

证券研究报告 | 新兴产业 | 2025年3月16日

新兴产业·量子信息技术行业深度报告

量子信息技术：全球科技赛场新前沿，国际竞争逐渐白热化

分析师

李鲁靖

登记编号：S1220523090002

刘明洋

登记编号：S1220524010002

联系人

孔德璋

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

- **量子信息技术是未来产业竞争力的核心，全球各国纷纷布局。**量子信息是一门结合了量子力学原理和信息技术的的前沿交叉领域，其核心在于利用量子叠加、量子纠缠等特性，实现传统信息技术无法企及的功能。量子信息技术分为量子计算、量子通信、量子测量、抗量子密码四大领域。作为能使计算、通信等领域实现革命性突破的产业，量子信息技术是培育未来产业、构建新质生产力、推动高质量发展的重要方向之一。目前全球各国纷纷布局，美国计划在2026-2030财年提供超过25亿美元的资金支持，欧盟计划于2021-2027年将至少投入130亿欧元用于发展量子技术、光子学等多个数字技术。中国在全球量子信息技术市场中占据重要地位，在量子通信和量子计算领域取得了多项进展。
- **量子计算-重塑现代算力效率，全球竞争核心领域。**量子计算依托量子力学原理，借助量子比特所展现出的量子叠加和量子纠缠等现象重构计算模式，大幅提升计算效率。目前量子计算产业仍处于前期技术研发和应用探索阶段，但全球众多国家及企业纷纷入局，各个国家已经开始针对量子计算的“军备竞赛”，谷歌、微软、AWS，以及国内团队、本源量子纷纷发布高性能量子计算芯片，未来量子计算有望实现快速增长。当前，量子计算硬件中超导、离子阱、中性原子、光量子、硅半导体等多种技术路线并行发展，其中超导、离子阱为主流路线。短期内量子计算有望与传统计算融合的同时上云，降低使用门槛，同时，AI技术也有望赋能量子计算，实现硬件设计、算法优化、应用创新等优势。
- **量子通信-量子时代的安全保障，QKD、PQC并驾齐驱。**量子通信利用量子不可克隆性、量子纠缠原理以及测不准原理，通过保密通信协议和工程技术，如量子密钥分发、量子随机数发生器和量子隐形传态等，实现信息传输的安全性，主要包括QKD(量子密钥分发技术)以及PQC(抗量子密码)两大技术。QKD可以确保密钥分发过程的安全性，具有长距离传输、高速率密钥生成、集成化、兼容现有通信技术等特点。PQC基于纯数学，利用格密码、编码密码、多变量密码等多种新型数学结构和算法重构现有的密码系统。未来，QKD将与PQC互相融合，完成量子保密通信的构建。我国量子通信行业目前处于建设初期，城域网-骨干网-星地量子通信网络初具规模，未来建设即将加速。
- **量子测量-高精度测量手段，下游应用前景广阔。**量子测量通过间接方式测量物理量，可能会改变被测系统的量子状态，使得测量后系统呈现出不同的状态，显著提升了测量的精度、灵敏度和稳定性，相较传统技术具有数量级的优势。目前量子测量在国防、医疗、能源、通信、科研等领域均有应用，主要需求增量来源于高端行业对精密测量的需求增长。量子测量研发难度大，技术壁垒高，目前国内已在传感器、测量仪上完成众多突破，未来量子测量仪器有望逐渐向轻量化发展。
- **建议关注：**详情请见第五部分投资建议。
- **风险提示：**技术研发进度不及预期风险；商业化落地不及预期风险；地缘政治加剧风险；政策支持不及预期风险等

- 一. 量子信息技术：未来产业的代表，全球科技赛场新前沿
- 二. 量子计算-重塑现代算力效率，全球竞争核心领域
- 三. 量子通信-量子时代的安全保障，QKD、PQC并驾齐驱
- 四. 量子测量-高精度测量手段，下游应用前景广阔
- 五. 投资建议
- 六. 风险提示

1. 量子信息技术：未来产业的代表，全球科技赛场新前沿

1.1 量子信息技术-全球科技赛场新前沿

1.2 量子信息技术-国家战略性新质生产力，未来产业竞争力的核心

1.3 全球竞争格局：科技赛场新前沿，全球各国纷纷布局

1.4 全球竞争格局：国内成果频出，占据重要地位。

1.5 国家重点关注，提供大力政策支持

1.6 量子信息技术产业链

量子信息技术是国家新质生产力的重要组成部分。量子信息技术作为能使计算、通信等领域实现革命性突破的产业，是培育未来产业、构建新质生产力、推动高质量发展的方向之一。量子信息是一门结合了量子力学原理和信息技术的交叉领域，其核心在于利用量子力学的独特性质进行信息处理和传输，能够利用量子叠加、量子纠缠等特性，实现传统信息技术无法企及的功能。

