

行业报告：量子信息

2025年10月10日



中航证券有限公司
AVIC SECURITIES CO., LTD.

量子信息：引领未来全球科技变革之关键力量

行业评级：增持

分析师：卢正羽
证券执业证书号：S0640521060001

核心观点

- **量子信息：引领未来全球科技变革之关键力量。**量子信息主要包括量子计算、量子通信和量子测量三大应用领域，在提升计算困难问题运算处理能力、加强信息安全保护能力、提高传感测量精度等方面，具备突破经典信息技术瓶颈的潜力，正在成为全球科技竞争新焦点。近年来，随着相关前沿技术的快速突破，英伟达CEO黄仁勋在年初还认为量子计算实用化还需“数十年”，6月份即公开表示该技术正迎来“拐点”，实用化可能比预期更早到来。
- **量子计算理论算力指数级超越电子计算。**量子计算利用量子纠缠和量子叠加特性，在理论上实现对经典算法的指数级加速效果。量子与AI产业的协同创新，不仅为量子计算注入新的发展动力，也可能为推动AI产业发展开辟新路径、新思路。当前，量子计算产业正处于技术突破、应用探索、产业培养同步推进的关键期。国内量子计算的发展也呈现出“硬件多点开花、软件工具补齐、产业协同发力”的良好态势。根据IDC数据，2022年全球量子计算技术(包括硬件、软件和即服务解决方案)市场规模为11亿美元，2027年将增长至76亿美元左右。预计量子计算的商用元年在2030年，市场需求超过1000亿美元，2022-2030年年均复合增长率达79.72%。
- **量子通信与量子测量：绝对安全与极限精度。**量子通信，是迄今唯一被严格证明无条件安全的通信方式。当前，基于量子密钥分发（QKD）的量子保密通信技术已进入实用化阶段，商用化产品研发和试验网络建设发展较为迅速。量子测量，是突破经典测量精度极限的综合性测量技术。原子钟、原子重力仪等已成熟商用，量子磁力计、光量子雷达和量子陀螺等处于工程化研发和应用探索阶段，量子关联成像、里德堡原子天线等尚处系统技术攻关期。根据Coherent Market Insights数据，2030年全球量子通信产业规模预计达到78.5亿美元；ICV TA&K数据显示，2030年量子精密测量市场规模预计增长到25.27亿美元。
- **投资建议：**我们认为，随着全球在量子技术领域不断取得积极进展，量子信息正在成为引领未来全球科技变革之关键力量。同时，国内相关企业在量子前沿科技领域具有相对领先、全面、深入的技术、产品及市场布局，未来可能充分享受朝阳产业快速成长的市场红利。建议关注：国盾量子、禾信仪器、科大国创、神州信息、电科网安、吉大正元等产业链相关企业。

目录

1

量子信息：引领未来全球科技变革之关键力量

2

量子计算：理论算力指数级超越电子计算

3

量子通信与量子测量：绝对安全与极限精度

4

国内主要科技企业在量子技术及相关应用领域的市场布局

1

量子信息：引领未来全球科技变革之关键力量

量子科技在提升计算困难问题运算处理能力、加强信息安全保护能力、提高传感测量精度等方面，具备突破经典信息技术瓶颈的潜力，正在成为全球科技竞争新焦点。近年来，随着相关前沿技术的快速突破，英伟达CEO黄仁勋在年初还认为量子计算实用化还需“数十年”，6月份即公开表示该技术正迎来“拐点”，实用化可能比预期更早到来。

- 2025年7月，欧盟委员会正式推出《量子战略》（Quantum Strategy），旨在2030年前使欧洲成为全球量子技术领导者。该战略将培育具有韧性和自主性的量子生态系统，助力初创企业成长，推动突破性科研成果转化为市场应用，巩固欧洲的科学领先地位。量子技术将从医药研发突破到关键基础设施安全防护，彻底改变应对复杂挑战的方式；不仅将为欧盟工业竞争力和技术主权开辟新机遇，还可在国防安全领域展现出军民两用潜力。预计到2040年，该领域将在欧盟创造数千个高技能岗位，全球市场规模突破1550亿欧元。
- 9月，美国和英国签署《科技繁荣协议》，重点聚焦人工智能、量子科技和民用核能三大前沿技术领域合作。双方将共同开发量子计算机，以改变国防、金融和医疗保健；成立美英基准测试工作组，以加速量子计算硬件、软件和算法基准测试的突破；利用人工智能和高性能计算，通过协调研究合作加速量子算法开发和系统准备；通过量子计算、传感和网络领域的互补多边和双边预标准化活动，推进可信的、可互作的量子技术标准。
- 科技巨头英伟达对量子计算的态度发生较大转折。英伟达CEO黄仁勋在年初还认为量子计算实用化还需“数十年”，6月份即公开表示该技术正迎来“拐点”，实用化可能比预期更早到来。英伟达的战略并非自己制造量子处理器（QPU），而是致力于成为连接量子计算与经典高性能计算的平台和基础设施提供者。其早在2024年11月推出的CUDA-Q开源平台就是这一战略的核心，旨在将GPU的优势与量子处理器相结合。近期，英伟达已经完成对两家量子计算企业投资，分别为离子阱 (Trapped Ion)技术路线的Quantinuum，以及光量子技术子 (Photonic)路线的Postquantum。

图表：英伟达近期两笔量子科技投资的核心信息

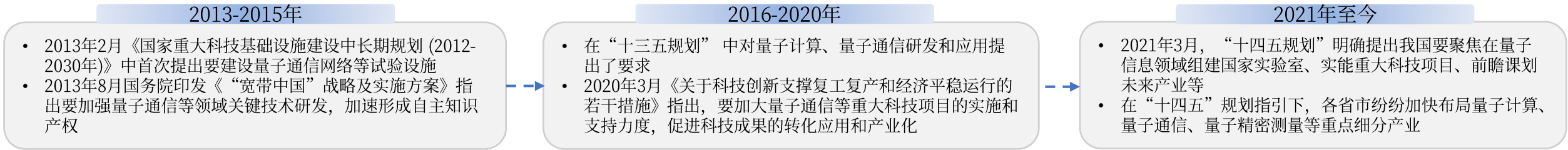
投资标的	Quantinuum	PsiQuantum
投资时间	2025年9月4日	2025年9月10日
技术路线	离子阱 (Trapped Ion)	光量子 (Photonic)
融资规模	6亿美元（英伟达参与部分投资）	10亿美元（英伟达作为跟投方参与）
估值	投前100亿美元	投后70亿美元
战略合作内容	此前已合作共建“加速量子研究中心”，推动量子技术发展。	重点合作开发量子硬件与AI芯片的整合，并联合开发可在GPU上运行的量子算法。

1.2 全球主要国家（地区）量子科技相关政策概览

图表：今年欧美量子信息相关政策

区域	政策/战略名称	发布时间	核心目标
美国	《后量子金融基础设施框架》（PQFIF）政策提案	2025年9月	保护金融系统免受量子计算攻击，确保市场信心
美国	《国家量子网络安全迁移战略法案》提案	2025年8月	保护联邦政府系统免受量子解密威胁
美国	《关键与新兴技术领导力法案》（CET法案）提案	2025年7月	加速关键技术创新和领导力，盖人工智能、半导体设计和量子信息科学三大领域
美国	境外投资审查行政令最终规则	2025年1月（生效）	防止敏感技术通过投资外流
欧盟	量子战略	2025年7月	提升欧洲量子公司在全球私人资金中的份额
欧盟	更新两用物品管制清单	2025年9月	对量子计算机及相关设备、部件实施出口管制
日本	日本500亿日元投资扶持量子计算	2025年8月	支持富士通和KDDI等10多家日本企业开发量子计算机

图表：我国量子信息政策发展



图表：我国今年量子信息行业最新政策汇总一览表

政策层级	政策名称/来源	发布单位/地区	核心举措/目标摘要
国家层面	2025年政府工作报告	国务院	建立未来产业投入增长机制，将量子科技列为重点培育的四大未来产业之一。
国家层面	2025年未来产业创新任务“揭榜挂帅”	工业和信息化部	面向量子计算、量子通信、量子精密测量，布局17项揭榜任务，设定2026年具体技术目标。
地方层面	《关于推动量子科技和产业高质量发展的若干措施》	北京经济技术开发区（亦庄）	打造“量子星座”生态社区，对技术攻关、场景开放、计算平台建设等给予最高3000万元资金支持。
地方层面	《关于支持量子科技产业发展的若干措施》（“量子十二条”）	武汉东湖高新区（光谷）	对领军人才项目最高支持1000万元，对承担国家攻关项目按国拨经费50%给予配套，单个项目最高给予1000万元支持

资料来源：前瞻产业研究院、中商产业研究院、光明网、通信世界等，中航证券研究所

1.3 我国高度重视量子科技新质生产力发展

- 2023年12月，习近平总书记在中央经济工作会议中提到“开辟量子、生命科学等未来产业新赛道”。**2024年1月，工信部等七部门联合发布《关于推动未来产业创新发展的实施意见》，其中多处提出发展量子信息技术。2024年3月，国务院《政府工作报告》指出，2023年我国科技创新实现新的突破，包括“量子技术等前沿领域创新成果不断涌现”等，“制定未来产业发展规划，开辟量子技术、生命科学等新赛道”。2024年3月，国务院国资委按照“四新”（新赛道、新技术、新平台、新机制）标准，遴选确定了首批启航企业，加快新领域新赛道布局、培育发展新质生产力。首批启航企业多数成立于3年以内，重点布局人工智能、量子信息、生物医药等新兴领域。
- 中美科技竞争加剧，22家国内量子科技研发机构被列入美国实体清单。**当地时间2024年5月9日，美国商务部发布消息，37家中国实体被加入实体清单，其中22个实体与量子科技有关。北京量子信息科学研究院、中国科学院量子信息和量子科技前沿创新卓越中心、本源量子、深圳量子科学与工程研究院等国内一线量子产业科研机构均在名单上。

图表：2024年5月9日的更新中被列入实体名单的22家国内量子科技相关机构

10家中电科单位

中电科芯片技术（集团）有限公司
 中电科思仪科技股份有限公司
 中国电子科技集团公司第十六研究所
 中国电子科技集团公司第三十二研究所
 中国电子科技集团公司第三十六研究所
 中国电子科技集团公司第四十一研究所
 中国电子科技集团公司第四十五研究所
 中国电子科技集团公司电子装备集团有限公司
 量子科技长三角产业创新中心
 联合微电子中心有限责任公司

一中心四基地

合肥量子信息科学国家实验室
 上海量子科学研究中心
 深圳量子科学与工程研究院
 北京量子信息科学研究院
 济南量子技术研究院

4个中科院所

中国科学院量子信息与量子科技前沿卓越创新中心
 中国科学院物理研究所
 中国科学院量子信息重点实验室
 中国科学院上海微系统与信息技术研究所

2家公司

中船重工鹏力（南京）超低温技术有限公司
 本源量子计算技术（合肥）股份有限公司

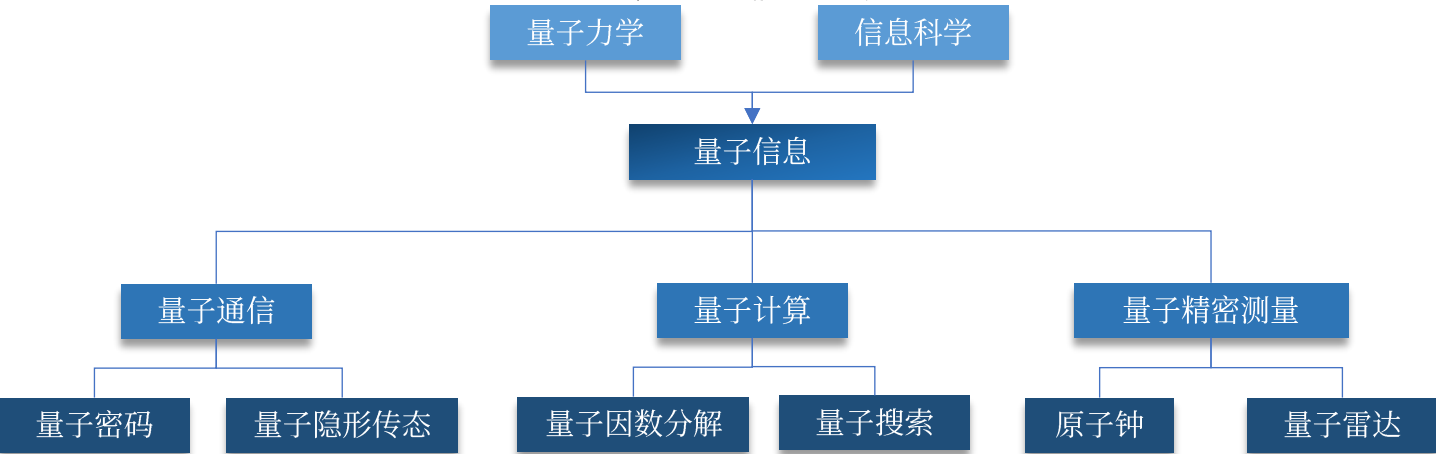
1个大学

中国科学技术大学

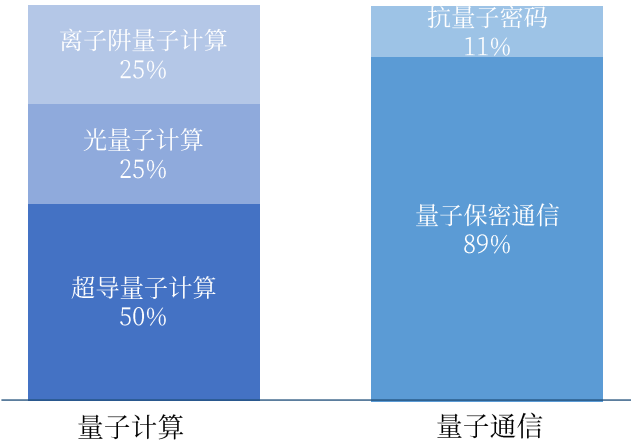
1.4 前沿创新具备突破经典信息技术瓶颈的潜力

➤ 量子信息技术属于战略性、基础性的前沿科技创新。以量子力学原理为基础，通过对微观量子系统中物理状态的制备、调控和测量，实现信息感知、计算和传输。主要包括量子计算、量子通信和量子测量三大应用领域，在提升计算困难问题运算处理能力、加强信息安全保护能力、提高传感测量精度等方面，具备突破经典信息技术瓶颈的潜力。

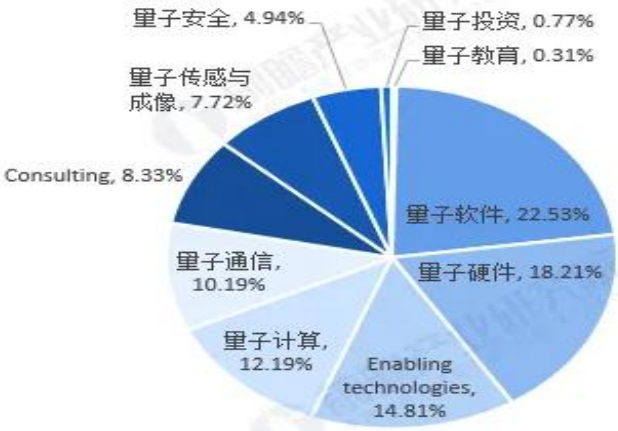
图表：量子信息三大领域



图表：截止2023年4月中国量子信息企业研发领域细分（单位：%）



图表：截止2023年全球量子信息技术投资赛道分布（单位：%）



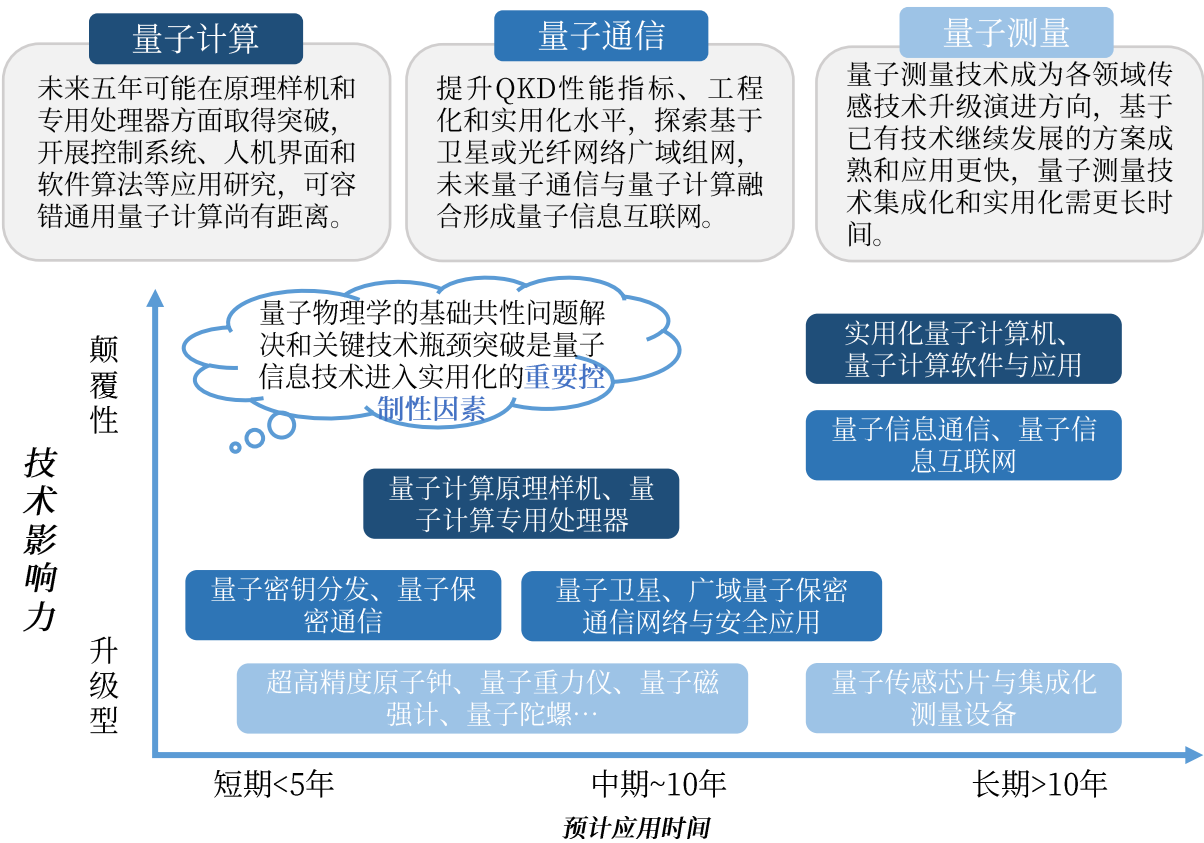
图表：量子信息领域概括

领域	量子计算	量子通信	量子测量
概念释义	遵循量子力学规律来调控量子信息单元进行计算的新型计算模式	利用量子力学原理，通过移动量子态来实现信号、信息和量子态的转移和传输	基于量子体系纠缠、压缩、高阶关联等特性，实现对量子态的操控和测量
功能特点	能够实现0和1同时存在的计算状态叠加，具有远超传统计算的强大并行计算和模拟能力	利用量子叠加状态或量子纠缠效应等进行信息的编码或密钥的安全传输	量子测量的精度更高、探测距离更远、测量设备体积更小、测量手段和维度更丰富
应用场景	在生物制药、材料研发、分子化学、资源勘探等领域，通过量子处理器来模拟量子系统运行状态；在人工智能、量化金融、密码解析、交通优化等大规模计算领域，加速机器学习和大数据处理能力	主要是量子密钥分发和量子隐形传态技术的应用，提供军事国防、国家政务、金融交易，互联网云服务，电力系统等领域的信息安全保障服务	集中于量子时须同步、量子重力测量、量子磁场测量、量子定位导航、量子目标识别等五大领域，覆盖军事国防、航空航天、生物医疗、能源勘探、交通运输、灾害预警等行业
典型研发产品	D-Wave量子计算机、“悬铃木”量子计算机、光量子计算原型机“九章”与“九章二号”、超导量子计算机原型机“祖冲之”与“祖冲之二号”	美国量子通信网络、欧盟光纤-OT-实验网络、东京高速量子通信网络、中国科学实验卫星“墨子号”、微纳量子卫星“济南一号”、保密通信骨干线路“京沪干线”	时钟源、原子干涉磁力仪、量子干涉器件磁力计、原子干涉加速度计、原子干涉陀螺仪、原子干涉重力仪、原子干涉重力梯度仪、量子雷达

