的商业落地机会，将面临较大压力。

免责声明

分析师声明

本人，黄乐平、张皓怡、陈钰，兹证明本报告所表达的观点准确地反映了分析师对标的证券或发行人的个人意见；彼以往、现在或未来并无就其研究报告所提供的具体建议或所表达的意见直接或间接收取任何报酬。

一般声明及披露

本报告由华泰证券股份有限公司（已具备中国证监会批准的证券投资咨询业务资格，以下简称“本公司”）制作。本报告所载资料是仅供接收人的严格保密资料。本公司及其客户和其关联机构使用。本公司不因接收人收到本报告而视其为客户。

本报告基于本公司认为可靠的、已公开的信息编制，但本公司及其关联机构（以下统称为“华泰”）对该等信息的准确性及完整性不作任何保证。

本报告所载的意见、评估及预测仅反映报告发布当日的观点和判断。在不同时期，华泰可能会发出与本报告所载意见、评估及预测不一致的研究报告。同时，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可能会波动。以往表现并不能指引未来，未来回报并不能得到保证，并存在损失本金的可能。华泰不保证本报告所含信息保持在最新状态。华泰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。

本公司不是 FINRA 的注册会员，其研究分析师亦没有注册为 FINRA 的研究分析师/不具有 FINRA 分析师的注册资格。

华泰力求报告内容客观、公正，但本报告所载的观点、结论和建议仅供参考，不构成购买或出售所述证券的要约或招揽。该等观点、建议并未考虑到个别投资者的具体投资目的、财务状况以及特定需求，在任何时候均不构成对客户私人投资建议。投资者应当充分考虑自身特定状况，并完整理解和使用本报告内容，不应视本报告为做出投资决策的唯一因素。对依据或者使用本报告所造成的一切后果，华泰及作者均不承担任何法律责任。任何形式的分享证券投资收益或者分担证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

除非另行说明，本报告中所引用的关于业绩的数据代表过往表现，过往的业绩表现不应作为日后回报的预示。华泰不承诺也不保证任何预示的回报会得以实现，分析中所做的预测可能是基于相应的假设，任何假设的变化可能会显著影响所预测的回报。

华泰及作者在自身所知情的范围内，与本报告所指的证券或投资标的不存在法律禁止的利害关系。在法律许可的情况下，华泰可能会持有报告中提到的公司所发行的证券头寸并进行交易，为该公司提供投资银行、财务顾问或者金融产品等相关服务或向该公司招揽业务。

华泰的销售人员、交易人员或其他专业人士可能会依据不同假设和标准、采用不同的分析方法而口头或书面发表与本报告意见及建议不一致的市场评论和/或交易观点。华泰没有将此意见及建议向报告所有接收者进行更新的义务。华泰的资产管理部门、自营部门以及其他投资业务部门可能独立做出与本报告中的意见或建议不一致的投资决策。投资者应当考虑到华泰及/或其相关人员可能存在影响本报告观点客观性的潜在利益冲突。投资者请勿将本报告视为投资或其他决定的唯一信赖依据。有关该方面的具体披露请参照本报告尾部。

本报告并非意图发送、发布给在当地法律或监管规则下不允许向其发送、发布的机构或人员，也并非意图发送、发布给因可得到、使用本报告的行为而使华泰违反或受制于当地法律或监管规则的机构或人员。

本报告版权仅为本公司所有。未经本公司书面许可，任何机构或个人不得以翻版、复制、发表、引用或再次分发他人（无论整份或部分）等任何形式侵犯本公司版权。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，并需在使用前获取独立的法律意见，以确定该引用、刊发符合当地适用法规的要求，同时注明出处为“华泰证券研究所”，且不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删节和修改。本公司保留追究相关责任的权利。所有本报告中使用的商标、服务标记及标记均为本公司的商标、服务标记及标记。

中国香港

本报告由华泰证券股份有限公司制作，在香港由华泰金融控股（香港）有限公司向符合《证券及期货条例》及其附属法律规定的机构投资者和专业投资者的客户进行分发。华泰金融控股（香港）有限公司受香港证券及期货事务监察委员会监管，是华泰国际金融控股有限公司的全资子公司，后者为华泰证券股份有限公司的全资子公司。在香港获得本报告的人员若有任何有关本报告的问题，请与华泰金融控股（香港）有限公司联系。

香港-重要监管披露

- 华泰金融控股（香港）有限公司的雇员或其关联人士没有担任本报告中提及的公司或发行人的高级人员。
- 有关重要的披露信息，请参华泰金融控股（香港）有限公司的网页 https://www.htsc.com.hk/stock_disclosure 其他信息请参见下方“美国-重要监管披露”。

美国

在美国本报告由华泰证券（美国）有限公司向符合美国监管规定的机构投资者进行发表与分发。华泰证券（美国）有限公司是美国注册经纪商和美国金融业监管局（FINRA）的注册会员。对于其在美国分发的研究报告，华泰证券（美国）有限公司根据《1934 年证券交易法》（修订版）第 15a-6 条规定以及美国证券交易委员会人员解释，对本研究报告内容负责。华泰证券（美国）有限公司联营公司的分析师不具有美国金融监管（FINRA）分析师的注册资格，可能不属于华泰证券（美国）有限公司的关联人员，因此可能不受 FINRA 关于分析师与标的公司沟通、公开露面和所持交易证券的限制。华泰证券（美国）有限公司是华泰国际金融控股有限公司的全资子公司，后者为华泰证券股份有限公司的全资子公司。任何直接从华泰证券（美国）有限公司收到此报告并希望就本报告所述任何证券进行交易的人士，应通过华泰证券（美国）有限公司进行交易。