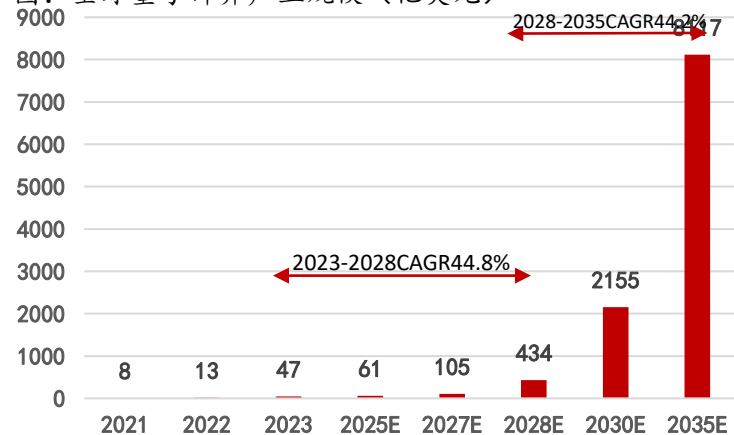
短时间内实现多项技术突破，国际竞争逐渐白热化。

国际：美国参议院已拟提出量子领先法案，计划在2026-2030财年提供超过25亿美元的资金支持。欧盟发布《“地平线欧洲”2025-2027年战略计划》，表示2021-2027年将至少投入130亿欧元用于发展量子技术、光子学等多个数字技术。荷兰已选定六家公司和研究机构，来开发针对技术和运营难题的量子解决方案，最终成果将在2025年11月进行展示。近期，微软首发量子计算芯片Majorana1，显著提升了量子比特的相干时间和可扩展性。谷歌量子人工智能团队发布全新的超导量子处理器Willow，用时不到5分钟完成了当前世界最快超级计算机Frontier需要耗时10亿亿年完成的RCS基准测试，行业进展处于加速阶段。

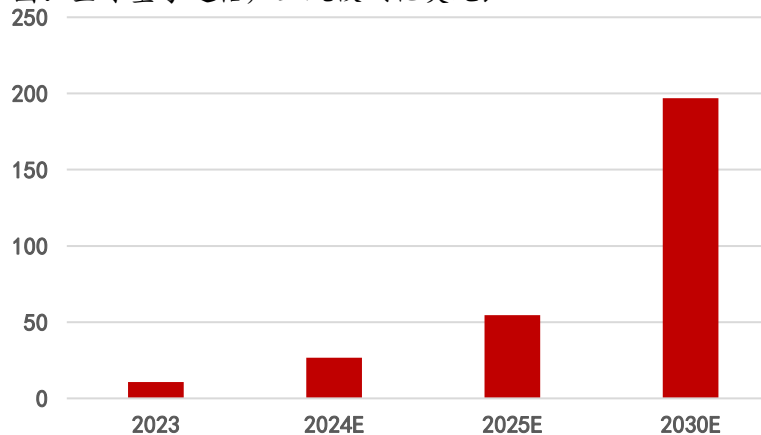
国内：目前，中央、东部沿海省市及部分中部16个省份均发布一系列相关政策，支持量子信息科技发展。2024年两会期间，国务院国资委指出，2025年中央企业战略性新兴产业收入的占比要达35%，在类脑智能、量子信息、可控核聚变等方面要提前布局，到2030年要实现百万级量子计算机。2月20日，国内发布全球首例基于集成光量子芯片的“连续变量”量子纠缠簇态，使量子计算距离实用化再进一步。国内研发的105个量子比特的“祖冲之三号”量子计算机正式发表，为目前超导量子计算的最强优越性。我国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”突破2000万次全球访问量。

量子三大领域中，量子计算进展空间最大，量子通信测量产业相对成熟。据测算，2027年，专用量子计算机预计将实现性能突破，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年量子计算总市场规模有望达到8117亿美元。量子通信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带来的产业价值。仅考虑QKD、PQC、QRNG三个重要市场，2030年全球量子通信市场规模为196.8亿美元。而全球量子测量市场规模预计从2019年的11.2亿美元增长到2030年的25.27亿美元，市场规模呈现不断上升趋势，年复合增长率为7.97%。

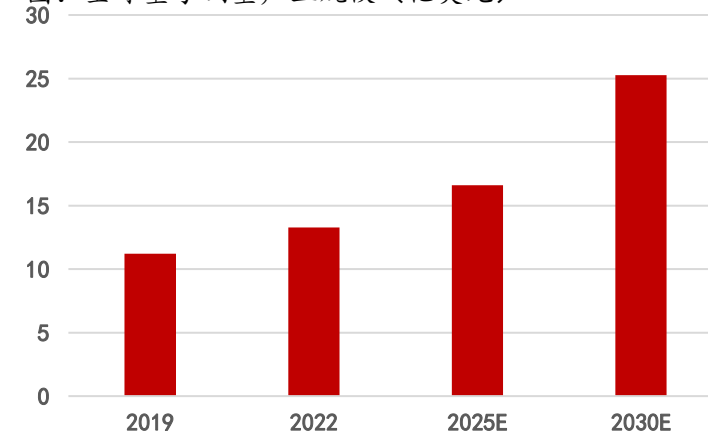
图：全球量子计算产业规模（亿美元）



图：全球量子通信产业规模（亿美元）



图：全球量子测量产业规模（亿美元）



- 量子信息技术能够利用量子叠加、量子纠缠等特性实现传统信息技术无法企及的功能，是国家未来产业的代表。量子信息技术是一门结合了量子力学原理和信息技术的前沿交叉领域，其核心在于利用量子力学的独特性质进行信息处理和传输。量子信息技术的独特之处在于其能够利用量子叠加、量子纠缠等特性，实现传统信息技术无法企及的功能。量子科技产业从20世纪初的理论奠基起步，历经实验验证和技术发展，到2010年代进入产业加速发展期。如今，各国政府和企业加大投入，推动量子计算、通信和传感等领域的技术走向市场。
- 量子信息技术产业分为量子计算、量子通信、量子测量、抗量子密码四大领域，可以对传统计算、通信、测量等领域带来革命性进展。