资料来源：中国信通院、中科院物理所、前瞻产业研究院，中航证券研究所

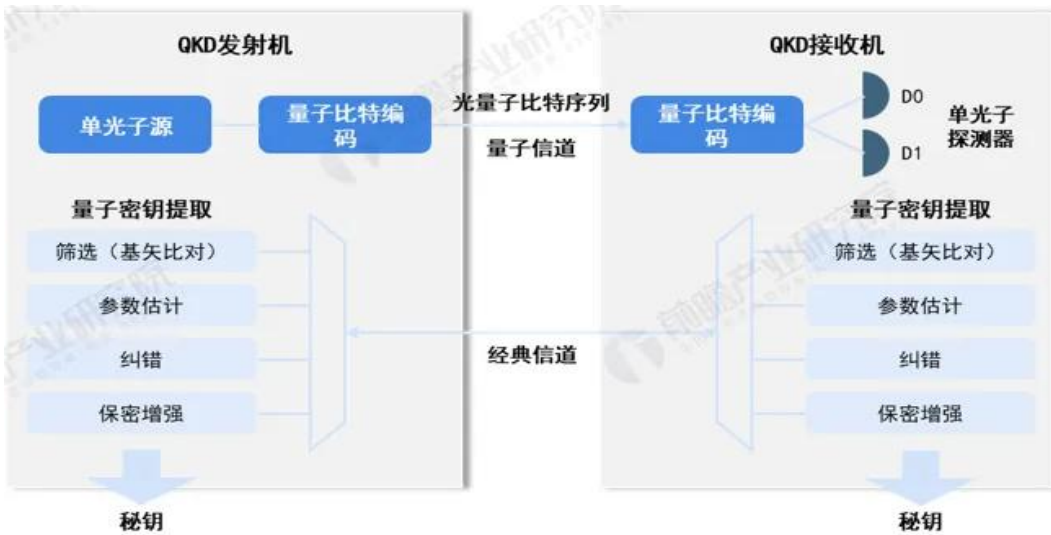
1.5 主要应用场景、技术路线及发展方向

图表：量子信息总体技术路线



➤ 量子信息三大技术领域在研究发展水平，技术实用化程度，产品工程化能力和产业化应用前景等方面各有差异。量子信息技术的研究和应用仍面临一些**共性关键技术和核心问题瓶颈**需要进一步攻关突破。例如，量子通信中的高质量量子态光源，高效纠缠制备分发及探测，高性能单光子探测，以及量子态存储与中继技术等；量子计算中的高维纠缠态制备与操控，高品质样品材料制备，超低温和磁场隔离环境，高精度操控测量系统等；量子测量中的高精度操控系统和集成化隔离屏蔽环境等。上述**基础共性关键问题研究**的攻关和突破，是量子信息技术进入实用化和产业化主要控制性因素。

图表：量子密钥分发技术原理



图表：量子测量主要技术方向



- 量子通信利用量子态作为信息载体进而实现信息交互，典型应用形式包括量子密钥分发(Quantum Key Distribution, QKD)和量子隐形传态(Quantum Teleportation, QT)。目前，QKD是量子通信与安全领域里最成熟的技术产品，已经在多国多行业展开应用。
- 量子测量是距离实用化最近的量子技术方向。根据物理媒介和制备操控方式不同，存在冷原子、热原子蒸气、氮空位(NV)色心、里德堡原子、量子纠缠、单光子等多种技术路线。国内外研究机构和初创企业在陆续推出了冷原子钟、重力仪、磁力计、光量子雷达等样机和产品，并逐步走向商业应用。

1.6 量子信息产业相关市场规模展望

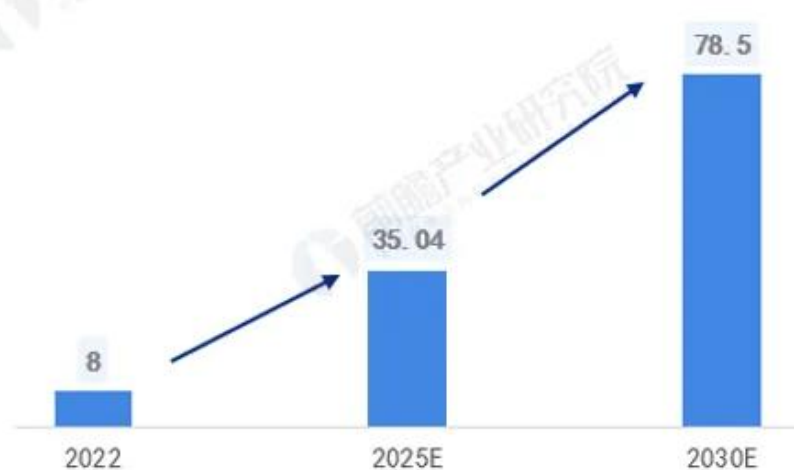
- **量子计算**：根据IDC数据，2022年全球量子计算技术(包括硬件、软件和即服务解决方案)市场规模为11亿美元，2027年将增长至76亿美元左右。预计量子计算的商用元年在2030年，市场需求超过1000亿美元，2022-2030年年均复合增长率达79.72%。
- **量子通信**：量子通信产业从目前已经发展的形态来看，主要是由量子物理加密产品与技术(例如QKD)、PQC、QRNG等带来的产业价值。到2025年，预计市场规模将达到35.04亿美元。根据Coherent Market Insights数据，2030年全球量子通信产业规模预计达到78.5亿美元。
- **量子测量**：ICV TA&K数据显示，2022年，全球量子精密测量市场规模达到13.27亿美元，产业整体初具规模。预计2030年，量子精密测量市场数据增长到25.27亿美元。

图表：2022-2030年全球量子计算产业规模预测
(单位：亿美元)



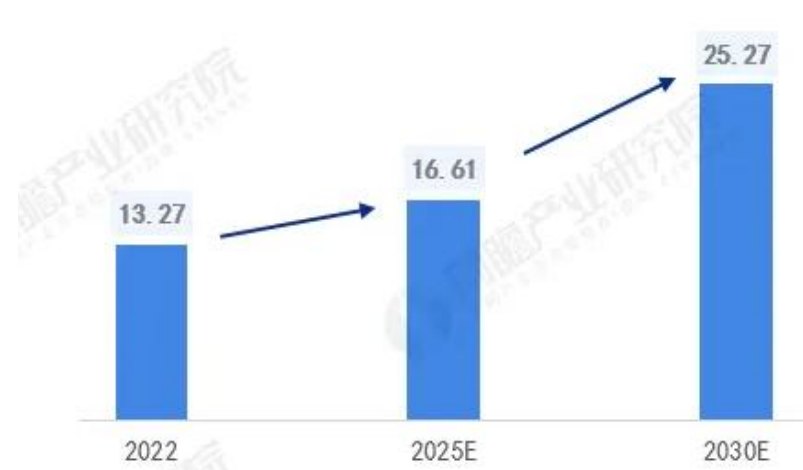
量子计算
2030年左右实现商业化，市场规模超过千亿美元

图表：2022-2030年全球量子通信产业规模预测
(单位：亿美元)



量子通信
备受市场关注，行业规模增长迅速

图表：2022-2030年全球量子测量产业规模预测
(单位：亿美元)



量子测量
产业商业化进一步成熟，量子磁力计和量子时钟占据主要市场

2

量子计算：理论算力指数级超越电子计算

量子计算利用量子纠缠和量子叠加特性，在理论上实现对经典算法的指数级加速效果。量子与 AI 产业的协同创新，不仅为量子计算注入新的发展动力，也为推动AI产业发展开辟新路径、新思路。当前，量子计算产业正处于技术突破、应用探索、产业培养同步推进的关键期。国内量子计算的发展也呈现出“硬件多点开花、软件工具补齐、产业协同发力”的良好态势。根据ICV预测，2023年，全球量子计算产业规模达到47亿美元，2023至2028年的年平均增长率（CAGR）达到44.8%。

2.1 量子计算的颠覆性技术优势

- 量子计算的强大并行计算与模拟能力属于面向未来的颠覆性技术，理论上可以实现对传统电子计算的指数级加速效果。
- 2012年“量子优势”(quantum supremacy)概念提出；2019年谷歌团队实现实验验证，开启量子优势新时代；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。当前，量子计算机所能拥有的量子比特数已经由最初的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。近期，玻色量子推出1000量子比特的相干光量子计算机模型，标志着专用量子计算正式迈向千比特规模化实用新阶段。相关技术不断突破，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。

图表：量子计算所运用的物理特性

量子叠加

任一量子系统都可以表示为描述量子系统不同状态（量子态）的线性组合，表现为如果输入是多个可能输入状态的线性组合时，输出态也将是所有输入态对应输出态的线性组合，这是量子物理最基本、最显著的原理，也是量子并行计算的核心

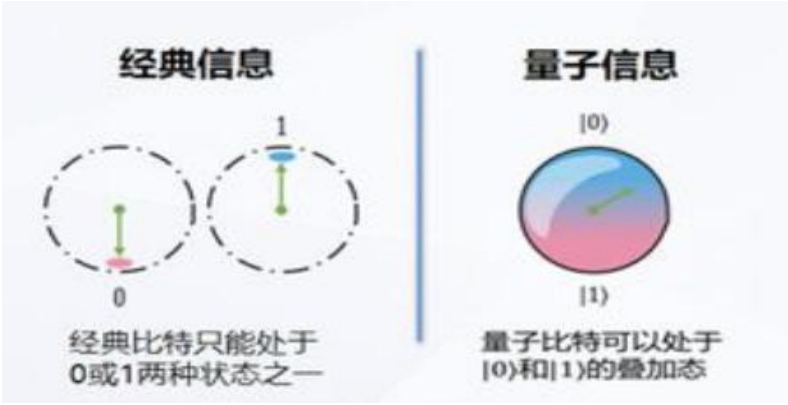
量子纠缠

量子纠缠能让一个量子比特与空间上独立的其他量子比特共享自身状态，创造出一种超级叠加，实现量子并行计算，其计算能力可随着量子比特位数的增加呈指数增长

量子纠错

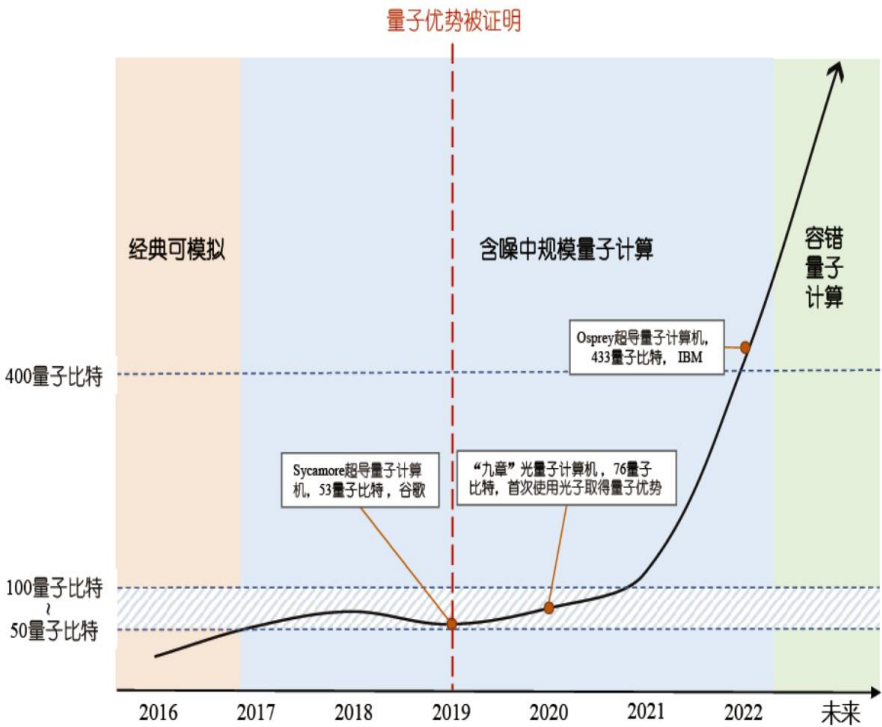
是一类保护量子态信息免受环境噪声或退相干影响的技术，是进行高保真量子信息处理的重要环节。量子计算机由于不可避免的退相干影响，以及操作精度受限的原因，量子纠错成为量子计算机发展中重要的一步。

图表：量子比特对比传统比特



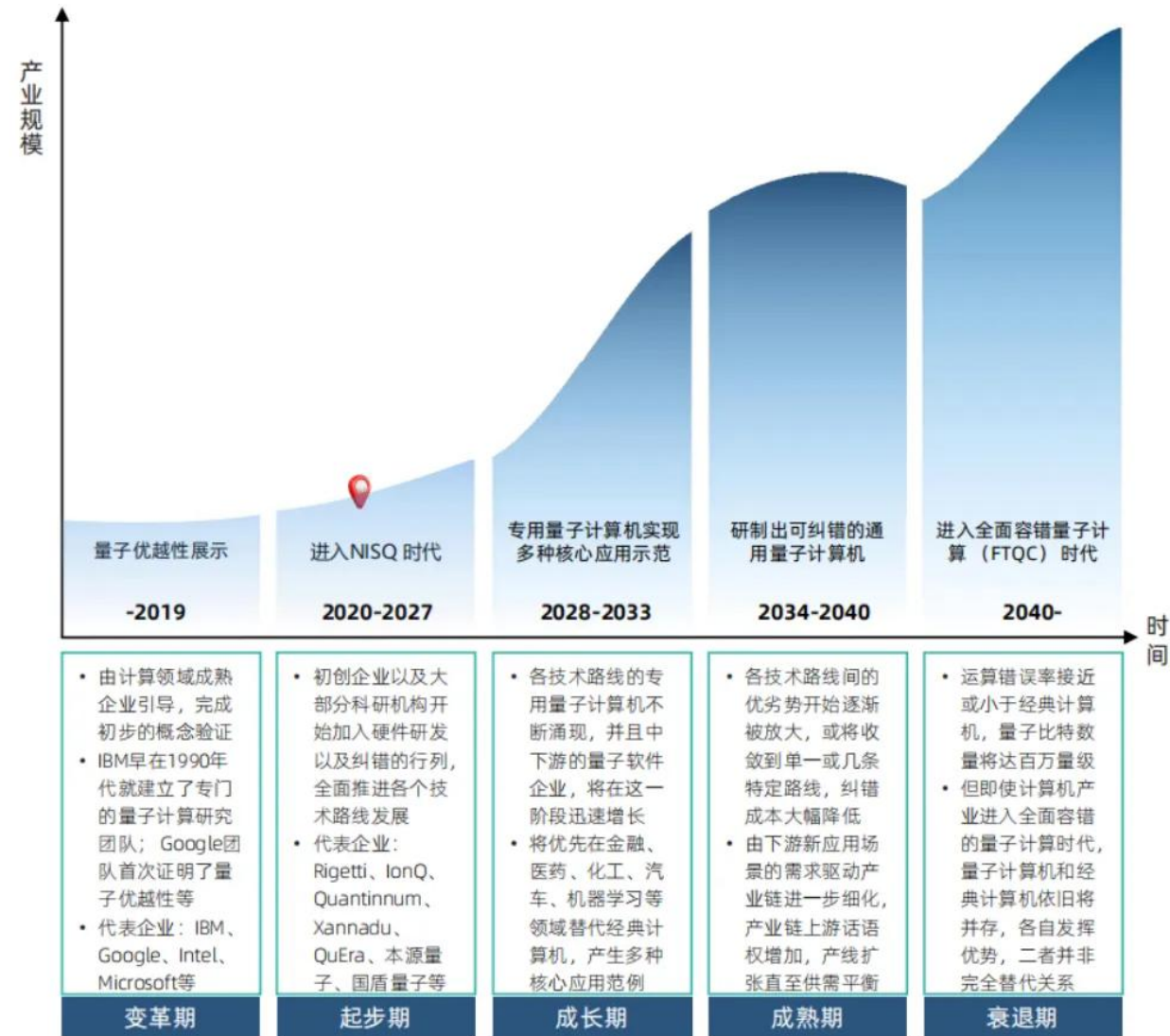
- 经典比特是二进制变量，一个比特只能处于0或1的状态，在某一刻，两个经典比特最多只能表示00、10、01、11这4种可能性的一种。
- 由于量子的叠加性，每一个量子比特同一时刻可以处在两个不同状态上，一个比特既可以是0也可以是1。因此，两个量子比特可以同时表示00、01、10、11这4种可能性，是经典的 2^2 倍。
- 随着比特数增加，其信息的存储量和运行速度会以指数级增加，例如， N 个量子比特(假设每个量子比特均有效)可以同时表示 2^N 种可能性，而经典计算机则望尘莫及。
- 量子计算机采用的是并行运算模式，处理数据的速度更快。

图表：经典计算机与量子计算机运算能力对比

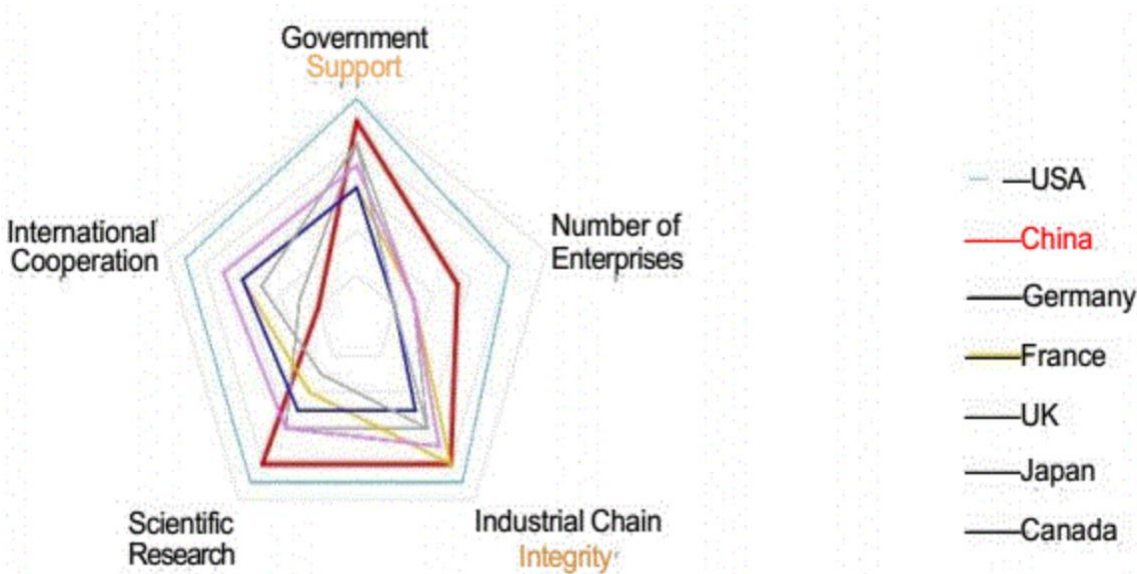


2.1.1 产业主要成长历程

图表：全球量子计算发展历程



图表：全球主要科技强国量子计算生态建设情况



- 美国在量子计算产业链上具有明显优势，政府对量子计算的高度重视和大力支持推动了企业数量的增长，其中涵盖各类型的企业，包括IBM、谷歌、微软、亚马逊等。
- 中国在量子计算领域崛起迅猛，近些年在光量子计算机等方面取得显著优势，但在量子芯片和超低温设备等方面仍与美国存在较大差距。
- 德国、法国等欧洲国家在量子生态建设上表现出积极态势。德国量子计算企业数量在全球中位于前列，技术水平较高，在离子阱、中性原子等方向领先。
- 英国、日本、加拿大等国在量子计算领域有所建设。英国在量子计算机规模和类型方面仍有不足。日本在量子软件和服务方面仍有一定劣势。

2.1.2 近年来基础理论研究与技术创新的发展迅速

➤ 当前，量子计算产业正处于技术突破、应用探索、产业培养同步推进的关键期。相关科研基础理论研究及技术创新发展极其迅速，已经成为全球新一轮科技竞争的前沿研究热点。

▣ **理论研究：**全球量子计算科研论文数量，从2015年的1000余篇增至2024年的5000余篇。2019年开始进入加速期，2020-2021年均增量超过500篇，2024年增量达到1600余篇、同比增速42%。基于发展趋势判断，我们认为在相关基础理论科研领域已经进入不断突破、快速落地的成长早期。

▣ **发明专利：**近十年，全球量子计算发明专利申请量共计19000余件，授权总量达到8000余件。专利授权方面，2016年开始进入稳健增长期，2024年创下峰值记录。根据现有数据判断，预计未来年授权规模仍将保持稳健、快速增长态势。