美国-重要监管披露

- 分析师黄乐平、张皓怡、陈钰本人及相关人士并不担任本报告所提及的标的证券或发行人的高级人员、董事或顾问。分析师及相关人士与本报告所提及的标的证券或发行人并无任何相关财务利益。本披露中所提及的“相关人士”包括 FINRA 定义下分析师的家庭成员。分析师根据华泰证券的整体收入和盈利能力获得薪酬，包括源自公司投资银行业务的收入。
- 华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司，及/或不时会以自身或代理形式向客户出售及购买华泰证券研究所覆盖公司的证券/衍生工具，包括股票及债券（包括衍生品）华泰证券研究所覆盖公司的证券/衍生工具，包括股票及债券（包括衍生品）。
- 华泰证券股份有限公司、其子公司和/或其联营公司，及/或其高级管理层、董事和雇员可能会持有本报告中所提到的任何证券（或任何相关投资）头寸，并可能不时进行增持或减持该证券（或投资）。因此，投资者应该意识到可能存在利益冲突。

新加坡

华泰证券（新加坡）有限公司持有新加坡金融管理局颁发的资本市场服务许可证，可从事资本市场产品交易，包括证券、集体投资计划中的单位、交易所交易的衍生品合约和场外衍生品合约，并且是《财务顾问法》规定的豁免财务顾问，就投资产品向他人提供建议，包括发布或公布研究分析或研究报告。华泰证券（新加坡）有限公司可能会根据《财务顾问条例》第 32C 条的规定分发其在华泰内的外国附属公司各自制作的信息/研究。认可投资者、专家投资者或机构投资者使用，华泰证券（新加坡）有限公司不对本报告内容承担法律责任。如果您是非预期接收者，请您立即通知并直接将本报告返回给华泰证券（新加坡）有限公司。本报告的新加坡接收者应联系您的华泰证券（新加坡）有限公司关系经理或客户主管，了解来自或所分发的信息相关的事宜。

评级说明

投资评级基于分析师对报告发布日后 6 至 12 个月内行业或公司回报潜力（含此期间的股息回报）相对基准表现的预期

（A 股市场基准为沪深 300 指数，香港市场基准为恒生指数，美国市场基准为标普 500 指数，台湾市场基准为台湾加权指数，日本市场基准为日经 225 指数），具体如下：

行业评级

增持：预计行业股票指数超越基准

中性：预计行业股票指数基本与基准持平

减持：预计行业股票指数明显弱于基准

公司评级

买入：预计股价超越基准 15% 以上

增持：预计股价超越基准 5%~15%

持有：预计股价相对基准波动在-15%~5%之间

卖出：预计股价弱于基准 15% 以上

暂停评级：已暂停评级、目标价及预测，以遵守适用法规及/或公司政策

无评级：股票不在常规研究覆盖范围内。投资者不应期待华泰提供该等证券及/或公司相关的持续或补充信息

法律实体披露

中国：华泰证券股份有限公司具有中国证监会核准的“证券投资咨询”业务资格，经营许可证编号为：91320000704041011J

香港：华泰金融控股（香港）有限公司具有香港证监会核准的“就证券提供意见”业务资格，经营许可证编号为：AOK809

美国：华泰证券（美国）有限公司为美国金融业监管局（FINRA）成员，具有在美国开展经纪交易商业务的资格，经营业务许可编号为：CRD#:298809/SEC#:8-70231

新加坡：华泰证券（新加坡）有限公司具有新加坡金融管理局颁发的资本市场服务许可证，并且是豁免财务顾问。公司注册号：202233398E

华泰证券股份有限公司**南京**

南京市建邺区江东中路 228 号华泰证券广场 1 号楼/邮政编码：210019

电话：86 25 83389999/传真：86 25 83387521

电子邮件：ht-rd@htsc.com

深圳

深圳市福田区益田路 5999 号基金大厦 10 楼/邮政编码：518017

电话：86 755 82493932/传真：86 755 82492062

电子邮件：ht-rd@htsc.com

北京

北京市西城区太平桥大街丰盛胡同 28 号太平洋保险大厦 A 座 18 层/

邮政编码：100032

电话：86 10 63211166/传真：86 10 63211275

电子邮件：ht-rd@htsc.com

上海

上海市浦东新区东方路 18 号保利广场 E 栋 23 楼/邮政编码：200120

电话：86 21 28972098/传真：86 21 28972068

电子邮件：ht-rd@htsc.com

华泰金融控股（香港）有限公司

香港中环皇后大道中 99 号中环中心 53 楼

电话：+852-3658-6000/传真：+852-2567-6123

电子邮件：research@htsc.com

http://www.htsc.com.hk

华泰证券（美国）有限公司

美国纽约公园大道 280 号 21 楼东（纽约 10017）

电话：+212-763-8160/传真：+917-725-9702

电子邮件：Huatai@htsc-us.com

http://www.htsc-us.com

华泰证券（新加坡）有限公司

滨海湾金融中心 1 号大厦，#08-02，新加坡 018981

电话：+65 68603600

传真：+65 65091183

©版权所有 2024 年华泰证券股份有限公司