图：量子信息技术分类，原理及描述

分类	原理	描述
量子计算	量子比特的量子叠加&量子纠缠	量子计算是利用量子力学原理处理信息的新型计算模式，核心是使用量子比特，其具备量子叠加和量子纠缠特性，能让量子计算机在特定问题上远超传统计算机。在密码学、化学材料科学、金融以及人工智能等领域潜力巨大。全球量子计算领域发展迅速，技术路线多元化，竞争激烈。
量子通信	量子不可克隆性、量子纠缠原理、量子测不准原理	量子通信是利用量子力学原理传输信息的新型通信技术，核心是借量子态传输实现量子密钥安全分发，因量子态不可克隆、纠缠、测不准，具有绝对安全性。其主要应用于信息安全领域，在军事、国防等对信息安全要求高的行业提供安全保障，在构建量子互联网方面潜力巨大。中国在量子通信领域成果显著，发射“墨子号”卫星，建成多条骨干量子通信基础设施网络及城市级量子保密通信网，并探索小型化量子通信卫星和卫星网络部署。
量子测量	量子态敏感性&变化	量子测量是利用量子力学原理实现高精度测量的技术，凭借量子态敏感性对物理量超高精度测量，主要应用于时间频率、磁场、重力测量等领域。中国在该领域成果突出，高精度原子钟自主研发并应用于北斗，量子重力仪性能领先。
抗量子密码	格密码、编码密码、多变量密码	抗量子密码技术是一种旨在抵御量子计算机攻击的密码技术（通常是公钥算法）。随着量子计算的发展，抗量子密码技术的重要性日益凸显。抗量子密码技术目前主要是采用基于格的密码、多元二次方程、基于纠错码、基于哈希的密码术等方法来保护数据免受量子计算机的攻击。

量子信息技术-国家战略性新质生产力，未来产业竞争力的核心

量子信息技术作为新一代信息技术的前沿领域，是符合新质生产力的重要经济形态，其核心在于通过技术革命性突破、生产要素创新性配置及产业深度转型，推动生产力的跃升。

- 技术革命性突破：**量子信息技术基于量子力学原理，通过量子叠加、纠缠等特性，在计算、通信和测量领域实现传统技术无法企及的突破。例如量子计算机仅需 4 小时就能完成传统超级计算机需要耗费5万年才能完成的任务；通过量子密钥分发等技术，实现了“信息论安全”，为通信安全提供了绝对保障；借助量子态调控技术，实现了超高精度的测量等，完成了技术革命性的突破。
- 生产要素创新性配置：**量子计算可以与AI、云计算深度融合，在优化量子线路设计和量子门操作，提高量子计算芯片设计工作效率的同时增强大规模数据处理与复杂计算能力，满足多领域高算力需求。
- 产业深度转型升级：**量子信息技术通过赋能传统产业和催生新业态，推动经济结构升级，其三大领域可与5G融合，构建安全通信网络，助力金融、能源等领域数字化转型，同时可以使得下游应用场景产生较大的转变。

图：量子信息技术三大领域自身优势

分类	优势	描述
量子计算	强大的计算能力	相比于经典计算机，量子计算机具有更强大的计算能力。量子计算机利用量子并行性和量子态演化，在特定问题（如大数分解、量子化学模拟）上可实现对经典计算机的指数级加速，具有重大战略意义和科学价值，是实现未来算力飞跃的重要手段之一。
	解决复杂优化问题	量子算法借助量子叠加和纠缠原理带来的计算并行性，可同时探索大量可能解决方案，更高效地浏览解决方案空间，在极短时间内找到最佳或近乎最佳方案。
量子通信	高度安全性	量子网络将量子密码学用于信息加密与解密，其中量子密钥分发（QKD）作为一种量子加密协议，能在不安全网络上以量子比特或偏振光子形式实现秘密密钥共享，为超安全连接提供保障，发送方和接收方通过比较测量结果来消除误差、察觉第三方窃密企图并解密密钥，确保通信的安全性。
量子测量	高精度和稳定性	量子测量利用微观粒子的固有性质进行测量，无需依赖外部计量校准，这使得测量结果更为可靠，兼具稳定性和准确性。

图：量子信息技术可对传统领域带来革命性进展

行业	方向	描述
金融	投资优化与风险管理	量子计算可利用强大计算能力更快速准确地处理海量数据，实现更精准的投资组合优化，帮助投资者发现传统方法难以察觉的潜在投资机会以提高收益；还能更精准地评估金融风险，识别传统方法无法发现的风险。
	保障金融信息安全	银行机构通过量子加密通信实现加密传输业务数据。需要加密的业务数据被传输到量子加密安全网关，网关利用量子密钥对数据进行加密，将明文转换为密文；随后，业务数据通过业务网络传输，当密文到达接收端后，通过量子加密安全网关使用对称量子密钥对密文进行解密，恢复为明文；最后，业务数据传输至应用终端。这种方法相较于传统方法安全性更高。
医疗	精确诊断	量子成像技术借助量子纠缠与干涉原理，有望突破传统医学成像（如X光、CT、MRI）局限，实现更高分辨率与精准成像，像在癌症早期诊断中可清晰捕捉微小肿瘤病变，提高早期发现率；量子传感技术能通过检测量子态变化快速准确识别特定生物标志物，提前预警发病风险。
	前沿治疗新手段	量子点药物递送，量子点可作高效药物载体，通过精准调控其表面性质与尺寸，实现药物精准递送；量子共振治疗使相关设备发射特定频率量子波与人体细胞生物分子共振，调节细胞生理功能，促进自我修复与再生，在神经系统疾病及慢性疼痛等治疗上颇具潜在应用价值。
工业	汽车制造	量子信息技术将推动行业向电动汽车和自动驾驶汽车转型。量子计算可以在分子层级模拟化合物，设计更坚固、轻质且能量密度高的电池层，解决经典计算机模拟局限，探索更多材料和配置，开发出储能多、释能高效的电池。同时，量子计算可模拟含众多相互作用零部件的整个系统，帮助制造商寻求最节能方案，节约电力以提升续航。
	半导体	量子力学为理解半导体按需改变导电能力的特性提供原理支撑，有望催生具有优异性能的新型半导体材料和器件；半导体量子点则是构建量子计算机的关键组件；在量子通信中，半导体光源如激光二极管发挥关键作用。
国防	精进武器系统	量子技术基于概率量子力学，状态非预先确定，存在重叠和纠缠现象，难以预测；量子计算能并行计算，实现超高速运算，还可检测隐形气体，改变现有范式，突破现有武器系统限制的领域。量子雷达以及量子磁场探测技术可以扰乱敌方武器系统领域，并且探测配备先进隐形材料和技术的隐形飞机。