▣ **技术来源：**美国和中国属于量子计算专利申请的主要技术来源国，分别占比49.34%和24.36%，在相关领域的创新活力与技术产出能力较强。此外，欧洲、日本、印度、韩国等国家（地区）也均有一定技术占比。

图表：全球量子计算科研论文及发明专利发展



2.1.3 行业投融资渐趋活跃态势明显，2025年有望实现跨越式增长

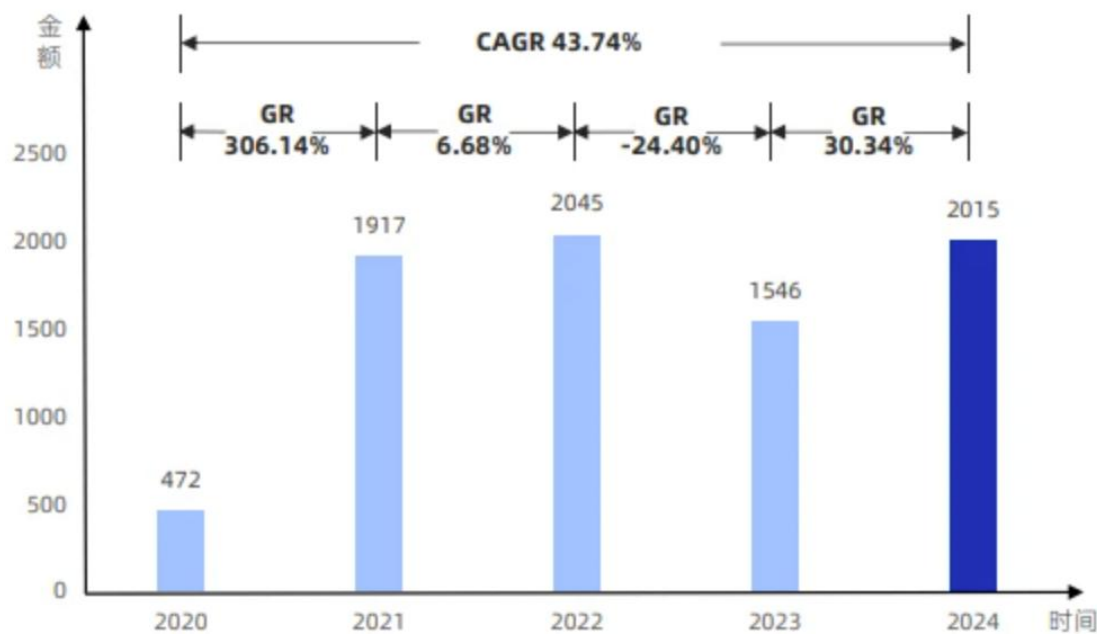
▶ **2017年行业投融资活跃度开始明显提升，2021-2022年总量初具规模。**2021年起每年公开披露的投融资总金额突破15亿美元，2022年度投融资笔数超过100笔。2024年全球量子计算领域的融资总额为20.15亿美元；相比于2023年，增长了30.34%，行业成长动能进一步增强。2025年上半年仅量子计算领域投融资金额已经超过20亿美元，PsiQuantum(7.5亿美元)、QuEra(2.3亿美元)、Multiverse Computing(两轮共 2.85 亿美元)等业内知名企业获得大笔融资，预计全年投融资总金额将达到新的高峰。整体来看，相关领域投融资活动渐趋活跃，但仍处于相对早期投资阶段。此外，政府支持的创新投资计划等机制正在全球范围内发挥积极作用。

图表：全球量子计算领域投融资情况（信通院）



来源：中国信息通信研究院（截至 2025 年 8 月）

图表：全球量子计算领域投融资情况 单位：百万美元（光子盒）



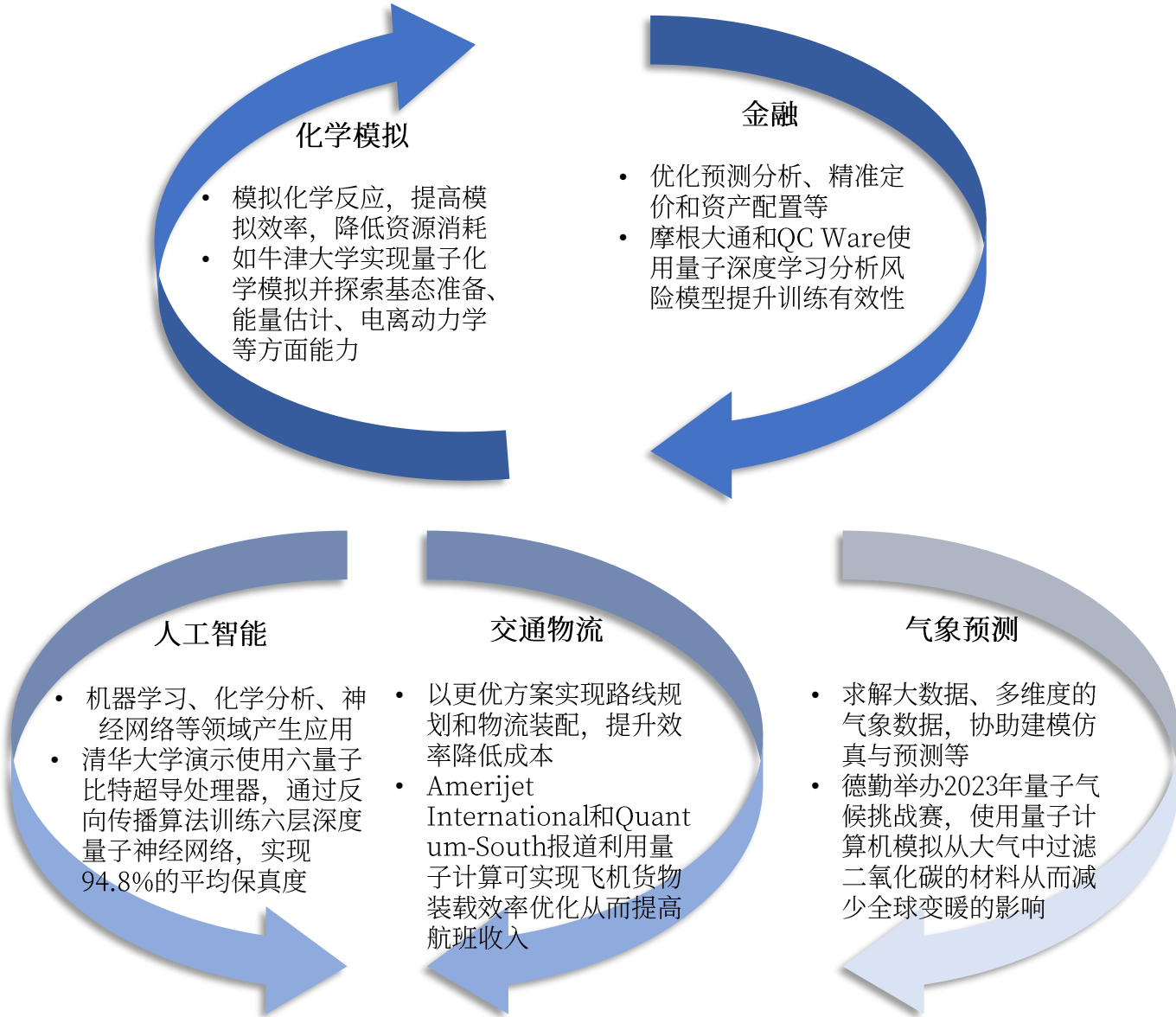
2.1.4 下游主要应用场景及市场预估

图表：量子计算主要应用场景分析（2035年）

行业领域	关键环节	产业估值（亿美元）
金融	金融服务	3940~7000
能源与材料	传统能源	100~200
	可持续能源	100~300
	化工	1230~3240
生命科学	制药	740~1830
先进工业	汽车	290~630
	航空航天与国防	300~700
	电子产品	100~200
	半导体	100~200
电信传媒	电信	100~200
	传媒	100~200
出行、运输与物流	物流	500~1000

应用探索成业界热点，行业领域趋向多元化。基于中等规模含噪量子处理器（NISQ）和专用量子计算机的应用案例探索在国内外广泛开展，代表性应用领域和典型场景涵盖了化学、金融、人工智能、交通运输、气象等众多行业领域，产业规模估值达到千亿美元级别。

图表：应用探索成业界热点，行业领域趋向多元化



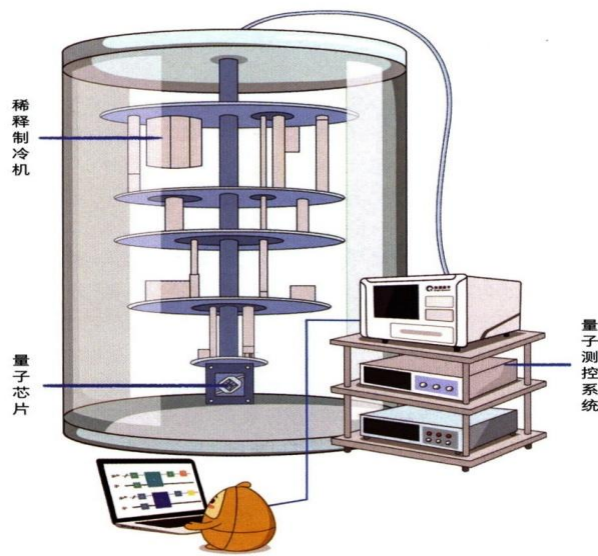
2.2 量子计算的基本技术架构

- 硬件、软件、算法是三大技术支柱，云平台是集成三者面向用户提供服务的**应用与产业生态汇聚点。量子计算硬件包含逻辑门型量子计算机、专用量子计算机和基于经典计算的模拟器等。其中，逻辑门型量子计算机是通往大规模可容错通用量子计算的主流发展方向；波色采样、相干伊辛和量子退火等量子计算模型和系统可能在专用计算复杂问题中产生算力优势；基于经典计算的量子计算模拟器主要用于算法研究和验证。
- 量子芯片是量子计算机的核心部件，是执行量子计算和量子信息处理的硬件装置。**目前最有前途的量子芯片分别是超导、半导体和离子阱量子芯片。超导量子芯片电路设计难度随着比特数增多而增大；而半导体量子芯片计算性能不如另两种，但完全基于传统半导体工艺，只要科学家能在实验室里实现样品芯片，其大规模工业生产理论上不存在问题；离子阱量子计算性能优异，但体积庞大。
- 稀释制冷机是系统关键设备。**超导量子计算机必须在“超导”状态下运行，半导体量子计算机则没有这个限制，已证明可以工作在1开以上的温度。稀释制冷机是目前唯一能够提供长期稳定极低温工作环境的专用设备。2024年2月26日，据安徽省量子信息工程技术研究中心及科大国盾量子技术股份有限公司联合发布，我国自主研发、用于超导量子计算机的国产稀释制冷机“ez-Q Fridge”，在交付客户后完成性能测试，实际运行指标达到同类产品国际主流水平，成为国内首款可商用可量产的超导量子计算机用稀释制冷机。

图表：量子计算技术体系



图表：量子计算机的主要结构

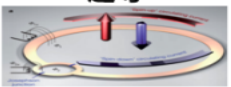
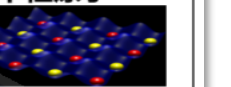


由量子芯片(类比CPU)和量子测控系统(类比主板)以及量子软件构成的计算系统。量子芯片基于量子力学原理，以量子比特(类比高低电平)为基本单位构成。量子比特的行为遵循量子规律。

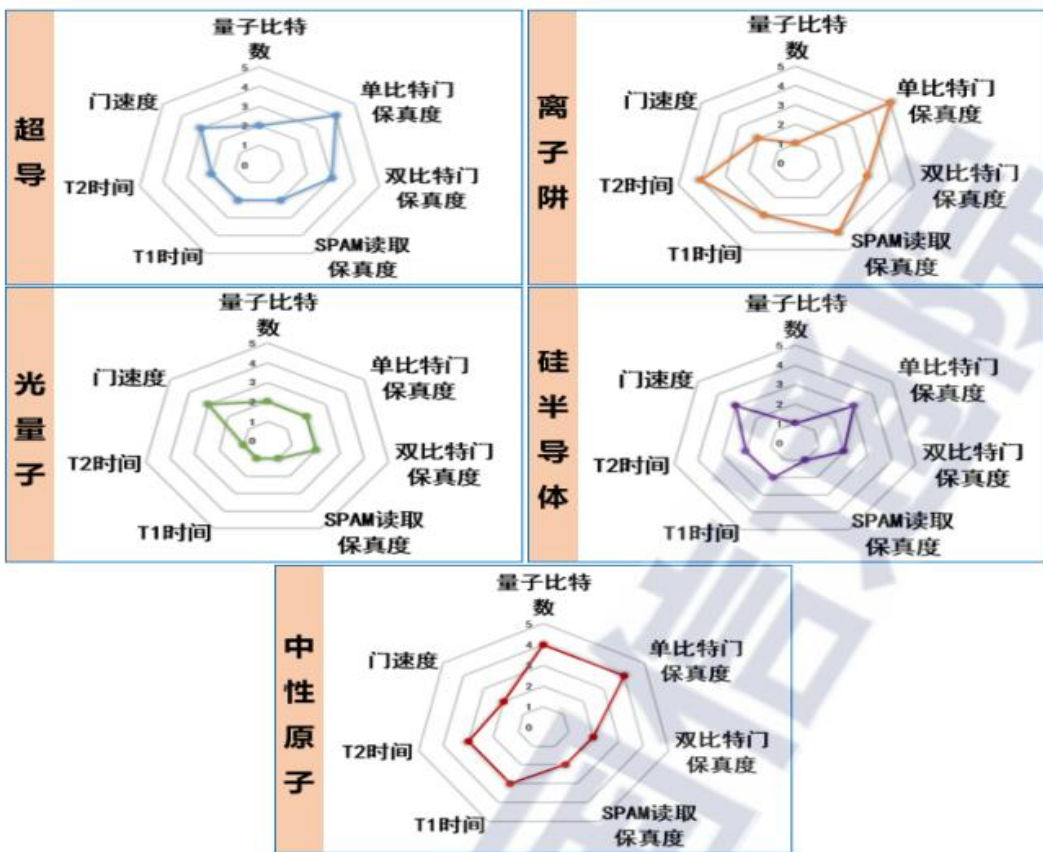
2.2.1 多种硬件技术路线并行发展且各具优势

➤ **量子计算硬件技术路线主要可分为两大类：**一是以超导和硅半导体等为代表的人造粒子路线， 二是以离子阱、光量子 and 中性原子为代表的天然粒子路线。人造粒子路线可重用半导体集成电路制造工艺，在比特数量扩展方面具有一定优势，但在提升逻辑门精度等指标方面受到基础材料和加工工艺等限制。天然粒子具有长相干时间和高逻辑门精度等优势，但在比特数量扩展等方面面临挑战。近年来，各种主要技术路线均有研究成果不断涌现，呈现开放竞争态势，尚无某种技术路线体现出明显综合优势。

图表：量子计算主要技术路线代表性研究成果

技术路线	超导	离子阱	硅半导体	光量子	中性原子
原理与优势	 - 超导约瑟夫森结形成二能级系统。 - 保真度较高、门操控速度快、集成电路兼容、可设计性较高。	 - 利用电荷与磁场间所产生的交互作用力约束带电离子。 - 保真度高、相干时间长、制备读取效率高。	 - 硅同位素量子点电子自旋作为二能级系统。 - 半导体兼容性、门操作速度快。	 - 使用光子多种自由度构建量子位。 - 环境友好性、保真度高、相干时间长。	 - 利用光镊或光晶格囚禁原子悬浮在超高真空中。 - 保真度高、相干时间长、构建多维阵列潜力。
典型成就	➤ 中科院：41位“庄子”芯片模拟侯世达蝴蝶扑物态。 ➤ 中国科大：“祖冲之二号”可操纵量子比特数达176。 ➤ Rigetti：84量子处理器Ankaa-1。	➤ 华翎量子：37位离子阱量子计算原型机HYQ-A37。 ➤ Quantinuum：H2系统实现32位全连接量子比特；H1-1量子系统量子体积达到524288。	➤ Intel：12位硅基自旋量子芯片Tunnel Falls。 ➤ 中科院：实现硅自旋翻转速率超过1.2 GHz的自旋量子比特超快操控。	➤ 中国科大：255光子量子计算原型机“九章三号”。 ➤ 玻色量子：100比特相干光子量子伊辛机“天工量子大脑”。	➤ 微尺度国家研究中心：实现光晶格中基于自旋交换的量子纠缠。 ➤ Atom computing：1180量子比特的中性原子量子计算原型机。
发展趋势	◆ 增加比特规模、探索可扩展性机制 ◆ 提升保真度 ◆ 延长相干时间	◆ 更高性能离子阱 ◆ 扩展单离子阱计算架构下的比特数量 ◆ 研制稳定激光系统	◆ 降低测控信号、量子位噪声影响 ◆ 提纯材料以延长相干寿命	◆ 研制高性能的光源与光子探测器 ◆ 改进光子集成芯片 ◆ 研制光子纠缠的方案	◆ 提升精确测控能力 ◆ 降低原子所受碰撞影响 ◆ 研究多维阵列连接方式

图表：量子计算主要技术路线关键指标对比概括



➤ 超导路线在比特数量、逻辑门保真度等指标方面表现较为均衡；离子阱在逻辑门保真度和相干时间方面优势明显。

➤ 光量子 and 硅半导体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，尚无明显竞争优势。

➤ 中性原子路线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。

图表：量子计算实现路径和特点

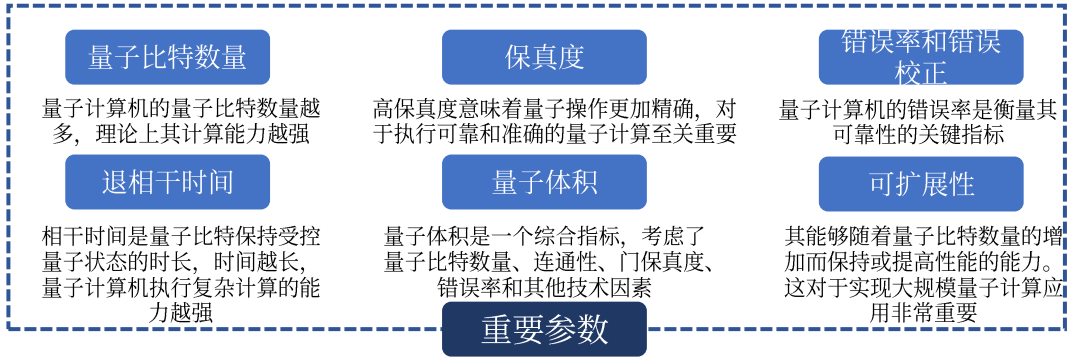
实现路径 \ \属性	主要特点	挑战	代表企业或代表产品
超导量子计算路线	利用超导材料实现量子比特，技术较为成熟	需要复杂低温制冷系统；可能面临退相干和高错误率	IBM、祖冲之号、Rigetti、Google
离子阱量子计算路线	使用激光不活例子作为量子比特，可实现长时间相关和高精度门操作，具有较高的保真度	扩展系统规模和高效量子态读出存在挑战，光学系统和设备精密度要求高。	InoQ、华翔量子、Quantinuum
光量子计算路线	通过光子实现量子比特，相干时间长，室温运行，测控简单	高效地产生和检测单光子、误差矫正存在挑战	Xanadu、玻色量子PsiQuantum
中性原子量子计算路线	利用拓扑量子态进行信息处理和存储，提供内建容错机制、具有稳定性	精确控制、捕获与冷却、互动控制	ColdQuanta, Pasqal
半导体量子计算路线	使用半导体材料中的量子点或其他电子结构作为量子位，	噪声导致容易退相干、材料可复制性难度大、高精度非破坏量子态读取难度大	Intel、IBM、Microsoft
拓扑量子计算路线	基于拓扑量子态的方案，依赖拓扑量子位。抗干扰能力强	特殊的拓扑状态需要实验确定和稳定创造、操控拓扑态中的信息也存在难度	Microsoft
金刚石色心量子计算路线	利用钻石中的氮空位作为量子比特的计算方式，具有室温稳定、相干试剂盒，可光学控制等特点	在钻石晶体中均由构建高质量空位缺陷存在难度，空位缺陷中心之间可能存在耦合与交互作用，晶体纯度要求也比较高	QDTI