◆全球纷纷布局量子信息技术。

许多国家均成立和运营各类量子信息技术产业联盟。**美国**最早成立量子经济发展联盟，该联盟由斯坦福研究院运营，是近年来发展最活跃的量子产业平台，联盟成员囊括高校、科研院所、科技企业和初创公司，且数量已扩张至 36 个国家 305 家机构。**此外，荷兰、加拿大、德国和日本及欧盟等国家和组织也成立了量子信息技术产业联盟，旨在促进政府、科研机构 and 产业公司等利益相关方的交流与合作。**

◆ 前沿科技企业加速入局。

IBM公司运营超导量子计算QExperience云平台及OpenQASM软件编程框架，为全球180余家机构提供软硬件一体化服务，并开展联合研发；亚马逊联合多家量子计算硬件厂商提供商业级量子计算云服务；芝加哥量子交易所、西北量子网络等行业联盟平台在量子器件技术研发、量子计算机研制与测试、应用开发等方面相互合作。

◆美国、中国和欧盟在全球量子信息技术市场中占据主导地位。

美国凭借科技巨头在量子计算领域的强大投入，市场规模占全球的30% 左右。中国在量子通信领域优势突出，其量子通信市场规模在全球占比约 25%，同时在量子计算和量子测量领域发展迅速。欧盟在量子技术多个领域均衡发展，占全球市场规模的 20% 左右。日本、加拿大、英国等国家积极发展，虽市场规模相对较小，但增长速度快。

图：全球量子信息技术相关政策

时间	战略规划/法案	国家/地区	投资规模(美元)
2014	国家量子技术计划	英国	10年投资约12.15亿
2018	光量子跃迁旗舰计划	日本	投资约1.2亿/年
2018	量子旗舰计划	欧盟	10年投资约11亿
2018	国家量子信息科学战略 国家量子倡议(NQI)法案	美国	计划5年投资12.75亿， 实际投资已达37.38亿
2018	量子技术从科研到市场	德国	投资约7.1亿
2019	量子技术发展国家计划	荷兰	7年投资约7.4亿
2019	国家量子技术计划	以色列	5年投资约3.3亿
2019	国家量子行动计划	俄罗斯	5年投资约5.3亿
2020	经济刺激计划	德国	投资 20 亿欧元
2020	国家量子技术投资计划	法国	投资约19.6亿
2021	量子系统研究计划	德国	5年投资约21.7亿
2022	国家量子计算平台	法国	投资约1.85亿
2022	芯片与科学法案	美国	4个量子项目1.53亿/年
2023	国家量子战略	加拿大	投资约2.7亿
2023	国家量子战略(NQS)	英国	10年投资31.8亿
2023	国家量子战略	澳大利亚	投资约6.4亿
2023	国家量子技术战略	丹麦	5年投资约1亿
2023	量子科技发展战略	韩国	2035年前投资17.9亿
2023	国家量子任务	印度	2030年前投资7.2亿
2024	国家量子倡议重新授权法案	美国	5年投资27亿
2024	国家量子战略(NQS)	新加坡	投资约合2.19亿
2024	量子2030	爱尔兰	将爱尔兰量子技术社区集中在量子技术的新增长领域
2024	PROQCIMA	法国	2030年拥有两台通用量子计算机原型
2025	量子商业化中心	澳大利亚	投资7000万
2025	量子战略草案	芬兰	计划在2025年和2026年采取初步措施。
2025	量子技术国家战略	意大利	加强其在量子计算、通信、传感和计量领域的地位
2025	量子领先法案	美国	2026-2030财年投资超过25亿
2025	“地平线欧洲”2025-2027年战略规划	欧盟	2021-2027年将至少投入130亿欧元
2025	针对技术和运营难题的量子解决方案	荷兰	开发针对技术和运营难题的量子解决方案

全球竞争格局：国内成果频出，占据重要地位。

◆ **中国在全球量子信息技术市场中占据重要地位，尤其在量子通信和量子计算领域取得了显著成就。**中国在量子通信方面已经建成了全球首个城市级别的量子保密通信网，并在量子卫星网络部署方面进行了积极探索。在量子计算方面，中国的中科大潘建伟团队研发的“九章”光量子计算机和“祖冲之号”超导量子计算机均实现了量子优越性，展现出强大的技术实力。

- ✓ 在实现“量子计算优越性”里程碑方面，目前全球仅有4台量子计算机，除了谷歌的“悬铃木”外，美国还与加拿大合作推出了“北极光”量子计算机，而中国的“祖冲之”和“九章”占据两席，其中“九章三号”作为光量子计算机，可操纵的光子数目达到255个，比目前全球最快超级计算机要快上一亿亿倍，相当于一微秒的算出结果需要传统超级计算机花费200亿年才能完成，“祖冲之三号”包含105个可读取比特和182个耦合比特，为目前国际超导体系中最强的量子计算优越性。另外，中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”也上线运行，全球远程访问数量已达2000万。
- ✓ 在量子通信领域，中国发射的“墨子”号卫星所具备的信息传输能力是传统无线电传输系统的128倍，量子通信距离从最初实验室的32厘米扩展到了今天的4600公里，并可支持从地面到太空的多用户通信传输，中国由此成为全球第一个实现卫星和地面之间量子保密通信的国家。不仅如此，中国还建成了国际上首条远距离光纤量子保密通信骨干网“京沪干线”，并在此基础上，全线贯通了总里程超过104千米的国家量子骨干网，覆盖京津冀、长三角、粤港澳、成渝等重要区域。“墨子号”量子科学实验卫星与“京沪干线”骨干网构建出了全球首个天地一体化广域量子通信网络雏形。

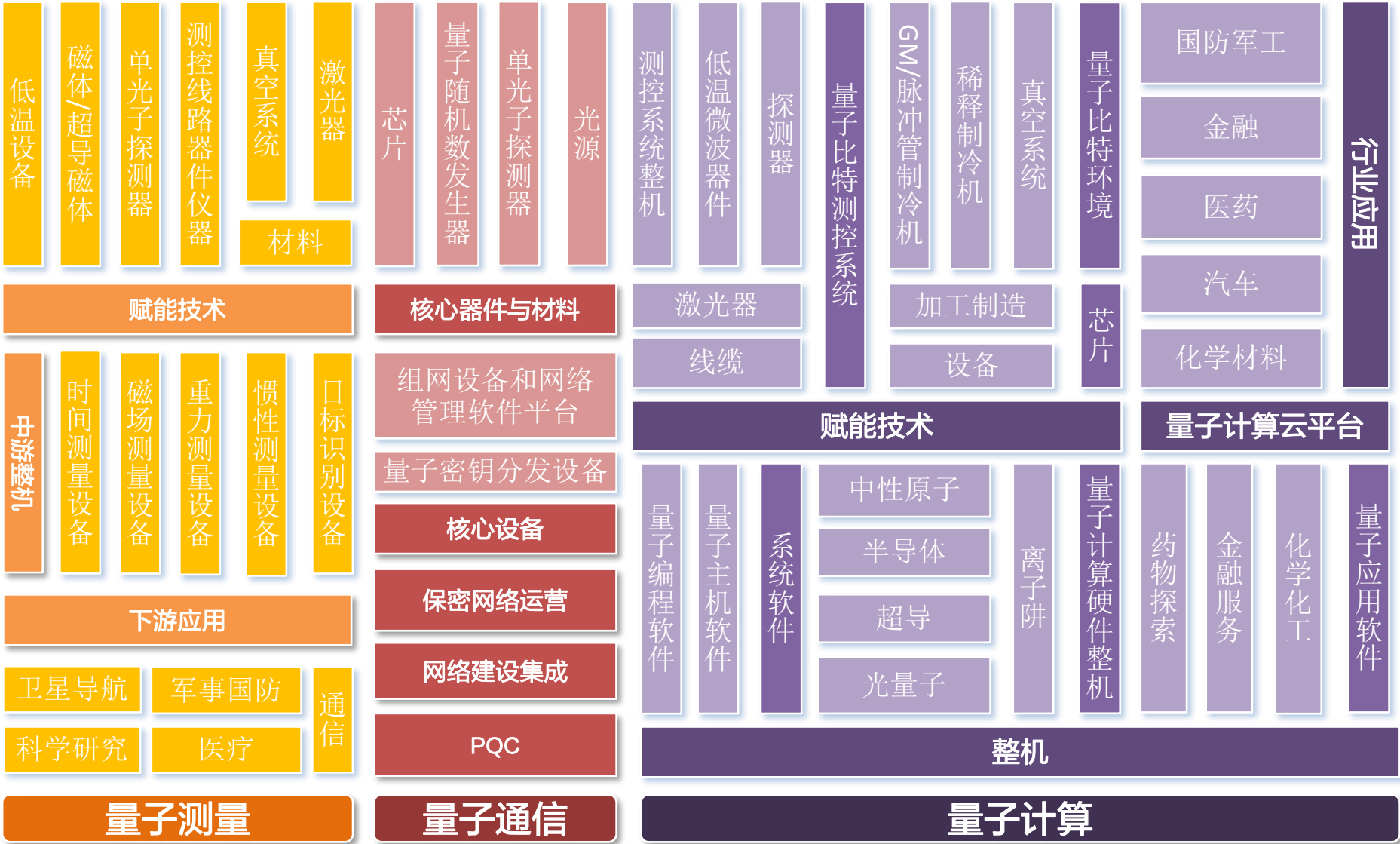


政策名称	发布机构	政策内容
《国家重大科技基础设施建设中长期规划（2012-2030 年）》	国务院	提出要建设量子通信网络等试验设施
《“宽带中国” 战略及实施方案》	国务院	指出要加强量子通信等领域关键技术研发，加速形成自主知识产权
《“十三五” 国家科技创新规划》	国务院	将 “量子通信与量子计算机” 列入 “科技创新 2030 - 重大项目”
《关于科技创新支撑复工复产和经济平稳运行的若干措施》	科技部	加大量子通信等重大科技项目的实施和支持力度，促进科技成果的转化应用和产业化
《关于促进数据安全产业发展的指导意见》	工业和信息化部等十六部门	支持后量子密码算法、密态计算等技术在数据安全产业的发展应用
《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》	全国人大	科技被放入第一章，强调科技是国家发展的战略支撑，量子信息技术作为重要领域被提及
《“十四五” 国家信息化规划》	中央网络安全和信息化委员会办公室、国家发展和改革委员会	规划中提及量子信息技术研究，推动量子计算应用探索与产业生态体系建设，探索构建量子信息技术网络技术与标准体系
《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	工业和信息化部、教育部、科技部、交通运输部、文化和旅游部、国务院国资委、中国科学院等七部门	多处提出发展量子信息技术
2024《政府工作报告》	国务院	提到量子技术，强调过去一年量子技术等前沿领域创新成果不断涌现，将开辟量子技术新赛道