图表：量子计算比特数和量子体积指标发展趋势



中国信通院发布的《量子计算发展态势研究报告（2025 年）》显示，行业多种硬件技术路线并行发展、各具优势，也须面临不同的应用难题挑战。

图表：量子计算的重要参数

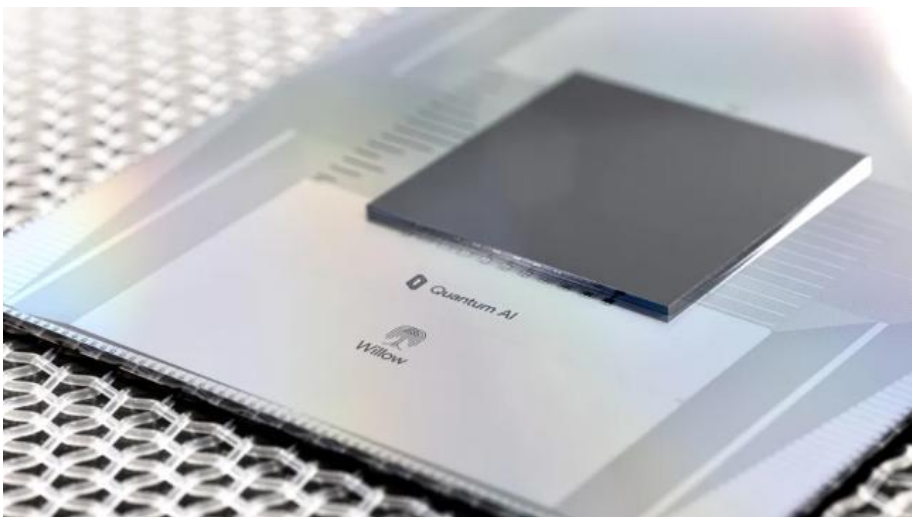


资料来源：物联网智库、中国信通院，中航证券研究所

2.2.2 量子纠错核心技术

- 量子纠错是利用冗余量子比特等编码方式保护脆弱的量子信息免受环境干扰，保障量子计算的可靠性及容错能力。近年来，随着量子计算硬件技术、软件算法的快速发展，海内外量子纠错研究成果不断涌现，但是距离规模化实际应用化仍然存在一定差距。
- ❑ 海外进展：2024 年 12 月 9 日，谷歌成功推出全新一代的超导量子计算芯片“柳木（Willow）”。据悉，该芯片中的量子比特错误率得到明显的抑制，其中单量子比特门的平均错误率仅有0.035%，而双量子比特门的平均错误率也只有0.33%。这意味着，这款全新的量子计算芯片特别适合用于“量子纠错”，并且有望实现大规模的扩展以走向实际的应用。
- ❑ 国内进展1：2023年，南方科技大学的研究团队在超导量子计算的“量子纠错”研究中取得突破性的进展。该研究团队采用实时重复的“量子纠错”方案，延长了量子信息的存储时间，在国际上首次超越盈亏平衡点，展示了“量子纠错”的较大实用价值。
- ❑ 国内进展2：2024 年 12 月 17 日，中国科学技术大学研究团队成功研制出全新的“祖冲之三号”超导量子计算芯片。研究结果表明，“祖冲之三号”超导量子计算芯片在各种性能指标上与 Willow 超导量子计算芯片旗鼓相当。

图表：谷歌的超导量子计算芯片“柳木（Willow）”



图表：国产的“祖冲之三号”超导量子计算芯片



2.2.3 量子计算软件开源平台建设日趋完善

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。目前量子计算软件处于开放研发和生态建设早期阶段，业界在量子计算应用开发软件、编译软件、EDA软件等方向开展布局。

图表：量子计算软件体系架构图



全球来看，量子计算软件开源平台的建设日趋完善。近年欧美科技巨头和初创公司都在开发和提供各种量子计算软件开源平台，以便开发者和用户访问和使用量子计算资源，进行量子算法的设计、测试和优化。像IBM的Qiskit、英特尔的QAT、亚马逊的Braket等，是目前较知名和流行的量子计算软件开源平台，各自支持不同的量子计算硬件和云服务，提供不同的量子编程语言和工具。未来的量子计算软件开发方向，除了基于当时及可预见的未来量子计算硬件的水平，还将聚焦于提高计算正确性、优化编译器和运行时系统的效率、模块化程序设计，以及完善调试工具等方面。并且，还需要考虑到经典-量子协同的支持能力。这些方向将有助于建立更加灵活和可扩展的量子计算软件体系，在硬件和软件之间建立更紧密的协同关系，增强量子计算的实用性。

图表：2023年量子计算软件主要进展



1月，与国仪量子在量子算法和融合计算平台等领域合作；9月，与阿法纳生物发布了“MiOro RNA药物设计平台”，是国内首个基于量子计算和生物医药的药物设计平台



2月，推出Palace开源软件平台，该平台可以执行复杂电磁模型的3D模拟并支持量子计算硬件的设计



2月，发布量子软件开发工具包（SDK）1.0版，旨在让开发人员可以与量子计算堆栈对接，为在量子硬件上执行量子算法编程做准备



3月，加州理工、斯坦福、谷歌推出新平台BlueQubit，使研究人员能够快速测试量子算法，并提供对量子硬件的无缝有效访问



3月，将软件开发工具包Qristal SDK，以及高性能的模拟器Qristal Emulator整合到HPC数据中心内的量子加速器



4月，推出更强劲的量子模拟器mqvector，新发布GPU模拟器mqvector_gpu，支持更多量子门，方便用户开发新量子算法



4月，发布量子化学pyChemiQ软件；7月，上线新一代量子计算操作系统本源司南PilotOS，支持量子计算任务批量处理，支持量超协同计算，用户可以直接进行本地量子计算编程，不需要联网使用，实现对软件的“打开即用”



5月，Atos的Eviden推出了量子计算产品Qaptiva，以使用同类最佳的量子计算技术实现现实世界的应用程序开发和使用



6月，瑞典查尔姆斯理工大学开发的免费开源软件，通过对量子组件进行高级模拟和分析，实现该领域的新发现



8月，启科量子与上海软件中心提出了一个量子模拟器软件的质量评估框架，该框架从功能性和性能效率等七个指标上来评估模拟器的性能。



8月，QuantrolOx宣布推出其首款产品Quantum Edge，该产品可自动调整和优化超导量子计算机

图表：量子计算软件与经典软件的区别

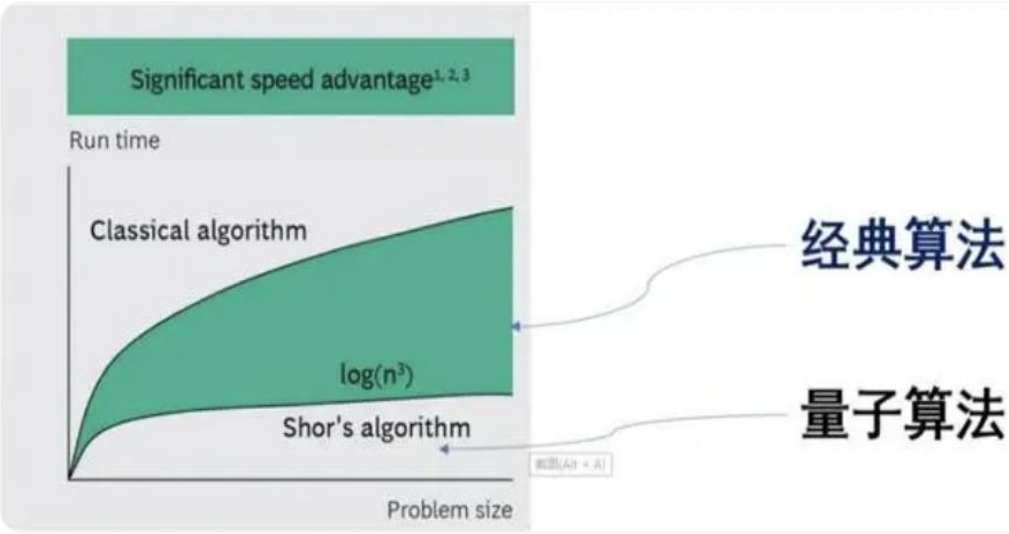
	量子	经典
	编程软件 (为算法设计、程序编写提供工具) 量子编程框架 - 一种软件工具，它提供了一些预定义的代码和库，以帮助开发人员编写更高效、更可靠的代码 - 引入量子计算的元素和概念，把量子芯片看作一个特殊的设备或对象 量子编译器 - 将量子算法翻译为可以在硬件上执行的机器语言 - 由于量子硬件拓扑的限制，mapping和routing是量子编译中独特且重要的部分 虚拟机 - 利用经典计算机去模拟量子计算机的运行 - 量子虚拟机提供了对量子算法和量子程序进行分析和调试的便捷工具，同时也有助于验证量子硬件的正确性	操作系统 (为应用程序运行提供平台) 量子纠错系统 - 多个物理量子比特编码“逻辑量子比特”，保护量子信息免受退相干导致的错误 - QPU需要进行纠错 量子校准系统 - 自动标定量子芯片和量子脉冲参数 - QPU由于误差和不稳定性需要进行校准 量子波形系统 - 对量子硬件的控制波形 - 量子测控系统采用的是模拟信号 量子任务调度系统 - 对量子任务进行调度 - 量子芯片中任务并行的约束较多（如串扰）
	经典编程框架 - 经典计算机的编程框架基于确定性逻辑，按顺序执行指令 经典编译器 - 经典计算机的编译器旨在将高级编程语言转化为底层机器代码，执行确定性指令序列 虚拟机 - 经典计算机则是基于确定性逻辑进行运算，行为是完全可预测的，因此不需要虚拟机来模拟硬件行为	经典纠错系统 - 现代CPU一般不需要进行纠错 经典校准系统 - 现代CPU的制造工艺和设计已经非常先进，误差和不稳定性一般不用进行校准 经典波形系统 - 经典处理器采用的是数字信号 经典任务调度系统 - 经典计算机的任务调度依赖于经典物理学规律，每个任务在某一时间内仅能表征一个数

注：部分内容引自Software Architecture for Quantum Computing Systems - A Systematic Review Arif Ali Khana,* , Aakash Ahmadb , Muhammad Waseemc , Peng Liangc , Mahdi Fahmidehd , Tommi Mikkonene , Pekka Abrahamssone

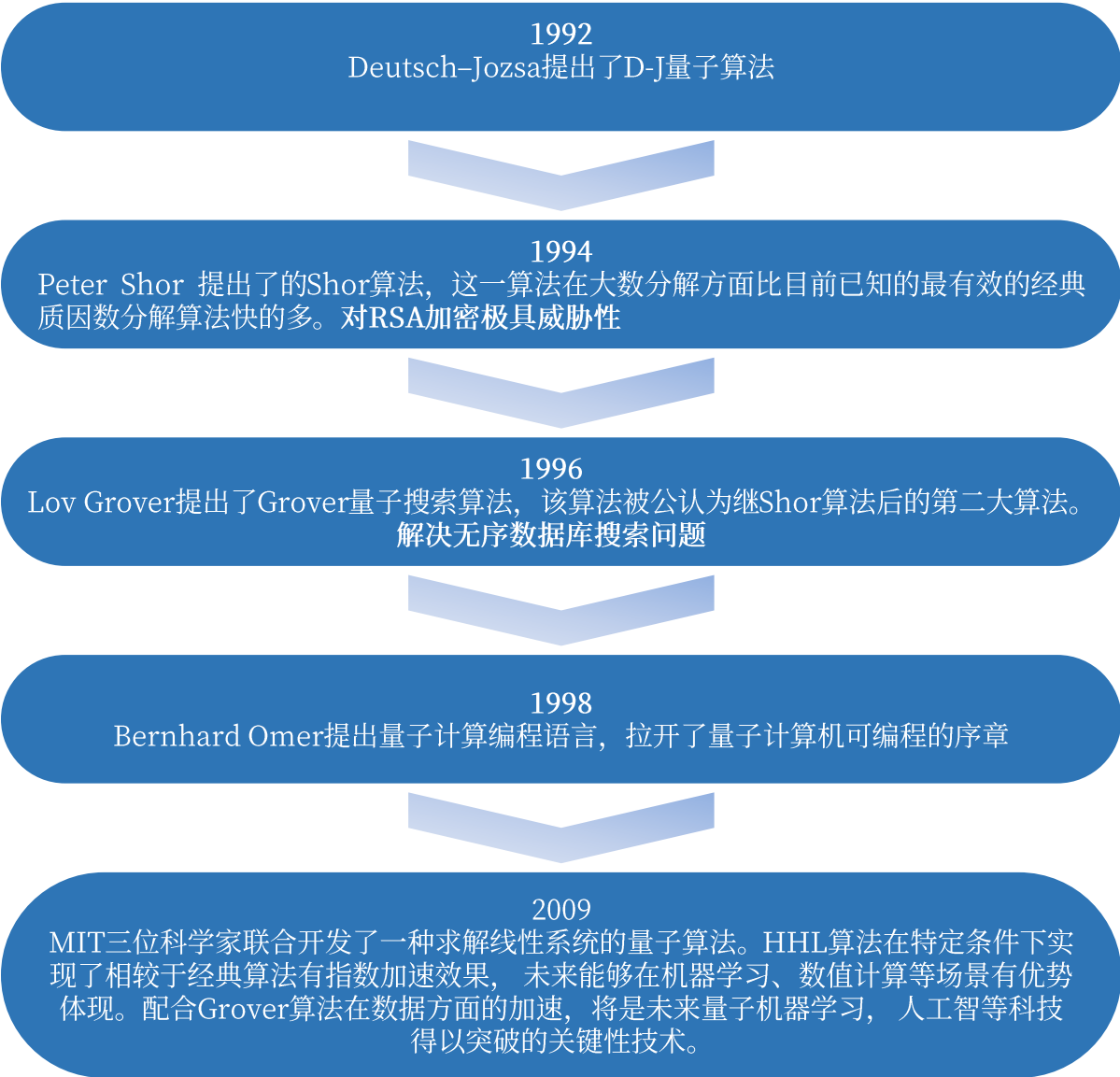
2.2.4 三大基础算法实现优势互补

量子算法是一种利用量子力学中的独特特性来加速计算的方法。量子算法充分利用了量子力学中的量子叠加、量子纠缠等特性来进行算法设计。上世纪90年代以来，量子计算机的算法发展得到较大的进步。在量子算法的研究中，出现了三个里程碑式的重要算法：Shor算法、Grover算法和HHL算法。Shor算法和Grover算法，已经成为构造其他量子算法的重要基础。终极目标是制造优于传统计算机的通用量子计算机，其能够运用Shor算法对大数进行因式分解，运用Grover算法执行数据库检索，以及运行专门的量子计算机应用程序。HHL算法的提出意义较大。线性系统是很多科学家和工程领域的核心，HHL算法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。

图表：Shor算法与经典算法的比较



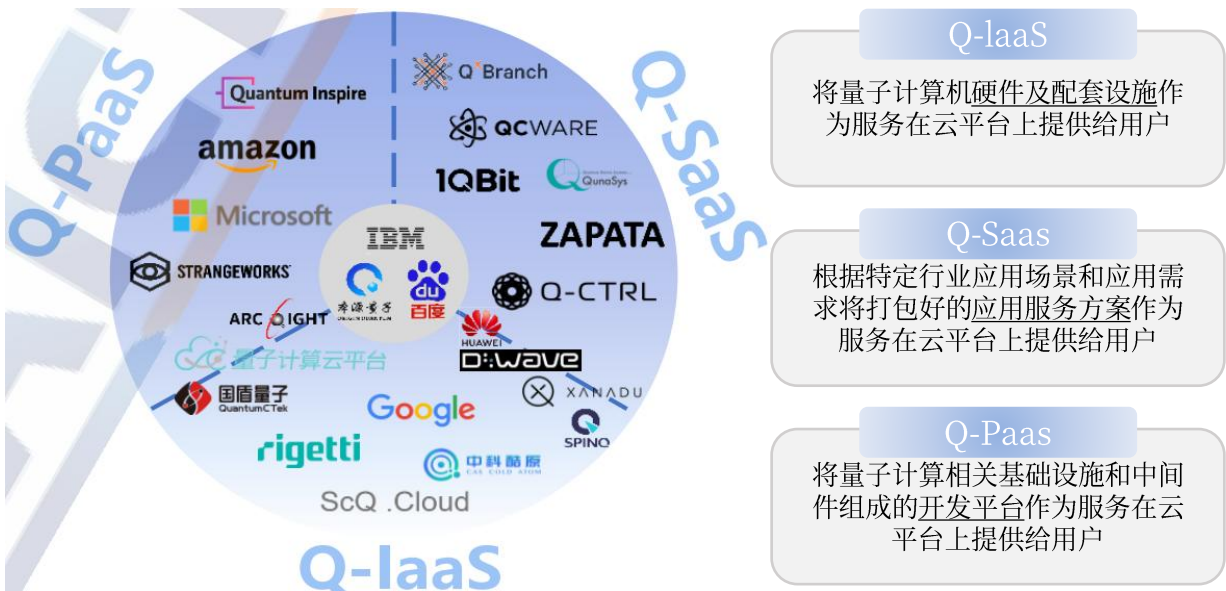
图表：量子算法主要技术路线关键指标对比概括



2.2.5 云平台及服务：服务模式和业务模式逐步完善

- 基于量子计算云平台的体系架构，当前主流的量子计算云平台服务内容不断丰富，量子基础设施即服务(Q-IaaS)、量子平台即服务(Q-PaaS)和量子软件即服务(Q-SaaS)三类服务模式逐渐成型。

图表：量子计算云平台三大服务模式



图表：量子计算云平台脉冲级实验套件功能



- 基于量子计算云平台开展算法研究和应用探索已经成为业界热点。目前，基于量子计算云平台的应用探索主要面向基础科研和行业应用两个主要方向。

后端硬件接入模式

- 1.云供应商自身具备量子计算硬件研发能力，将自研的量子计算机或基于经典算力的量子线路模拟器置于云端，典型企业包括IonQ、Xanadu.Rigetti、本源量子等。部分云平台可接入自研硬件与其他公司硬件资源。
- 2.云供应商凭借其云计算技术与资源，使其云平台可接入其他公司的硬件或软件，典型企业包括微软、亚马逊、Strangeworks等。

计费模式

- 1.即用即付型：计时付费，用户按照接入云平台或量子硬件的时长进行计费。
- 2.按操作付费型：根据基于某一确定后端计算任务的操作次数进行计费的收费模式。

人工智能

- 进行机器学习、神经网络等算法的应用探索
- IBM Quantum:量子人工智能、量子机器学习、量子量子卷积神经网络的封装函数和代码示例。华为HiQ:神经网络分类器、自然语言处理等代码示例

量化金融

- 提供金融数据分析、投资组合优化等实验
- 本源:量子期权定价、期权策略收益期望应用、VaR值应用、投资组合优化等模块。百度量易伏:QFinance基于量子蒙特卡洛方法实现期权定价计算

生物医药

- 提供分子模拟等服务，有望应用于基因组学、蛋白质组学等领域
- 日本QunaSys Qamuy平台:分子结构优化、分子动力学模拟、吸收/振动光谱计算等服务。华为HiQ:面向量子化学的量子变分求解器

2.2.5 云平台及服务：海内外科技企业加速云平台建设及服务市场布局

- 量子计算云平台将量子计算机硬件、模拟器、软件编译和开发工具，与经典云计算软硬件和通信网络设备相结合，可为用户提供直观和实例化的量子计算接入访问与应用服务。作为集成量子计算软硬件能力，面向用户提供服务，支撑算法研究、应用探索和产业培育的生态汇聚点，量子计算云平台已成为推动应用探索 and 产业化发展的生态汇聚点和重要驱动力。
- 近年来，科技巨头、初创企业与研究机构为抢占应用产业生态核心地位，加大量子计算云平台建设投入和推广力度。