国家重点关注，提供大力政策支持

政策名称	发布机构	政策内容
《质量强国建设纲要》	中共中央、国务院	实施质量关键基础技术和能力提升行动，突破量子化计量及扁平传递等技术设施
《十四届全国人大一次会议作政府工作报告》	国务院	指出量子信息技术等领域关键核心技术攻关取得新突破，创新成果不断涌现
《横琴粤澳深度合作区鼓励类产业目录》	国家发展与改革委员会	科技研发与高端制造产业包含量子通信技术，量子、类脑等新机理计算机系统开发等
《2022 年度普通高等学校本科专业备案和审批结果》	教育部	西南大学、北京理工大学、安徽大学、郑州轻工业大学、湖北大学 5 所学校新增 “量子信息技术科学” 专业
《第二代量子体系的构筑和操控重大研究计划 2023 年度项目指南》	国家自然科学基金委员会	对展示纠缠 / 叠加量子态等量子行为的第二代量子体系进行构筑和操控，开展量子信息技术科学前瞻性和基础性研究，推动多学科交叉，为量子技术奠定物理基础
《新产业标准化领航工程实施方案（2023—2035 年）》	工业和信息化部、科技部、国家能源局、国家标准委	加快量子信息技术术语定义、功能模型、参考架构、基准测评等基础共性标准研制
《河套深港科技创新合作区深圳园区发展规划》	国务院	面向重点方向，聚焦前沿交叉领域，支持深港共建卓越研究中心等，打造 “量子谷”，促进科技资源融合，协同引进研发型企业，推动应用基础研究能力跃升
《元宇宙产业创新发展三年行动计划（2023—2025 年）》	工业和信息化部办公厅、教育部办公厅、文化和旅游部办公厅、国务院国资委办公厅、广电总局办公厅	推动 5G-A/6G、千兆光网 / 万兆光网等新型网络技术创新，加快高性能计算、量子计算等突破，推动云网、算网协同发展
《关键数字技术专利分类体系（2023）》	国家知识产权局	面向国家重大需求，瞄准新兴数字产业和前沿技术领域，选取量子信息技术等七类关键数字技术，明确技术边界并划分技术分支，构建技术分支与国际专利分类的参照关系
《国家自然科学基金 “十四五” 发展规划》	国家自然科学基金委员会	公布 115 项 “十四五” 优先发展领域，其中包括量子材料与器件、量子信息技术、量子精密测量等领域
《前海深港现代服务业合作区总体发展规划》	国家发展与改革委员会	超前布局第六代移动通信（6G）、量子通信等前沿技术，构建新一代高速通信网络体系
《产业结构调整指导目录（2024 年本）》	国家发展与改革委员会	包含量子、类脑等新机理计算机系统的研究与制造；量子通信设备等下一代专网通信设备及车联网无线通信设备

- 量子信息技术产业链：
量子计算包含量子比特测控系统、量子比特环境、芯片、系统软件、量子计算硬件整机、量子应用软件等；量子测量包含激光器、真空系统、测控线路器件仪器、单光子探测器、低温设备、时间测量设备、目标识别设备；量子通信包含核心器件与材料、核心设备、保密网络运营、网络建设集成、PQC等。