图表：国内外代表性量子计算云平台概况（截至2023年11月）

硬件类型	超导			离子阱	光量子	半导体/超导	退火	云平台服务			
平台提供者											
平台名称	IBM Quantum	Quantum Cloud Services	Google Cloud	IonQ Quantum Cloud	Xanadu Quantum Cloud	Quantum Inspire	Leap	Amazon Braket	Azure Quantum	strangeworks QC	
最新处理器	sprey	Ankaa-1	Sycamore	Forte	Borealis	Spin-2 Starmon-5	Advantage	D-Wave, IonQ, OQC, Rigetti, QuEra, Xanadu	IonQ, QCI, Rigetti, Quantinuum, Pasqal	IBM, Xanadu, Quantinuum, Rigetti,	
量子比特数	433	84	72	32	216	2; 5	5000+	QPU family	QPU family	QPU family	
硬件类型	超导				超导/离子阱		光量子	中性原子	模拟器		云平台服务
平台提供者	中科大 & 国盾量子	北京量子院 & 物理所	本源量子	浙大	百度	弧光量子	图灵	武汉量子院	华为	阿里	中国移动
平台名称	量子计算云平台	quaifu	本源量子云	太元一号	量易伏	弧光量子云平台	Soft Qubit	酷原量子云	HiQ	太章	“五岳”量子计算云平台
量子处理器	骁鸿176	ScQ-P136 ScQ-P21 ScQ-P18 ScQ-P10	本源悟空 本源悟源1号 本源悟源2号	天目1号	乾 中科院物理所QPU 中科院精测院QPU	超导66比特量子芯片 离子阱11比特量子芯片	——	——	——	——	计划接入玻色量子、量子科技长三角产业创新中心、本源量子、华翔量子的QPU真机
量子比特数	176 (66计算比特)	136; 21; 18; 10	12; 6	10	8; 10; 1	66; 11	——	——	——	——	待上线

资料来源：中国信通院，中航证券研究所

2.2.5 云平台及服务：标准体系建设仍然略显滞后

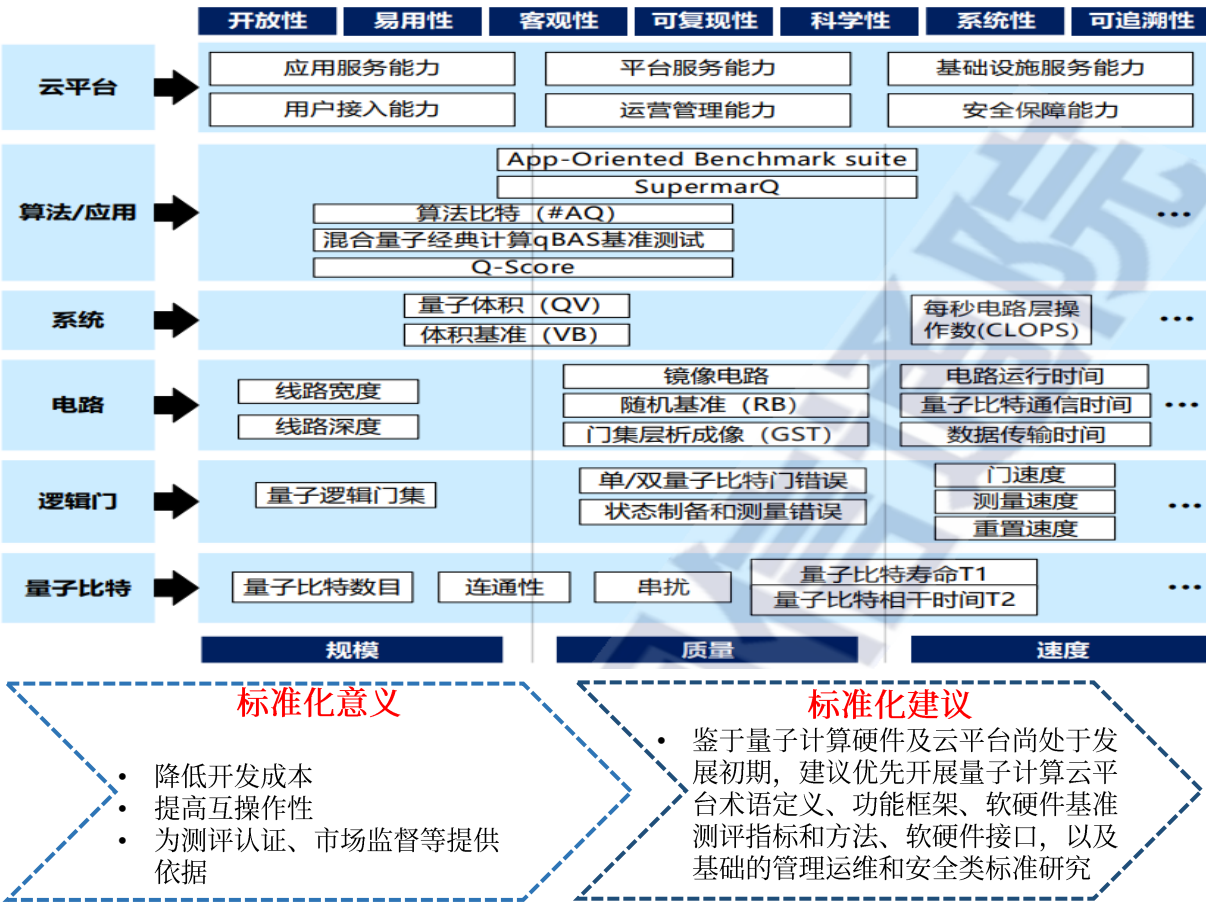
➤ 量子计算云平台将量子计算与经典云服务融合，通过云端提供量子计算资源，有望成为服务量子计算用户的主要形式。根据量子计算云平台技术特性和发展现状，中国信通院提出量子计算云平台的功能架构参考模型，可划分为基础设施层、平台层服务层，以及云服务所需的运维管理与安全服务等主要部分。

图表：量子计算云平台功能架构参考模型



➤ 量子计算云平台目前处于发展起步阶段，相关标准化研究工作相对空白，量子云服务的多样性以及量子计算硬件平台的异构性为不同软硬件之间以及云平台之间的互操作带来了较大挑战。

图表：量子计算云平台基准测评体系参考模型



2.3 全球量子计算产业链初具雏形

图表：量子计算产业生态与国内外代表性企业

产业生态		国际					国内		
上游	环境 & 测控	稀释制冷机	BLUEFORS Linden Cryogenics	QXPOR	Cryo	Janis ULT	FORM-FACOR ULVAC	CryoPrime	PHYSIKE
	测控系统		Autumn	QM	QUANTUM MACHINES	QBLOX	KEYSIGHT	MenloSystems	
	低温组件		STAR	CRYO-ELECTRONICS	Atlantic Microwave	Lake Shore	COOX	AmpliTech	
	真空系统		Johns	JVC	Kurt J. Lesker	Leybold	Agilent	EDWARDS	PFEIFFER
	激光器		M	NKT	Thorlabs	TOPTICA	nLIGHT	OEWaves	
中游	原型机	光学探测器	SHRI	SCONTEL	Photon Spot	Pixel Photonics			
	超导		IBM	Google	rigetti	IQM	OQC	bleximo	ATLANTIC
	离子阱		QUANTINUUM	IONQ	QAO	QUTOS	eleQtron		
	光量子		XANADU	PsiQ	QUANDELA	QUDC			
	硅半导体		intel	Q	NTT	equal1	QUANTUM MOTION	EeroQ	C12
下游	应用探索	中性原子	A	ColdQuanta	PASQAL	IQMera	NanoQ	planq	
	其他		Microsoft (拓扑)	D-Wave	(量子退火)	QUANTUM BRILLIANCE	(NV色心)	Baidu	百度
	软件		HORIZON	b e	Quantagonia	CLASSIQ	QUANTASTICA	YRS	blueqat
	云平台		IBM	aws	XANADU	rigetti	Quantum Inspire	Qware	
	应用探索		Google	QUANTINUUM	Microsoft	IONQ	IQMera	STRANGE WORKS	PASQAL

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

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

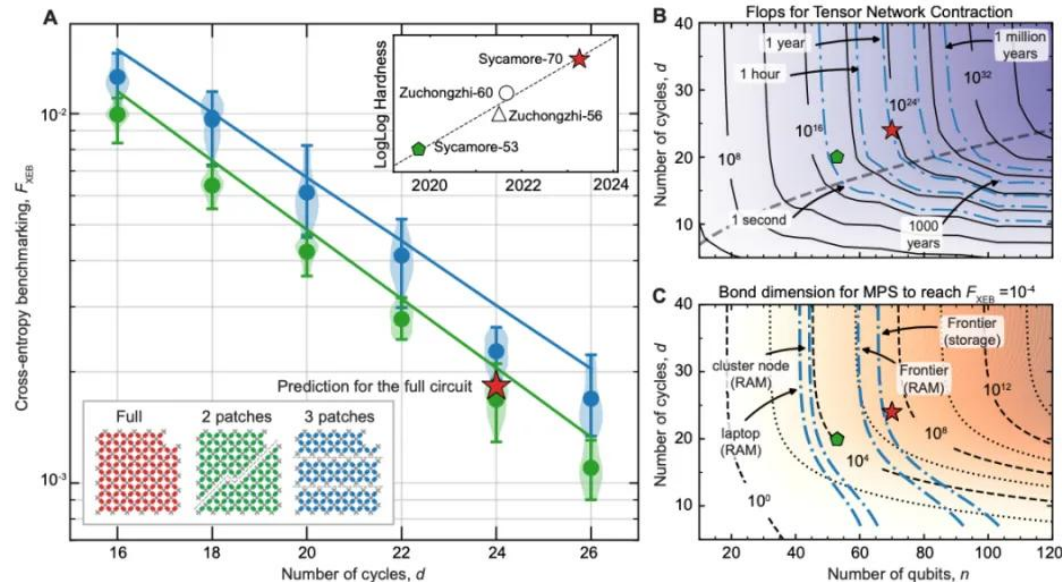
下游

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

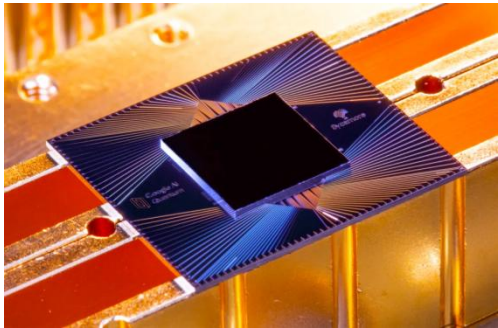
2.3.1 海外科技大厂在相关领域的前沿布局：谷歌、微软

- 2023年7月，谷歌宣布Sycamore量子处理器升级，达到70个量子比特。而2019年版本只有53个量子比特，这使得新处理器的稳健性大约是以前的2.41亿倍。在模拟的估计计算成本，比起经典计算机，53量子比特完成1百万个噪音样本比其快6.18秒。而70量子比特要快47.2年。
- 2024年12月，谷歌宣布推出最新的量子芯片Willow，拥有105个量子比特。据介绍，该芯片取得了两项较大成就：一是使用更多量子比特进行拓展，可成倍减少错误，解决了量子纠错领域近30年来一直试图攻克的关键难题；二是在基准测试中，Willow展示了一流性能。

图表：70量子比特的Sycamore实现了量子优势



图表：Sycamore量子处理器



图表：量子计算机发展的3个阶段

实现量子计算优越性。发展具备50~100个量子比特的高精度专用量子计算机，对于一些超级计算机无法解决的高复杂度特定问题实现高效求解

制成实用量子模拟机。研制可相干操纵数百个量子比特的量子模拟机，用于解决若干超级计算机无法胜任的具有较大实用价值的问题（如量子化学、新材料设计、优化算法等）

制成通用量子计算机。提高量子比特的操纵精度使之达到能超越量子计算苛刻的容错阈值（>99.9%），大幅度提高可集成的量子比特数目（百万量级），实现容错量子逻辑门，研制可编程的通用量子计算原型机

- ❑ 微软仅使用30个物理量子比特就构建出了4个高度可靠的逻辑量子比特。相较于先前的研究，这种量子纠错策略所需的物理量子比特数量预期至少为1000个，因此这是一个较大的飞跃。
- ❑ “主动症状提取（Active Syndrome Extraction）”，一种微软新开发的，能够在不破坏逻辑量子比特的情况下进行诊断和纠正错误的方法，也在这次突破中发挥了重要作用。

- 2024年4月，微软和量子计算公司Quantinuum宣布，双方在提高量子纠错可靠性方面的合作取得突破进展。通过将微软的量子比特虚拟系统与Quantinuum公司的离子阱硬件相结合，迄今为止最可靠的逻辑量子比特被创造出来。相较于单个物理量子比特，这种逻辑量子比特的错误率改善了800倍。利用新系统，该团队进行超过14000次单独实验，没有出现一次错误。

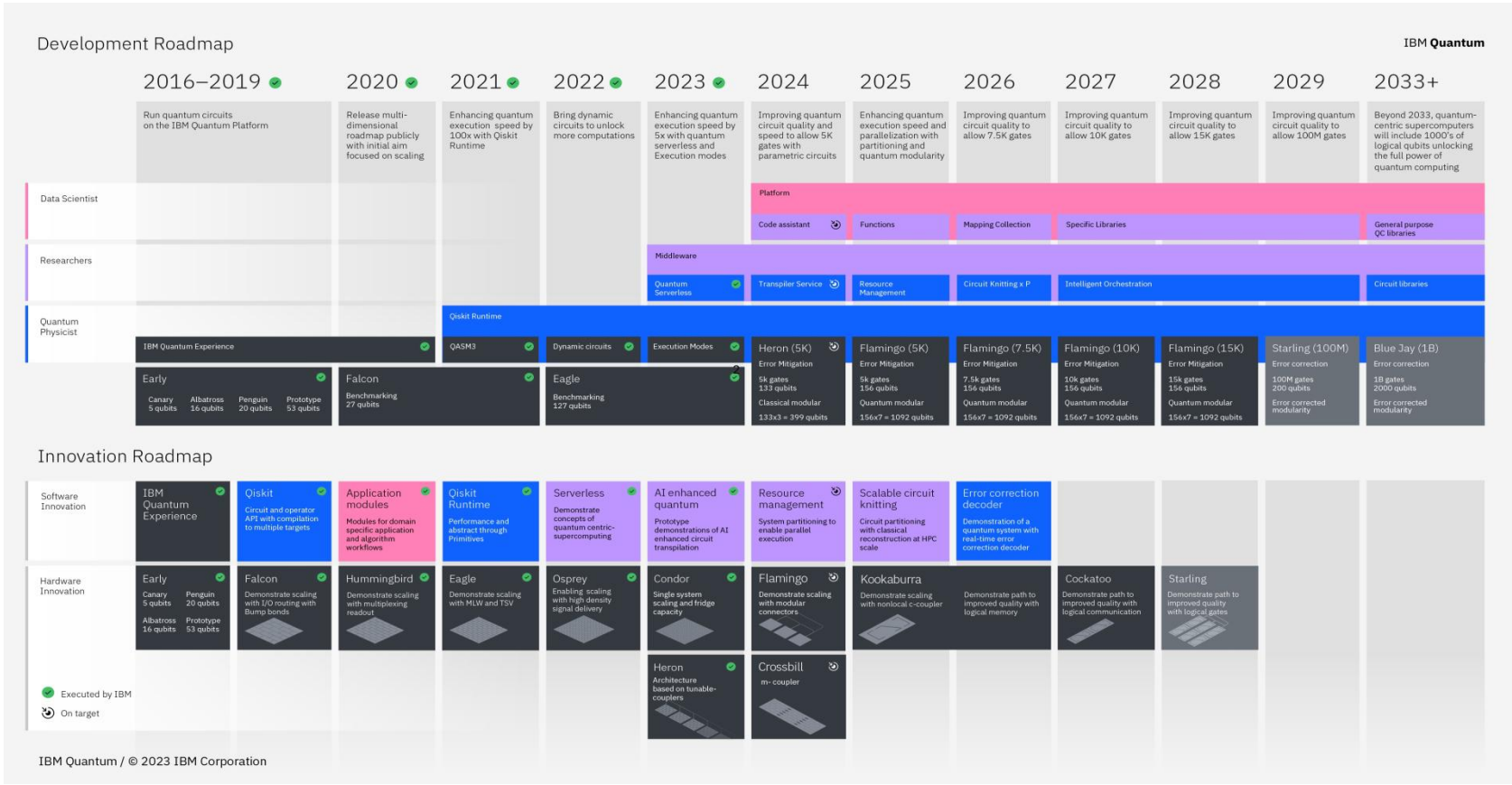
图表：逻辑量子比特的优势



2.3.1 海外科技大厂在相关领域的前沿布局：IBM

► IBM推出133量子位的量子处理器IBM Quantum Heron，及其第一台模块化量子计算机“IBM量子系统二号”。当地时间2023年12月4日，在纽约举行的年度IBM量子峰会上，IBM公司推出了133量子位的量子处理器IBM Quantum Heron，可提供迄今为止IBM最高的性能指标和最低的错误率。该公司还推出了“IBM量子系统二号（IBM Quantum System Two）”，这是该公司第一台模块化量子计算机，使用3个Heron处理器运行。基于量子硬件、理论和软件方面的突破，IBM将其量子开发路线图延长至2033年，并提出新的目标：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。

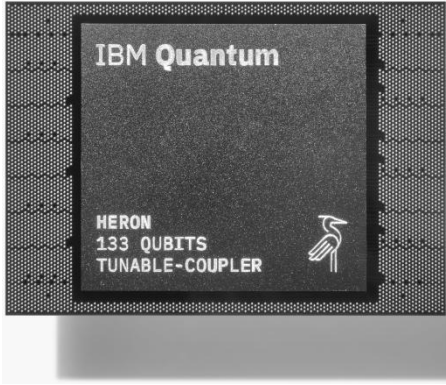
图表：IBM将量子开发路线图延长至2033年



图表：“IBM量子系统2号”包含3个Heron处理器



图表：IBM Quantum Heron

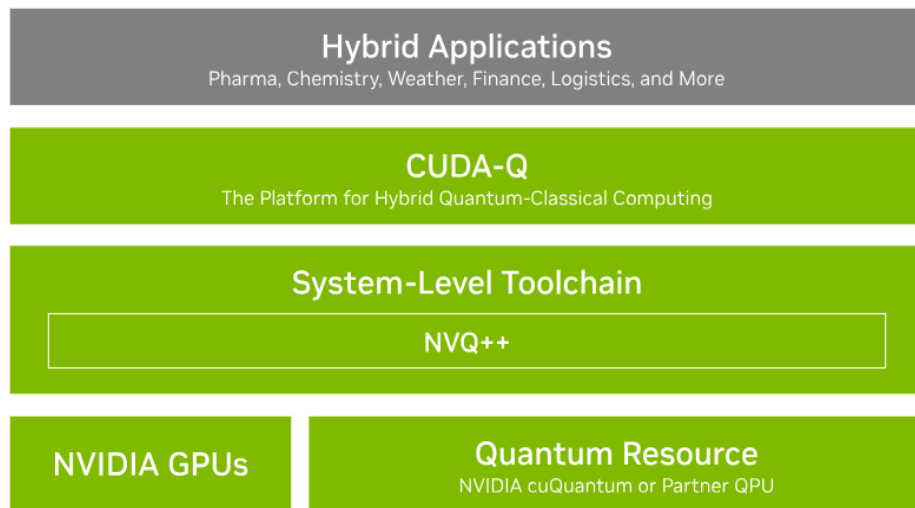


“IBM量子系统二号”是IBM下一代量子计算系统架构的基础。它将可扩展的低温基础设施和经典的运行时服务器与模块化量子位控制电子设备相结合。该架构结合了量子通信和计算，辅以经典计算资源，并利用中间件层适当集成量子与经典工作流程。

2.3.1 海外科技大厂在相关领域的前沿布局：英伟达

- 2023年3月21日，NVIDIA宣布与Quantum Machines合作打造了一个新系统。全球首个GPU加速的量子计算系统——NVIDIA DGX Quantum结合了由NVIDIA Grace Hopper超级芯片和CUDA Quantum开源编程模型构建的全球最强加速计算平台，以及与由Quantum Machines构建的全球最先进的量子控制平台OPX。新系统为高性能、低延迟量子经典混合计算领域的研究人员提供了一个革命性的新架构。
- 与此同时，英伟达还宣布了一组新的合作伙伴，并表示将 CUDA Quantum 集成到他们的平台中，包括量子硬件公司 Anyon Systems、Atom Computing、IonQ、ORCA Computing、Oxford Quantum Circuits 和 QuEra；量子软件公司 Agnostiq 和 QMware；和日本国家高级产业科学技术研究院、IT 科学中心 (CSC) 和美国国家超级计算应用中心 (NCSA)。
- 2024年3月15日，量子安全加密技术公司Qrypt宣布推出Qrypt量子熵和量子安全密钥生成技术。相关技术将为使用英伟达BlueField-3数据处理器的人工智能工作负载提供传输过程中的量子安全加密保护，以抵御量子计算的威胁。

图表：CUDA Quantum是一种混合量子经典计算平台



- ❑ 量子加速应用并非完全在量子资源上运行，而是采用量子资源和传统资源的混合方式运行。
- ❑ NVIDIA® CUDA® Quantum 拥有统一的编程模型，是适用于量子-经典混合式计算机的先发平台，可在一个系统中集成和编程 QPU、GPU 和 CPU。CUDA Quantum 是专为提高性能而打造的开源平台，可提供高级语言来开发和运行量子-经典混合式应用。
- ❑ 英伟达目前还没有自己的量子计算机；公司计划未来提供第三方量子计算机的访问服务。

➤ 当前，国内量子计算的发展呈现出“硬件多点开花、软件工具补齐、产业协同发力”的良好态势。近期，国内量子计算在硬件、软件和生态应用层面取得系列关键进展。硬件上，中国科大成功研制105比特的“祖冲之三号”超导量子计算机，同时上海团队利用AI技术高效制备出2024个中性原子的无缺陷阵列，为大规模量子计算奠定基础。软件方面，首款国产量子计算桌面软件“东南·云霄”发布，着重解决数据安全与硬件兼容性问题。产业生态上，“上海量子人工智能联合体”的成立及相关十大应用场景的发布，正积极推动量子计算与人工智能等前沿领域的融合与实际应用，标志着该领域正从技术突破加速走向生态构建。这些进展标志着我国在量子计算领域，正从前沿基础研究向技术产业和生态建设加速迈进。

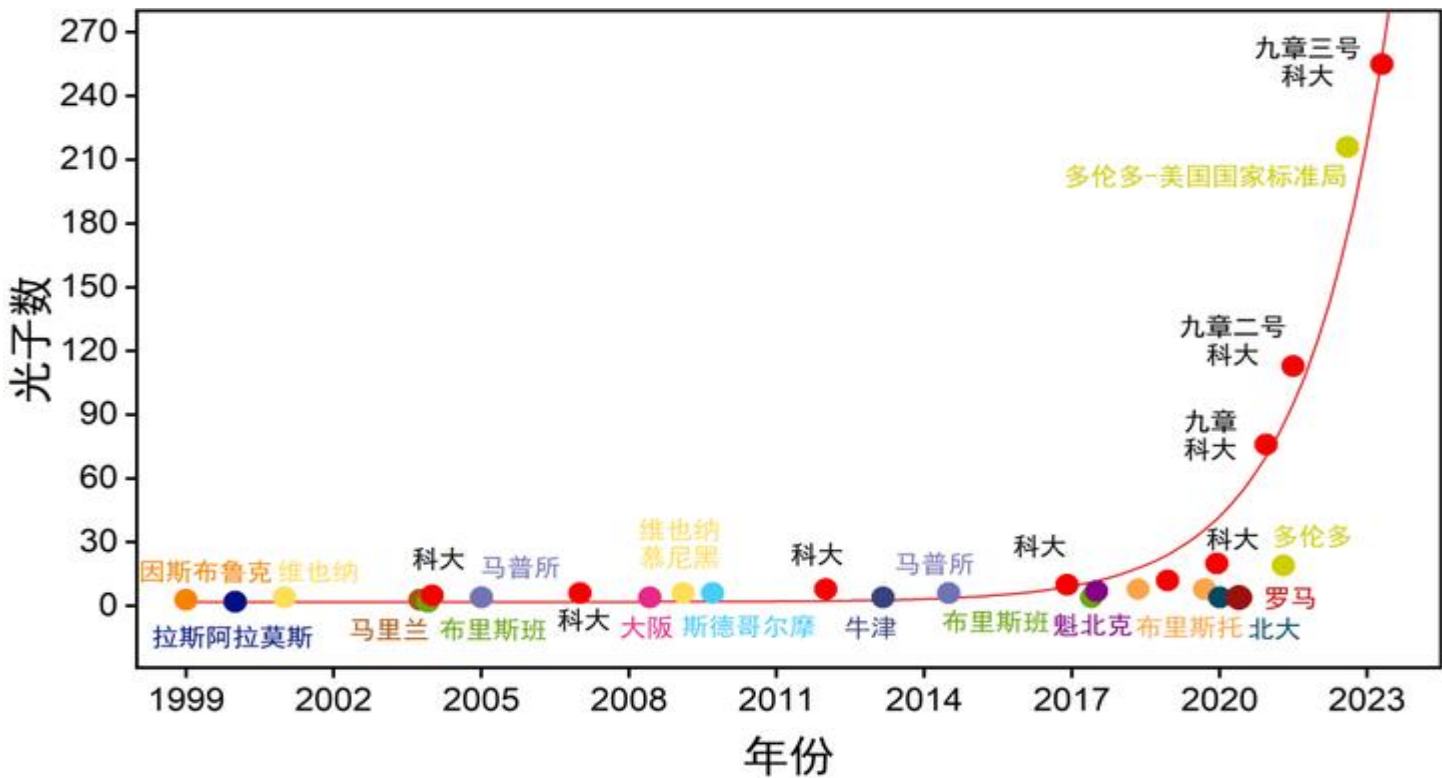
图表：我国量子计算领域2025年关键动态

进展领域	核心成果 / 事件	关键方 / 参与机构	近期时间点 / 意义
硬件性能突破	成功构建105比特“祖冲之三号”超导量子计算机	中国科学技术大学	2025年3月，再次刷新超导量子计算优越性世界纪录
	构建2024个中性原子的无缺陷阵列，耗时仅60毫秒	上海量子科学研究中心、上海人工智能实验室、中国科学技术大学	2025年8月，为大规模中性原子量子计算奠定关键基础
软件工具创新	发布首款量子计算线路设计优化与编译桌面软件平台“东南·云霄”	东南大学	2025年9月，提升数据安全性与硬件兼容性，助力应用落地
产业生态构建	成立“上海量子人工智能联合体”并发布十大应用场景	复旦大学、上海期智研究院等12家机构	2025年9月，推动量子计算与人工智能的交叉融合与产业应用

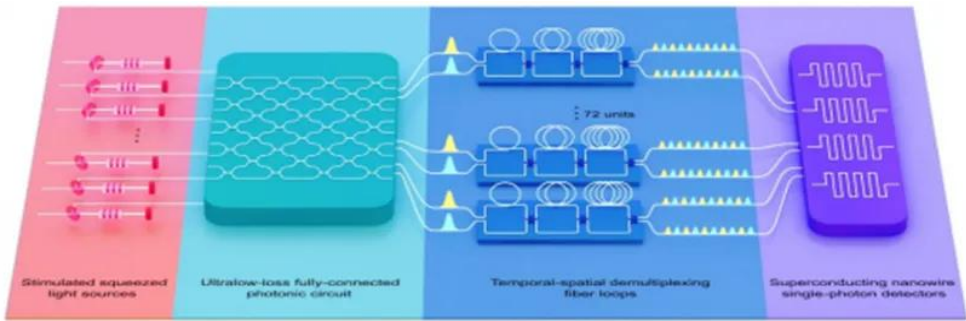
2.3.2 国内进展：中科院成功构建255个光子的量子计算机原型机“九章三号”

中国科学技术大学网站2023年10月11日发布消息称，该校潘建伟、陆朝阳、刘乃乐等组成的科研团队通过和中科院上海微系统所、国家并行计算机工程技术研究中心合作，成功构建了255个光子的量子计算机原型机“九章三号”，再次刷新相关领域的世界纪录。科研人员设计了新的光子探测方法，构建了高保真度的准光子数可分辨探测器，提升了光子操纵水平和量子计算复杂度。在求解高斯玻色取样数学问题时，比目前全球最快的超级计算机快一亿亿倍。而相较上一代九章二号计算机而言，提升了一百万倍，“九章三号”在1微秒（即百万分之一秒）内能算出的最复杂的样本，如果用当前全球最快的超级计算机“前沿”来计算，需花费200亿年。

图表：光量子计算的国际竞争态势 单位：个



图表：实验装置示意图



图表：光量子干涉



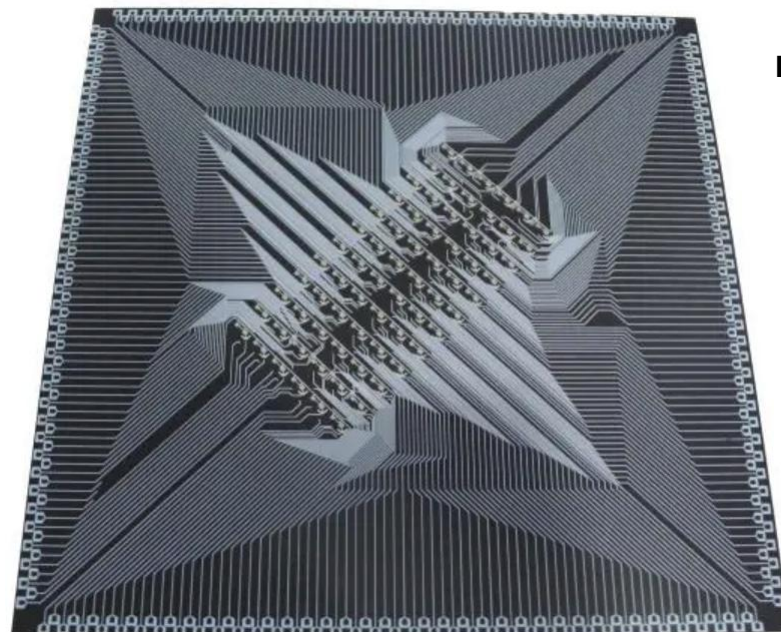
2.3.2 国内进展：第三代自主超导量子计算机“本源悟空”成功装备国内首个“抗量子攻击护盾”

- ▶ 2024年1月6日，中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”，在合肥本源量子公司正式上线运行，向全球用户限时免费开放，接收全球量子计算任务。截至4月10日，“本源悟空”已累计为来自全球117个国家的用户完成逾16.9万个运算任务，全球访问量超551万次。
- ▶ 安徽省量子计算工程研究中心表示，中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”现已成功装备国内首个“抗量子攻击护盾”——PQC (Post Quantum Cryptography, 后量子密码) 混合加密方法。这将使“本源悟空”更好抵御其他量子计算机的攻击，确保运行数据安全。
- ▶ “本源悟空”由本源量子计算科技（合肥）股份有限公司自主研发，搭载72位自主超导量子芯片“悟空芯”，是目前我国最先进的可编程、可交付超导量子计算机，国产化率超80%。

图表：中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”



图表：中国第三代自主72比特超导量子芯片“悟空芯”夸父 KF C72-300 放大模型



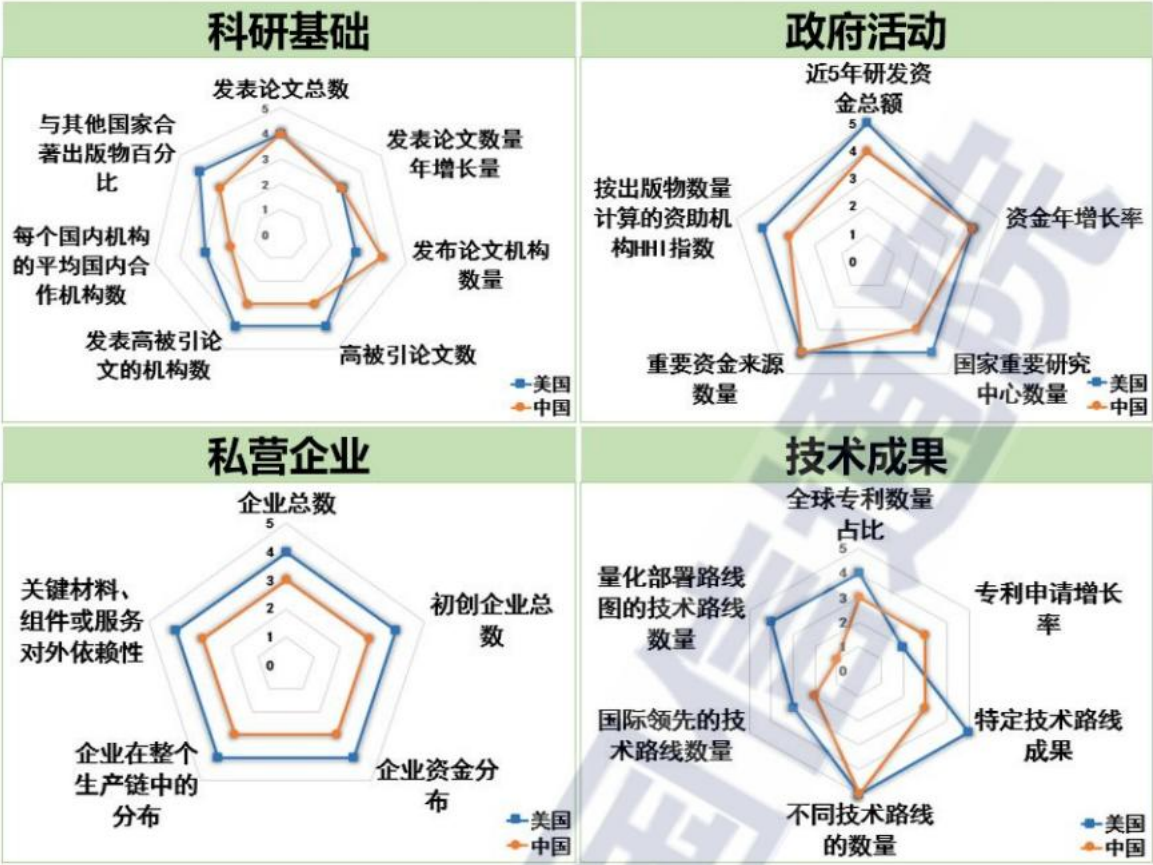
- 与前两代量子芯片相比，第三代夸父超导量子芯片具有更高的相干时间，性能上有显著提升。“悟空芯”以及“本源悟空”量子计算机的发布，意味着中国超导量子计算机制造能力从小规模开始进入中等规模阶段，具备了自主生产一定中等规模的可扩展的量子计算机芯片和系统的能力。

2.3.3 中美量子计算产业基础能力对比

图表：中美量子计算产业基础能力对比

科研基础：
我国具有较多的发文机构，但高被引论文数、国际合作机构以及合著出版物数量等相对较少，在高水平科研成果和国际合作仍需加强

私营企业：
美国企业发展较为活泼，在企业数量、资金分布和供应链能力方面全面领先



政府活动：
中美研发投入资金量级差距不大，我国量子计算重要研究中心的数量有待增加

技术成果：
我国专利增长率较高，但专利数量、代表性技术成就、产品技术路线图等方面仍存在差距，需要加强样机软硬件研发创新性成果输出和样机产品发展路线图规划

综合来看，我国在量子计算领域具有一定的科研基础，但在技术成就、企业发展和产业推动等方面仍有较大提升空间

2.3.4 量子计算产业发展趋势展望

量子计算领域整体发展趋势

- 量子计算优越性已得到验证，多条技术体系并行发展，基础科研与工程实验成果不断涌现，各领域应用场景加速探索，产业生态逐步构建。国内外量子计算云平台加速发展，成为助力基础科研与应用探索，促进样机研发和应用推广的重要推动力量。
- 量子计算已进入技术攻关、工程研发、应用探索和产业培育一体化推进的关键阶段，未来发展前景可期。

量子计算领域面临挑战

- 硬件研发方面，研制更高性能原型机，提升量子态制备/测量等关键技术，开发量子纠错方案。
- 应用探索方面，开发解决实际问题计算模型和量子算法，积极探索重点行业领域的应用场景。
- 产业推进方面，发挥产业联盟、开源社区等平台的生态培育作用，进一步推动供应链和生态建设。
- 量子计算云平台方面，提升后端硬件性能，完善云平台功能和服务模式。
- 基准测评方面，完善性能指标体系与测评方法，构建量子计算基准测试验证平台能力。

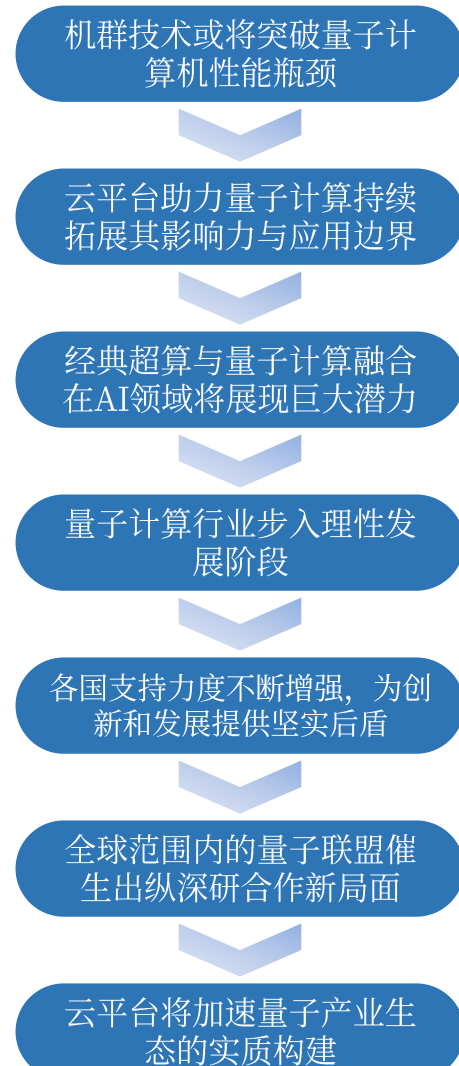
图表：量子信息技术发展趋势



我国量子计算领域主要关注点

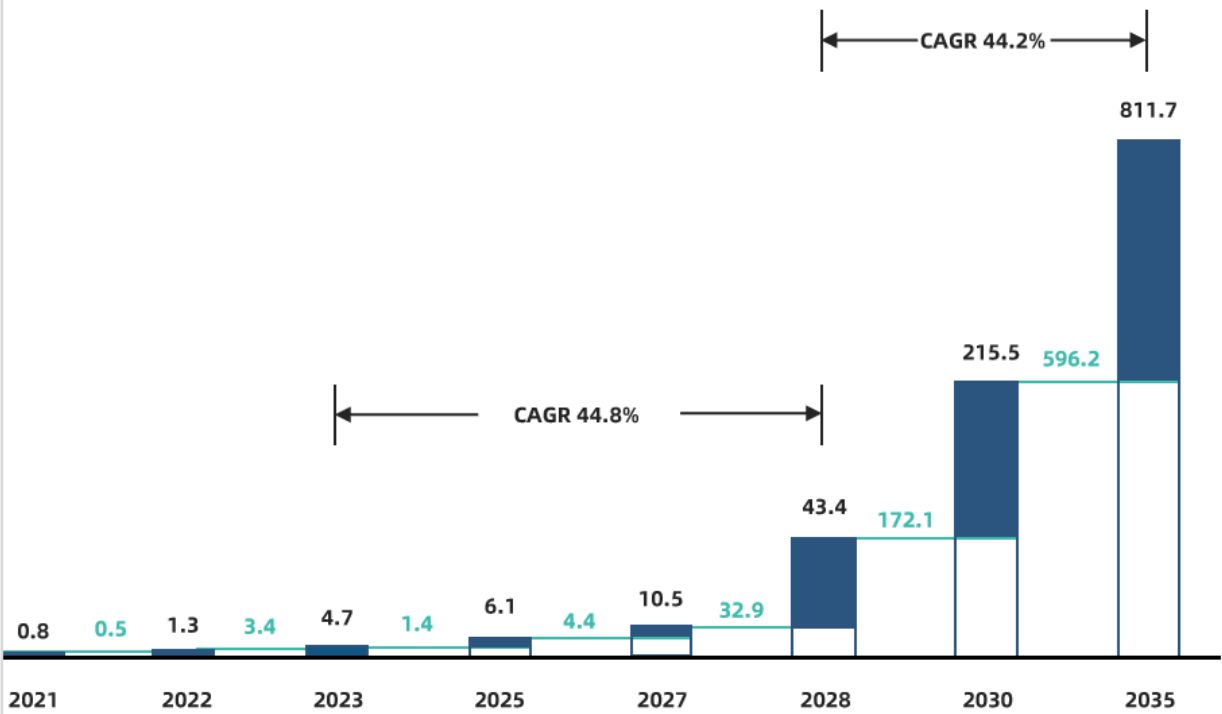
- 持续稳定支持科研探索与研发攻关，掌握和突破量子计算核心技术，加强供应链安全保障能力建设补齐支撑能力短板。
- 加快重点行业领域应用探索，促进量子计算企业与行业企业开展合作研发，提升应用转化能力，建设国家级量子计算云平台，促进应用探索。
- 加强产学研协同合作，依托产业联盟等平台加强各方合作，积极开展量子计算系统测试校准、基准测评等验证工作，助力硬件研发与云平台服务能力完善。