2. 量子计算-重塑现代算力效率，全球竞争核心领域

2.1 量子计算-重塑现代算力效率，全球竞争核心领域

2.2 量子计算产业链

2.3 全球量子计算产业正处于起步阶段，即将进入高速增长期

2.4 量子计算产业规模与投融资情况

2.5 硬件系统多技术路线并行，超导、光量子路径最受关注

2.6 谷歌微软AWS陆续发布量子计算芯片，中美竞争进入白热化阶段

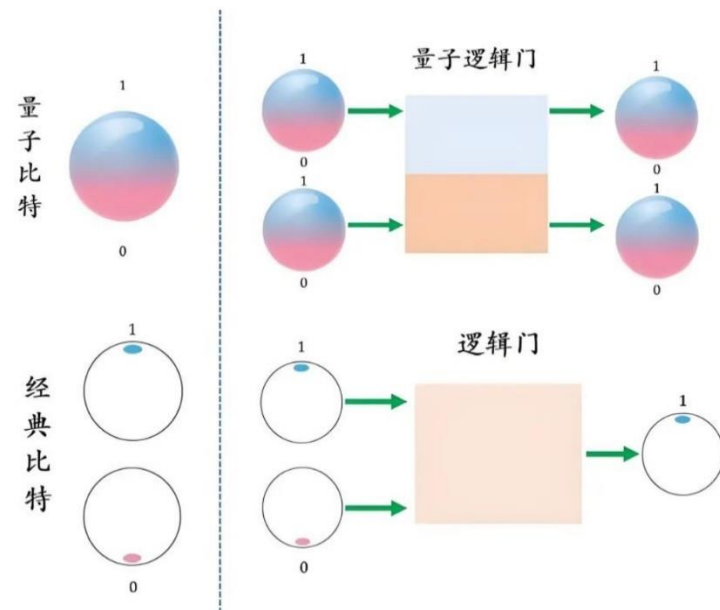
2.7 量子计算商业化加速

2.8 量子计算有望重塑非正规战争格局

2.9 量子计算上云趋势明显，AI有望深度赋能量子计算软硬件

量子计算是一种依托量子力学原理构建的新型计算模式。其基本运作原理是借助量子比特所展现出的量子叠加和量子纠缠等独特量子力学现象来开展计算工作，这一创新模式为传统计算方式带来了重大变革。**叠加：**在量子计算机中，信息的基本单元不再是经典计算机中的比特(bit)，而是量子比特(qubit)。比特只能是表现0或1，但由于量子状态的不确定性，量子比特可以同时处于0和1的叠加态，可以同时储存 2^N 个数，这使得量子计算机能够同时进行多个计算。例如经典计算机的8个比特能表示0到255之间的任意一个数字，而量子计算机的8个量子比特能表示全部255个数字，只不过每个数字出现的概率不同，极大地提高了运算效率。**纠缠：**量子比特之间可以相互纠缠，即使它们相隔很远，改变一个量子比特的状态会立即影响另一个纠缠的量子比特。这种特性使得量子计算机在处理某些问题时，比经典计算机更高效。**量子计算机的运算可通过量子门来实现。**量子门在量子计算中可被视为“开关”，以对量子比特进行操作，并在多个量子比特之间传递信息，类似于传统计算机中的经典逻辑门—AND、OR和NOT等。量子门是量子计算的基本构建模块。它们也是描述许多其他量子信息处理任务的便捷方式。这些量子门遵循一些特定的数学规则，例如“么正性”，即量子操作过程中保持概率总和为1。

图：比特与量子比特对比图



图：量子计算机示意图



量子计算产业链

◆量子计算产业链上游涵盖了量子计算机研制所需的核心材料、器件、组件及环境支撑与测控系统（如稀释制冷机、真空系统、低温组件、光学器件等）。在量子计算高速发展背景下，测控系统正向自动化、低温化、混合化以及集成化四个方向进行技术省级。上游产业链呈现**专业化分工**：零部件头部企业专注核心技术迭代，与量子计算整机企业开展合作，通过模块化设计与定制化服务适配整机厂商需求。**垂直整合**：整机厂商通过量子芯片自主流片、稀释制冷机联合研发等方式，以保障供应链安全并降低技术耦合风险，同时也试图拓展相关业务。

◆量子计算产业链中游是产业生态的核心环节，主要由量子计算机整机厂和软件供应商构成。在原型机领域，全球超三分之一的企业聚焦超导技术路线，离子阱、中性原子、光量子与硅半导体等路线也有广泛布局；软件层面则呈现开源社区驱动产品迭代与用户生态培育的趋势，科技巨头依托传统软件生态优势占据先发地位。2024年，谷歌，微软等全球相关领先机构均发布了新一代量子处理器。其中以超导量子计算方案为主。

◆量子计算产业链下游作为产业生态的终端应用环节，主要由量子计算云平台供应商和行业应用企业构成。云平台方面，IBM、微软、亚马逊等国际科技巨头凭借资源共享性强、硬件多样性高、应用案例丰富及服务模式成熟等优势占据全球领先地位，而我国量子计算云平台在后端硬件水平、平台协同能力及商业模式探索等方面仍有较大提升空间；行业应用方面，量子计算的行业应用涉及教育、生物、化工、国防、能源、金融等多个领域。但由于当前量子计算机的发展尚早，未达到实用化阶段，无法就现实问题提供算力支持，现阶段的各类应用合作尚处于早期探索阶段。