图表：量子技术发展趋势展望



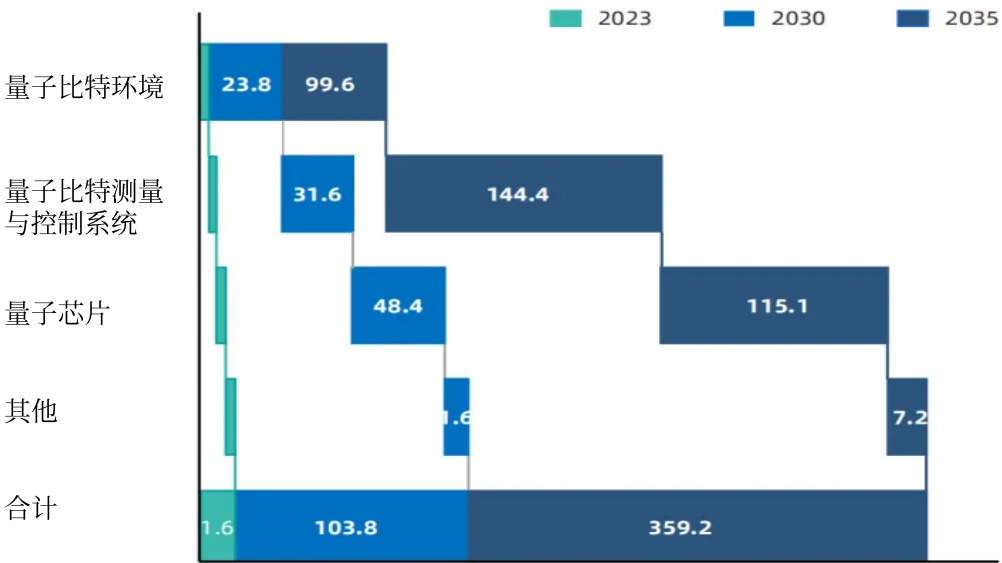
2.3.5 产业链潜在市场规模预测

图表：全球量子计算产业规模（2021-2035）（单位：十亿美元）

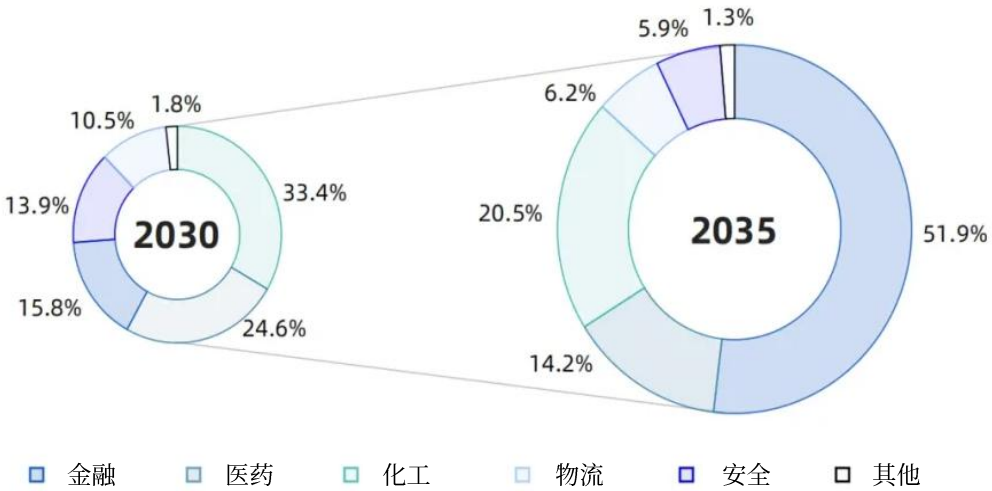


➤ 2035年总市场规模有望达到8117亿美元。根据ICV，2023年，全球量子计算产业规模达到47亿美元，2023至2028年的年平均增长率（CAGR）达到44.8%，基本符合行业发展规律。2027年，专用量子计算机预计将实现性能突破，带动整体市场规模达到105.4亿美元。在2028年至2035年，市场规模将继续迅速扩大，受益于通用量子计算机的技术进步和专用量子计算机在特定领域的广泛应用，到2035年总市场规模有望达到8117亿美元。这一接近万亿级别的市场规模标志着量子计算会在此进入全面成熟和商业化的关键阶段，预示着未来量子计算将在各个领域带来深远而持久的影响。

图表：全球量子计算上游产业规模（2023-2035）（单位：十亿美元）



图表：全球量子计算下游应用占比（2030, 2035；单位：%）



2.3.6 量子计算产业链需要重点关注的核心环节与发展方向

当前，量子计算产业正处于技术突破、应用探索和产业培育同步推进的关键期，整体属于从初创期到成长期的过渡阶段。从技术环境来看，一方面前沿新技术进步极快，另一方面仍有较多技术瓶颈亟待突破。从行业生态来看，供应链成熟度、市场接受度、商业模式等均处于在摸索中前进的发展初阶阶段。

- **多元化技术路线：**当前，量子计算的硬件设备研发，呈现出明显的技术路线多元化发展特征。其中，超导路线是最受业界关注的主要技术路线之一，参与者涵盖海内外科技大厂与众多初创企业，产业化发展进程相对领先。其它技术路线主要以创新性初创企业为主，近年来相关技术成熟度也在稳步、快速提升。
- **环境测控系统：**量子计算机的稳定运行高度依赖低温、真空等环境测控系统，用于控制外部环境噪声及量子系统内部非理想特性对量子态信息的干扰。环境测控系统是量子计算机产业化、工程化应用的核心物理环境支撑，主要包括环境设备、测控系统、关键组件等多个组成部分。近年来相关技术快速发展，可能孕育、催化出一个新的环境测控系统高新技术产业应用领域。
- **量子技术初创企业：**量子计算的前沿、创新技术特性，催化了一批新兴的行业初创企业迅速崛起。相关初创企业在核心技术攻关、应用场景探索、产品迭代升级等方面展现出创新活力，正在成为推动产业快速发展、突破的重要技术力量。例如，国内本源量子、华翊量子、玻色量子等初创企业，近年来相继推出了较多、不同的各类相关科研成果及技术突破。
- **量子-经典融合计算：**该模式通过创新的资源协同机制，可以有效融合量子计算与经典计算的相对优势，正在成为推动量子计算快速实现产业化、实用化商业化应用价值的有效途径。例如，北京量子研究院与清华大学合作在密码分析量子算法领域提出基于量子-经典融合架构的HAWI，并演示了容错学习问题（LWE）的求解，有效提高了密码分析成功率。
- **量子与 AI 产业的协同创新：**二者的融合不仅可以为量子计算注入新的发展动力，也可以为推动AI产业发展开辟新路径、新思路，可能共同推进、引领新一轮科技革命和产业变革。一方面，AI可能加速量子芯片、量子态测控、量子纠错、算法等核心技术的研发进程；另一方面，量子计算也在提升海量数据计算效率、缩短机器学习训练时间、优化AI大模型等方面展现出较大潜力。

3

量子通信与量子测量：绝对安全与极限精度

量子通信，是迄今唯一被严格证明无条件安全的通信方式。当前，基于量子密钥分发（QKD）的量子保密通信技术已进入实用化阶段，商用化产品研发和试验网络建设发展较为迅速。量子测量，是突破经典测量精度极限的综合性测量技术。原子钟、原子重力仪等已成熟商用，量子磁力计、光量子雷达和量子陀螺等处于工程化研发和应用探索阶段，量子关联成像、里德堡原子天线等尚处系统技术攻关。

3.1 量子通信：迄今唯一被严格证明无条件安全的通信方式

- 量子通信是利用量子力学原理对量子态进行操控的一种通信形式，是迄今唯一被严格证明无条件安全的通信方式。主要包括，量子密钥分发（QKD），利用量子的不可复制性以及测量的随机性来生成量子密码，给传统的数字通信加密；量子隐形传态（QT），利用量子纠缠直接传送量子比特，主要是为了给量子计算机之间的通信使用。此外，还包括相关的后量子加密（PQC）技术，是抵御量子计算攻击的公钥密码技术。
- 量子密钥分发（QKD）：通过对单光子或光场正则分量的量子态制备、传输和测量，首先在收发双方实现无法被窃听的安全密钥共享，之后再与传统保密通信技术相结合完成经典信息的加解密和安全传输。基于QKD的保密通信称为量子保密通信，目前已经进入产业化应用阶段，商用化产品研发和试验网络建设发展较为迅速。
- 量子隐形传态（QT）：基于通信双方的光子纠缠对分发(信道建立)、贝尔态测量(信息调制)和幺正变换(信息解调)实现量子态信息直接传输，其中量子态信息解调需要借助传统通信辅助才能完成。目前，量子隐形传态仍处于基础研究阶段。
- 后量子加密（PQC）：量子计算带来了破解现有数字安全加密技术的潜力。后量子密码学提供了一系列算法，旨在对抗量子计算机的能力，确保数据在未来仍然安全。作为一种基于数学算法，通过芯片和配套软件系统实现的方案，在成本和使用铺盖效率上较QKD有优势。

图表：量子密钥分配与量子隐形传态对比情况

量子通信类型	量子密钥分配	量子隐形传态
主要依据特性	量子不可克隆定理	量子纠缠态
传输的比特类型	经典比特	量子比特
是否用到量子纠缠	否	是
是否使用经典网络	是	否
通信的计算机类型	经典计算机	量子计算机
是否已经产业化	是	否

- ❑ 由于量子密钥分发系统在协议原理、组网方式、器件性能和现实安全性等方面存在局限，商用化系统的安全密钥速率仅为约10kbit/s量级，现网传输距离约100km左右，实验报道的最高密钥速率约为2Mbit/s量级（约40km传输距离时），光纤传输距离最高约200km（约1kbit/s密钥速率时）。
- ❑ 量子密钥分发目前主要面向城域范围的语音加密应用，随着协议、器件和系统技术的发展与改进，有望提高密钥速率和传输距离，逐步扩展到干线高速传输的加密应用。

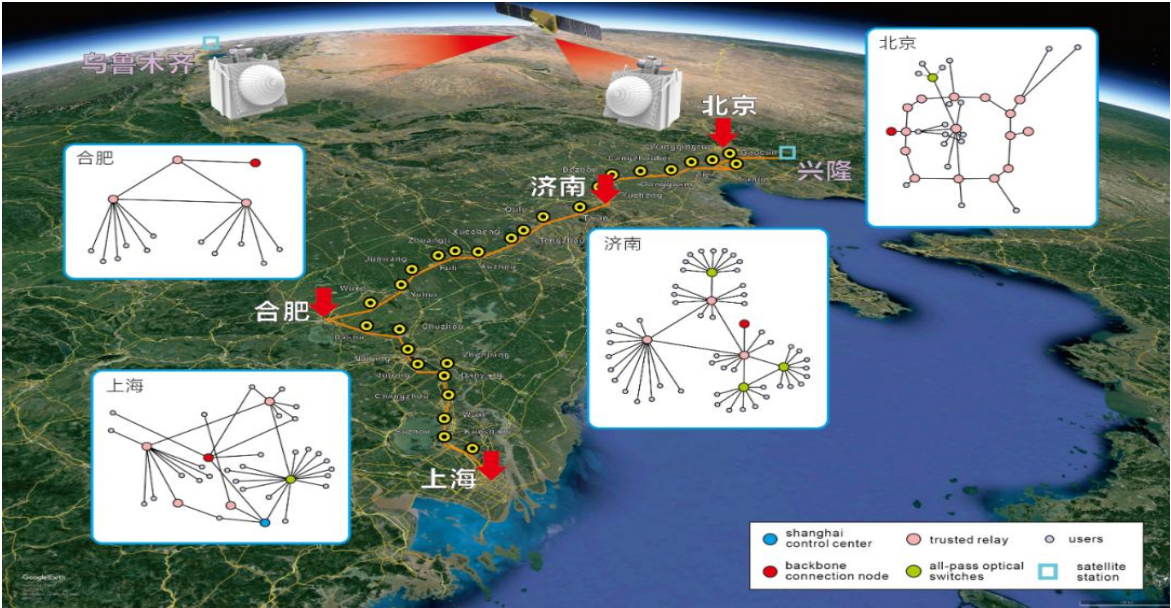
3.1.1 量子通信：国内行业标准《量子通信术语和定义》

➤ 2024年3月20日，中国通信标准化协会发布了国家标准《量子通信术语和定义》的解读。该协会是我国信息通信领域专业的标准化组织、全国通信标准化技术委员会（SAC/TC 485）的秘书处单位。《量子通信术语和定义》由SAC/TC485归口，国盾量子牵头制定，是我国首个量子通信术语正式标准。

进展

- 我国积极推进量子保密通信产业化发展，2018年2月，国家发改委正式批复新一代信息基础设施工程——国家广域量子保密通信骨干网络项目，目标通过10年左右在全球率先建成面向一带一路、服务国家战略需求的星地一体量子网络。同时，国家骨干网沿线及京津冀、长三角、粤港澳等重要经济发展地区的多个重点城市，正积极推进量子通信城域网建设，北京、上海、济南、合肥、武汉、海口、金华等地城域网已投入使用，广州、成都、南宁等地也正在建设或已启动城域网的建设，开展了金融、政务、能源、电信等多领域应用试点。

图表：天地一体广域量子通信网络



- 量子保密通信目前仍处于产业发展初期，亟需标准化支撑。目前，在量子保密通信系统自身的关键器件、设备及网络技术要求等方面已经编制了一系列通信行业标准。但在其自身所需专用术语以及量子通信整个领域中常用相关基础性概念、术语及定义方面，仍然缺乏相应的标准支撑，亟需制定统一的规范。
- 本标准文件主要包括量子通信的通用基础类术语和定义，以及基于光的量子密钥分发的专用术语和定义等内容

图表：准则主要内容与实施意义

通用基础术语和定义

- 量子密钥分发、量子隐形传态、密集编码、直接安全通信、秘密共享、数字签名等的基础性术语，基本覆盖了量子通信的各主要研究内容
- 开展量子通信各项研究内容所需要的两项基础技术：量子态制备和量子态探测的基础性术语

基于光的量子密钥分发的专用术语和定义

- 规范了设备、链路、系统和组网的各类术语定义，以及涉及设备功能、性能、安全性等方面的常用基础性术语和定义

本标准对目前阶段量子通信的常用术语进行了全面的梳理，通过向原始研究文献溯源，引用其他标准以及行业内协商等方法，完成了各术语定义的统一，澄清了相关的分歧和误解，为消除业界交流障碍奠定了基础

本标准可用于指导各相关行业编写量子通信以及量子保密通信相关的各类文件，实施本文件有利于量子通信的推广和应用，并能促进量子保密通信等相关产业的健康快速发展

3.1.2 全球量子通信产业链已经进入规模化商用阶段

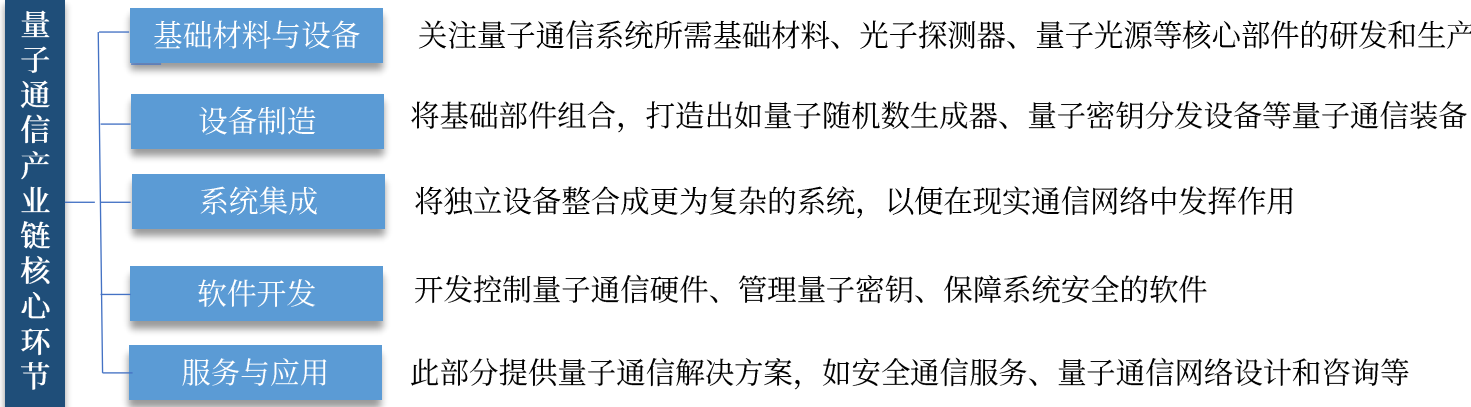
我国已经初步形成了涵盖终端和元器件供应商、量子设备与解决方案提供商、网络建设与系统集成商、网络运营与业务提供商的量子通信产业链条。上游主要包括芯片、光量子探测器等器件；中游主要包括量子密钥收发器、量子随机数发生器收发端等核心设备以及量子堡垒机、量子交换机、量子路由器、量子集控站、量子网关等网络设备；下游主要包括各类量子通信应用产品和专用网络。

图表：全球通信运营商2023年发布的量子通信与安全产品及服务

序号	国家	运营商	产品/服务
1	中国	中国电信	- 量子安全云 - 量子安全OTN - 量子密信 - 定制终端：华为Mate60 Pro量子密话定制终端；有量子密话功能的三星W24 W24 Flip手机终端；支持量子密话的天翼铂顿S9、天翼铂顿10手机终端 - 量子密码解决方案
2		中国联通	- 量子云盾产品 - 多场景量子安全通信解决方案
3	英国	British Telecommunications	量子安全虚拟专用网络（VPN）通信
4	韩国	SK Telecom	Galaxy Quantum 4手机

运营商正积极探索量子通信与安全技术的商业化途径，包括开发基于量子通信技术的加密通话产品、集成量子随机数发生器到云服务，以及量子安全通信解决方案。目前商业化渗透率不高，使用人群主要面向某些特定领域，采购方对新产品新技术的认知认可度有待提升

图表：量子通信产业链核心环节



图表：量子通信与安全产业链



资料来源：前瞻产业研究院、ICV TA&K、光子盒，中航证券研究所

3.1.3 量子通信：全球行业规模预估及市场结构

- **行业规模。**量子通信是量子信息学的重要分支，其具有不可克隆、不可分割和不可预测的特性，能够从根本上保证信息传输的绝对安全。根据前瞻产业研究院相关数据，2023年全球量子通信行业市场规模仅约10亿美元。初步估算，随着国防、信息安全需求的不断增长，2024年全球量子通信行业市场规模将快速增长超过26亿美元，未来六年行业复合增速更将达到39.5%。
- **市场结构。**当前，从技术上来说仅有量子密钥分配实现产业化、规模化商业应用，因此我们通常说的量子通信狭义上指的就是量子密钥分配或者量子保密通信。量子通信市场规模构成也主要有量子密钥分配设备及服务、QRNG设备和PQC算法服务等。根据前瞻产业研究院相关数据，2023年全球量子通信市场中，量子密钥分配设备及服务市场规模占比最大超过80%。

图表：全球量子通信行业市场规模（美元）



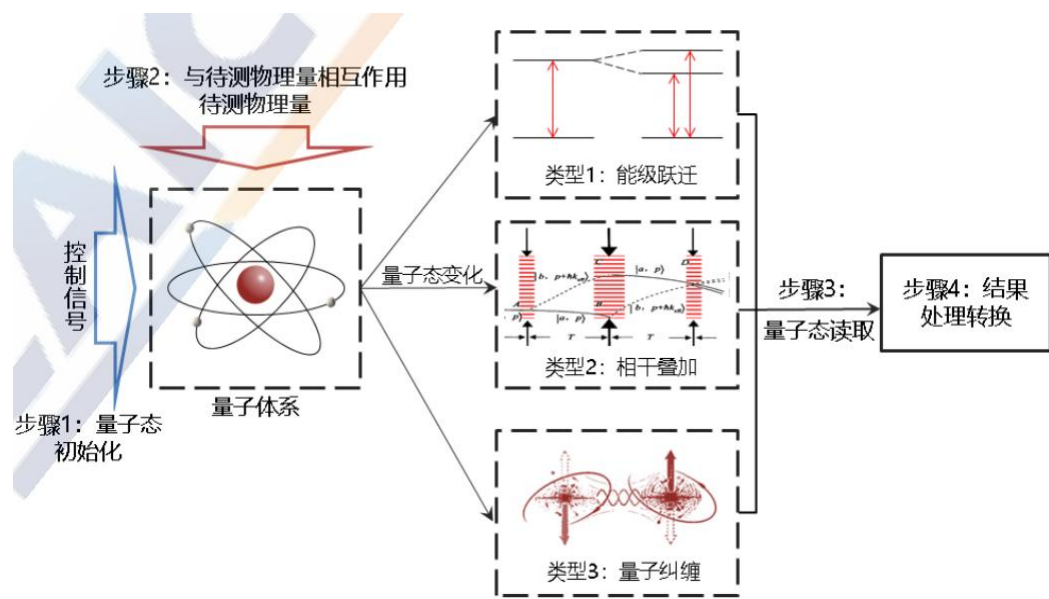
图表：2023年全球量子通信行业市场结构（%）



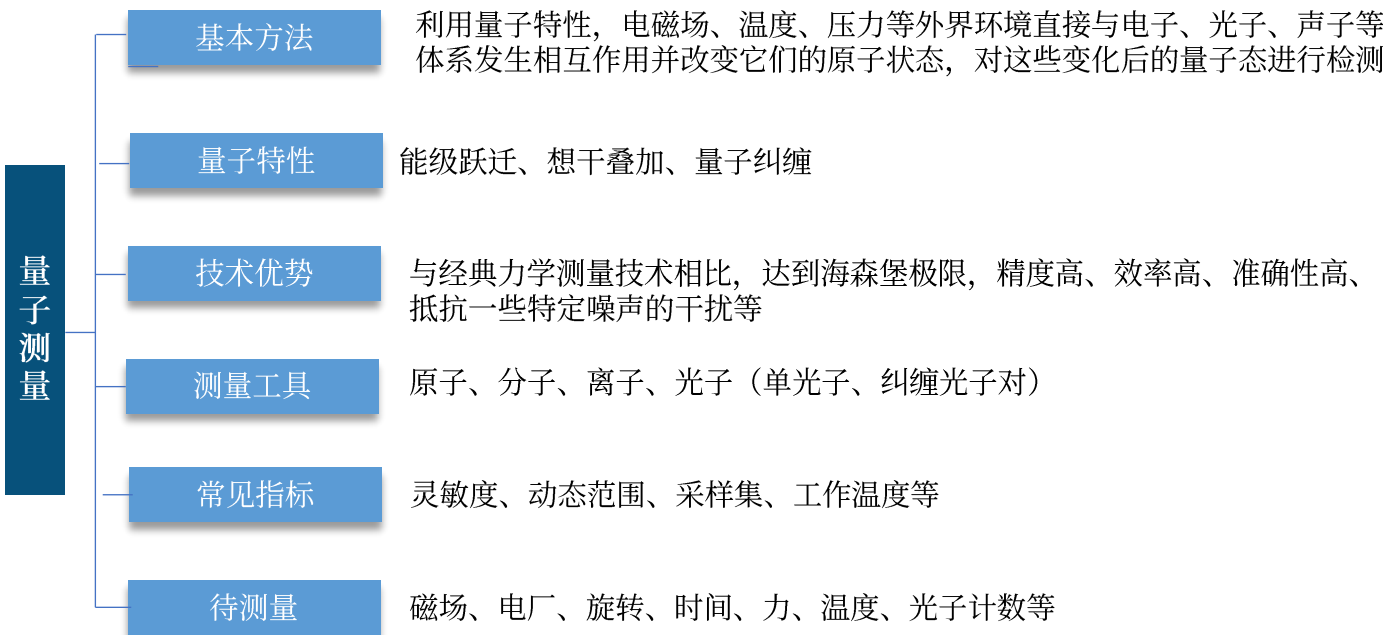
3.2 量子测量：突破经典测量精度极限的综合性测量技术

- 量子测量，也称量子传感，是指利用量子特性获得超高精度的传感测量技术，即基于对中性原子、离子、光子等微观粒子系统的调控和观测，提升传感测量的性能。基本原理，是外界的电磁场、温度、压力等物理量会改变原子、光子、声子等微观粒子的量子态，可通过分析待测物理量变化导致的量子态改变来实现精密测量。
- 与经典力学测量技术相比，量子测量的精度可以达到甚至超过海森堡极限，具有可溯源、精度高、效率高、准确性高、可抵抗一些特定噪声干扰等优势，可以广泛应用于导航定位、国防科技、地质勘测、医疗诊断、物理研究、自然资源等多种领域。

图表：量子测量的主要步骤



图表：量子测量简介



3.2.1 量子测量：产业链初步形成，规模化商用仍存挑战

▶ 量子测量各技术方向的发展成熟度有较大差异，原子钟、原子重力仪等已成熟商用，量子磁力计、光量子雷达和量子陀螺等处于工程化研发和应用探索阶段，量子关联成像、里德堡原子天线等尚处系统技术攻关。量子测量产业链上游主要是系统研发所需的基础材料、元器件和支撑系统提供商。基础材料包括高纯度同位素材料、金刚石、惰性气体等；元器件主要包括激光器、原子气室、光学系统元器件、电子元器件、线缆等；支撑系统主要包括磁屏蔽、真空、低温、隔振等环境保障；上游厂商在欧美集中度较高。目前量子测量技术路线多元，所需上游材料、器件差异性大，给上游整合和优化带来挑战。中游是各种技术方向的系统设备提供商。热原子钟成熟度和商业化程度最高，广泛应用于通信、电力、卫星导航等。近年来，芯片级的热原子钟成为业界关注热点。下游涉及基础科研、国防军工、生物医药等多种领域。

图表：量子测量技术体系框架



图表：量子测量产业链与代表性企业概况

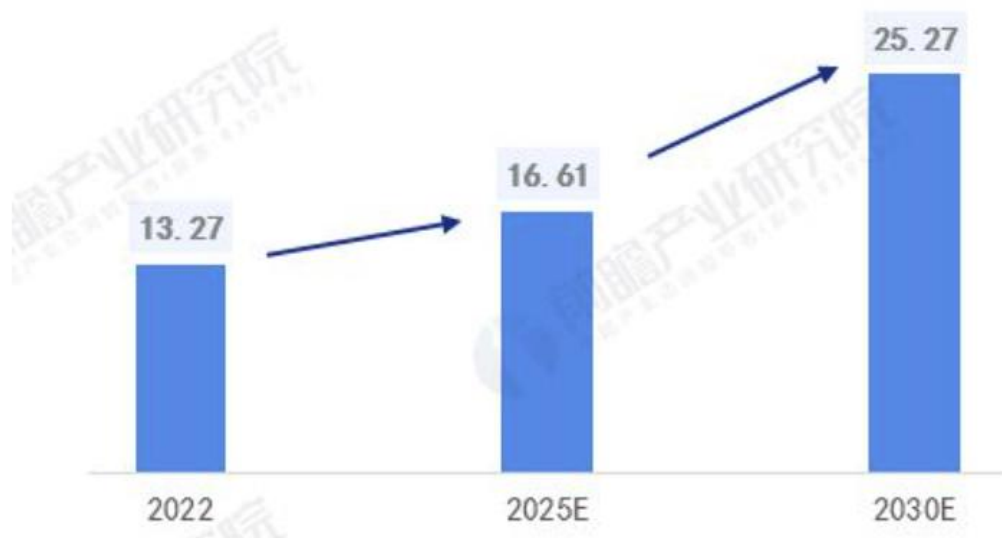


资料来源：量子信息网络产业联盟、中国信通院，中航证券研究所

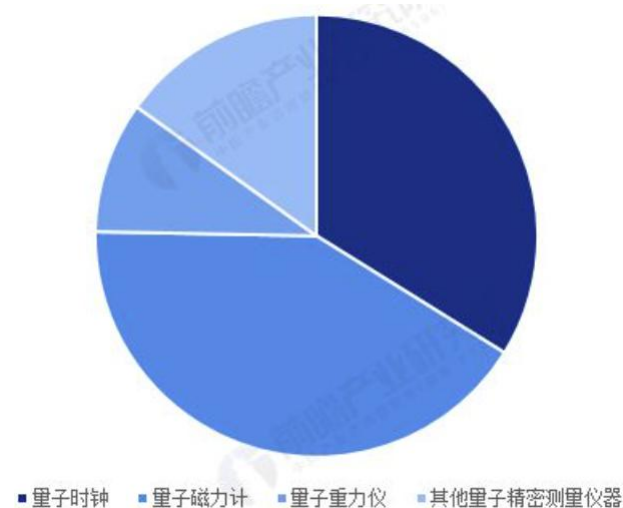
3.2.2 量子测量：产业规模预测及细分市场格局

- 根据ICV TA&K的数据，2022年，全球量子精密测量市场规模达到13.27亿美元，产业整体初具规模。未来随着量子信息科技的发展，会有更多的量子精密测量设备可能会让市场进一步扩大，预计2030年，量子精密测量市场数据增长到25.27亿美元。
- 量子精密测量市场主要包括量子时间测量、量子磁场测量、量子重力测量、以及其他量子精密测量仪器。具体来看，2022年，量子磁场测量仪器(量子磁力计)市场份额排名第一，为41%，其次为量子时间测量仪器(量子时钟)，市场占比34%。

图表：2022-2030年全球量子测量产业规模预测（单位：亿美元）



图表：2022年全球量子测量细分市场格局（单位：%）



4

国内主要科技企业在量子技术及相关应用领域市场布局

图表：国内量子信息科技企业技术及应用领域布局

企业简称	核心业务领域	业务布局分析
本源量子	量子芯片及操作系统	研发超导量子计算芯片“夸父”系列 布局量子计算全栈技术链 推出量子编程框架QPanda 与中科大共建量子计算云平台
国盾量子	量子通信及密钥分发	主导量子保密通信干线建设 开发量子计算与通信融合网络 布局量子计算安全协议 参与国家广域量子网络工程
华为量子	量子算法及云服务	推出量子计算模拟器HiQ 2.0 开发量子-经典混合计算架构 聚焦量子化学模拟与优化算法 联合中科院攻坚量子软件生态
阿里巴巴量子	量子云计算平台	达摩院量子实验室研发太章2.0模拟器 构建量子机器学习平台 布局量子计算+AI药物研发 开放云上量子开发接口
腾讯量子	量子计算与AI融合	量子实验室研发“启明”量子编译器 开发量子金融优化模型 探索量子计算在游戏引擎中的应用 投资海外量子初创公司
百度量子	量子机器学习平台	推出量子脉冲计算系统量脉 开发量子自然语言处理框架 布局量子生物信息学 与高校共建量子+自动驾驶算法平台
启科量子	量子测控系统	研制首套量子计算测控一体机 突破多通道微波调控技术 开发离子阱量子计算机工程化方案 布局量子计算标准化体系
中科酷原	超导量子器件	研发高相干时间超导量子比特 实现256位量子芯片原型 建设超导量子产线 与中科院共建量子芯片联合实验室
量旋科技	核磁共振量子计算	开发桌面型量子计算机“双子座” 布局量子计算教育市场 推出量子编程可视化平台 拓展量子计算科普与行业培训
图灵量子	光量子计算	研制集成光量子芯片 开发光子量子计算原型机 布局量子计算与光通信融合 完成千万元级光量子芯片产线建设

上市公司中，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。神州信息是量子通信干线的重要服务商之一。禾信仪器拟作价3.84亿元，通过发行股份及支付现金购买上海量羲技术有限公司56%的股权。吉大正元将逐步实现网间连接器等密码产品具备量子随机数以及抗量子密码的能力。

- 当前，全球量子信息产业培育进入起步期，逐渐成为风险投资的新风口。量子信息产业的发展主要以企业为主力军，以产学研合作的形式进行开发，正在形成科技巨头争相进入和初创公司蓬勃发展的局面。
- 综合来看，量子信息产业当前技术成熟度整体较低，在量子计算领域，现阶段量子计算的研究发展水平距离实用化仍有较大差距；在量子通信领域，进入实用化阶段的量子密钥分发主要面向信息安全领域应用；在量子测量领域，原子钟、核磁共振陀螺和单光子探测等基于已有技术平滑升级演进的量子测量方向发展更加成熟，实用化水平更高。整体来看，量子技术正处在产业化的初期阶段，但未来具有广泛的应用潜力。

图表：量子信息技术投资潜力评估

	量子计算	量子通信	量子测量
技术成熟度	★	★★	★☆
专利技术布局	★★	★★★★	★★
科技企业布局	★★	★★	★★
投资机构布局	★★☆	★★	★☆
投资潜力综合评价	★★	★★	★★

资料来源：前瞻产业研究院，中航证券研究所

核心观点

- **量子信息系引领未来全球科技变革之关键力量。**量子信息主要包括量子计算、量子通信和量子测量三大应用领域，在提升计算困难问题运算处理能力、加强信息安全保护能力、提高传感测量精度等方面，具备突破经典信息技术瓶颈的潜力，正在成为全球科技竞争新焦点。近年来，随着相关前沿技术的快速突破，英伟达CEO黄仁勋在年初还认为量子计算实用化还需“数十年”，6月份即公开表示该技术正迎来“拐点”，实用化可能比预期更早到来。
- **量子计算理论算力指数级超越电子计算。**量子计算利用量子纠缠和量子叠加特性，在理论上实现对经典算法的指数级加速效果。量子与AI产业的协同创新，不仅为量子计算注入新的发展动力，也可能为推动AI产业发展开辟新路径、新思路。当前，量子计算产业正处于技术突破、应用探索、产业培养同步推进的关键期。国内量子计算的发展也呈现出“硬件多点开花、软件工具补齐、产业协同发力”的良好态势。根据ICV预测，2023年，全球量子计算产业规模达到47亿美元，2023至2028年的年平均增长率（CAGR）达到44.8%。
- **量子通信与量子测量：绝对安全与极限精度。**量子通信，是迄今唯一被严格证明无条件安全的通信方式。当前，基于量子密钥分发（QKD）的量子保密通信技术已进入实用化阶段，商用化产品研发和试验网络建设发展较为迅速。量子测量，是突破经典测量精度极限的综合性测量技术。原子钟、原子重力仪等已成熟商用，量子磁力计、光量子雷达和量子陀螺等处于工程化研发和应用探索阶段，量子关联成像、里德宝原子天线等尚处系统技术攻关期。根据Coherent Market Insights数据，2030年全球量子通信产业规模预计达到78.5亿美元；ICV TA&K数据显示，2030年量子精密测量市场规模预计增长到25.27亿美元。

■ **投资建议：**我们认为，随着全球在量子技术领域不断取得积极进展，量子信息正在成为引领未来全球科技变革之关键力量。同时，国内相关企业在量子前沿科技领域具有相对领先、全面、深入的技术、产品及市场布局，未来可能充分享受到朝阳产业快速成长的红利。建议关注：国盾量子、禾信仪器、科大国创、神州信息、电科网安、吉大正元等产业链相关企业。

图表：量子信息相关标的（收盘日截止2025年10月10日）

简称	代码	收盘价(元)	总市值(亿元)	营业总收入（亿元）			净利润(亿元)		
				2022A	2023A	2024A	2022A	2023A	2024A
国盾量子	688027.SH	360.01	370.31	1.35	1.56	2.53	-0.86	-1.24	-0.32
禾信仪器	688622.SH	114.20	80.47	2.80	3.66	2.03	-0.63	-0.96	-0.46
科大国创	300520.SZ	25.49	74.44	24.00	25.15	19.00	-0.58	-3.80	-0.08
神州信息	000555.SZ	13.64	133.10	119.99	120.56	100.03	2.07	2.07	-5.24
电科网安	002268.SZ	17.51	148.07	34.38	30.73	24.67	3.07	3.49	1.58
吉大正元	003029.SZ	24.43	47.30	4.91	4.08	4.07	-0.34	-1.57	-1.39

资料来源：WIND，中航证券研究所

- 1、技术路径尚不确定：** 量子计算有多种技术路线（如超导、离子阱、光量子、拓扑量子等），目前尚未有路线被证明是通往大规模通用量子计算的唯一最优解。不同路线均面临技术瓶颈，任何路线的重大突破或证伪都可能对已形成的市场格局造成颠覆性影响。
- 2、技术瓶颈突破不及预期：** 量子比特的稳定性、相干时间、门操控精度、纠错能力等关键指标仍需数量级上的提升。若核心底层技术（如纠错码、高精度操控、新材料等）的研发进展缓慢，将极大延迟通用量子计算机的实现时间表。
- 3、商业化落地周期漫长：** 量子计算（尤其是通用量子计算）的商业化应用可能需10年甚至更长时间，量子传感和通信的落地相对较快，但大规模市场渗透仍需时日。企业可能面临长期投入无果的风险。
- 4、市场需求与支付意愿不确定：** 当前市场主要由政府研发驱动和早期风险投资支持，真正的企业级付费市场尚未形成。客户对量子技术解决方案的迫切性、适用性和支付意愿仍需市场检验。
- 5、下游应用不及预期：** 应用生态的贫乏会反过来制约硬件技术的发展。
- 6、核心硬件与材料供应链脆弱：** 稀释制冷机、高质量低温元件、特种光纤等核心设备的供应链高度集中，可能面临地缘政治、贸易摩擦或产能瓶颈的制约。
- 7、人才短缺与竞争白热化：** 顶尖量子科技人才全球性稀缺，科技巨头与初创公司之间、国与国之间的人才争夺战日趋激烈，可能导致人力成本急剧上升和团队不稳定。
- 8、知识产权与专利壁垒：** 后发企业可能面临高昂的专利授权费用或严酷的专利诉讼风险。

**卢正羽：**

先进制造行业 研究员

香港科技大学理学硕士，2020年初加入中航证券研究所，覆盖通用设备、军民融合和计算机板块。

SAC：S0640521060001

**闫智：**

先进制造行业 研究员

南京大学工学硕士，2022年7月加入中航证券研究所，覆盖机器人、工业母机、锂电设备等。

SAC：S0640524070001

**周子硕：**

先进制造行业 研究员

南洋理工大学应用经济学硕士，2024年11月加入中航证券研究所，覆盖先进产业中小盘研究。

SAC：S0640124110004

我们设定的上市公司投资评级如下：

买入
增持
持有
卖出

- ：未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅10%以上。
- ：未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅5%~10%之间。
- ：未来六个月的投资收益相对沪深300指数涨幅-10%~+5%之间。
- ：未来六个月的投资收益相对沪深300指数跌幅10%以上。

我们设定的行业投资评级如下：

增持
中性
减持

- ：未来六个月行业增长水平高于同期沪深300指数。
- ：未来六个月行业增长水平与同期沪深300指数相若。
- ：未来六个月行业增长水平低于同期沪深300指数。

分析师承诺

负责本研究报告全部或部分内容的每一位证券分析师，再次申明，本报告清晰、准确地反映了分析师本人的研究观点。本人薪酬的任何部分过去不曾与、现在不与、未来也将不会与本报告中的具体推荐或观点直接或间接相关。

风险提示：投资者自主作出投资决策并自行承担投资风险，任何形式的分享证券投资收益或者分担证券证券投资损失的书面或口头承诺均为无效。

免责声明

本报告由中航证券有限公司（已具备中国证券监督管理委员会批准的证券投资咨询业务资格）制作。本报告并非针对意图送发或为任何就送发、发布、可得到或使用本报告而使中航证券有限公司及其关联公司违反当地的法律或法规或可致使中航证券受制于法律或法规的任何地区、国家或其它管辖区域的公民或居民。除非另有显示，否则此报告中的材料的版权属于中航证券。未经中航证券事先书面授权，不得更改或以任何方式发送、复印本报告的材料、内容或其复印本给予任何其他人。未经授权的转载，本公司不承担任何转载责任。

本报告所载的资料、工具及材料只提供给阁下作参考之用，并非作为或被视为出售或购买或认购证券或其他金融票据的邀请或向他人作出邀请。中航证券未有采取行动以确保于本报告中所指的证券适合个别的投资者。本报告的内容并不构成对任何人的投资建议，而中航证券不会因接受本报告而视他们为客户。

本报告所载资料的来源及观点的出处皆被中航证券认为可靠，但中航证券并不能担保其准确性或完整性。中航证券不对因使用本报告的材料而引致的损失负任何责任，除非该等损失因明确的法律或法规而引致。投资者不能仅依靠本报告以取代替行使独立判断。在不同时期，中航证券可发出其它与本报告所载资料不一致及有不同结论的报告。本报告及该等报告仅反映报告撰写日分析师个人的不同设想、见解及分析方法。为免生疑，本报告所载的观点并不代表中航证券及关联公司的立场。

中航证券在法律许可的情况下可参与或投资本报告所提及的发行人的金融交易，向该等发行人提供服务或向他们要求给予生意，及或持有其证券或进行证券交易。中航证券于法律许可下可于发送材料前使用此报告中所载资料或意见或他们所依据的研究或分析。