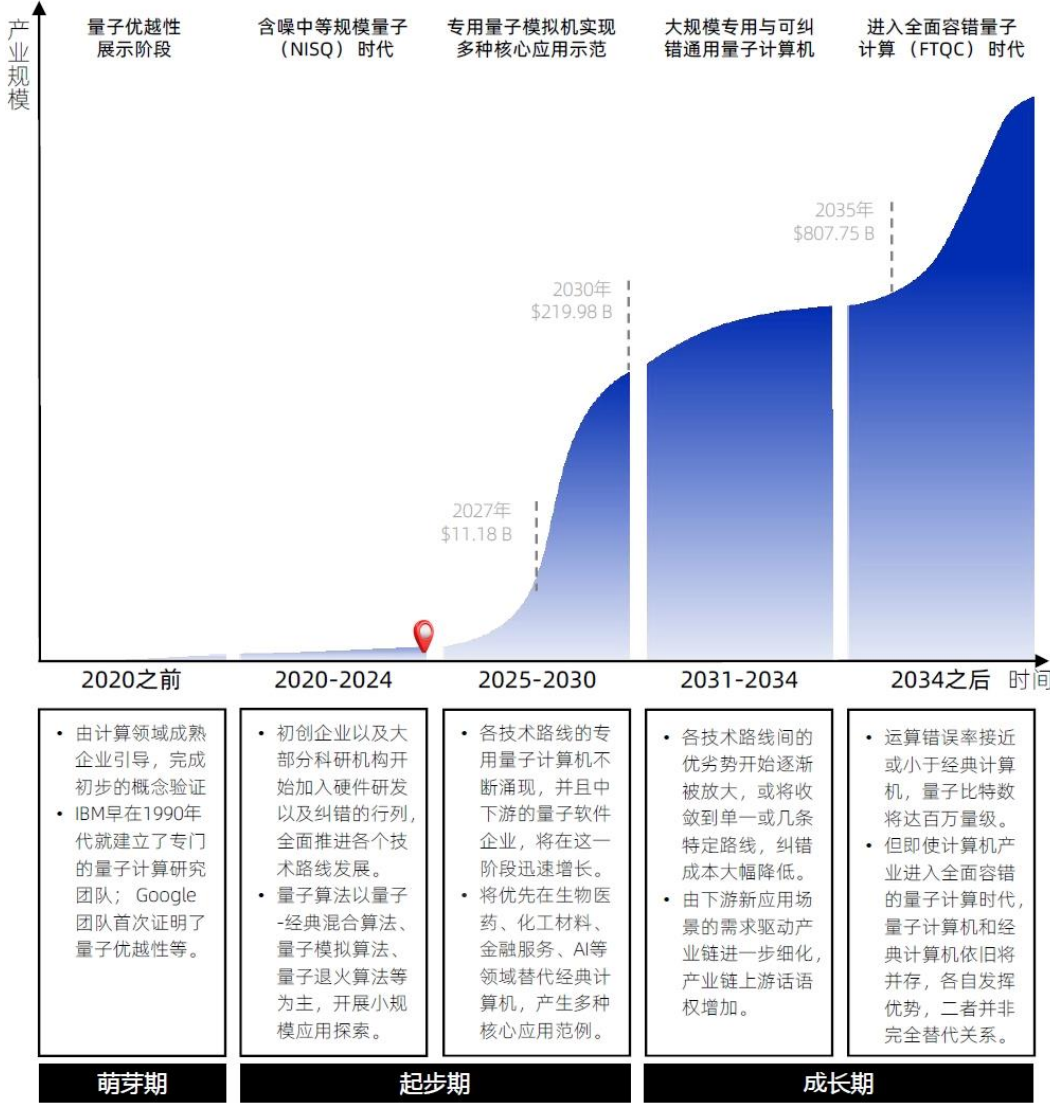


全球量子计算产业正处于起步阶段，即将进入高速增长期

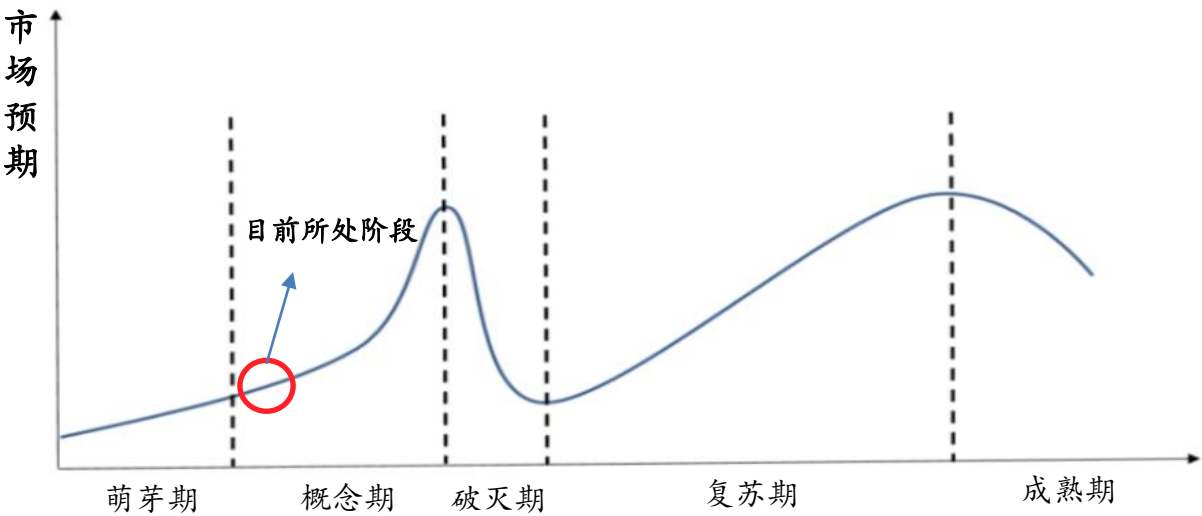
量子计算产业仍处于前期技术研发和应用探索阶段。虽然2024年众多机构在众多领域取得了显著突破，但量子计算硬件技术仍有相当多的挑战需要克服，比如测控系统优化、量子比特数量与质量、量子比特间的相互干扰等。目前在全球范围内，现阶段量子计算机仍未能提供规模化的实际应用场 景，仍需要技术迭代，但目前全球众多国家及企业纷纷入局，已经开始针对量子计算的“军备竞赛”，未来量子计算有望实现快速增长。

新兴/未来产业生命周期划分为5个阶段：萌芽期、概念期、破灭期、复苏期、成熟期。我们认为目前我国的量子计算产业处在资本市场预期的概念期开端，后续会随着技术革新、政策支持等催化因素加速兑现。

图：量子计算发展生命周期示意图



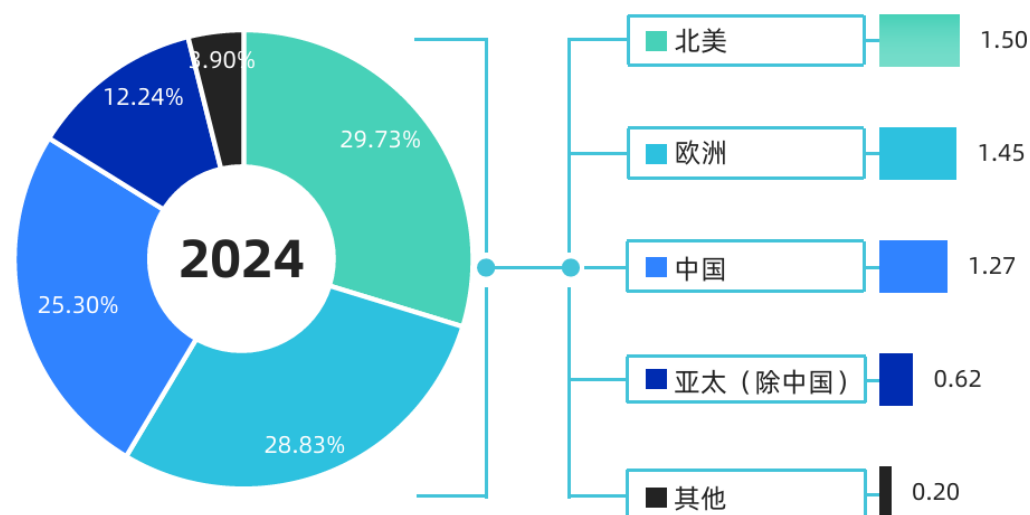
图：新兴/未来产业生命周期图



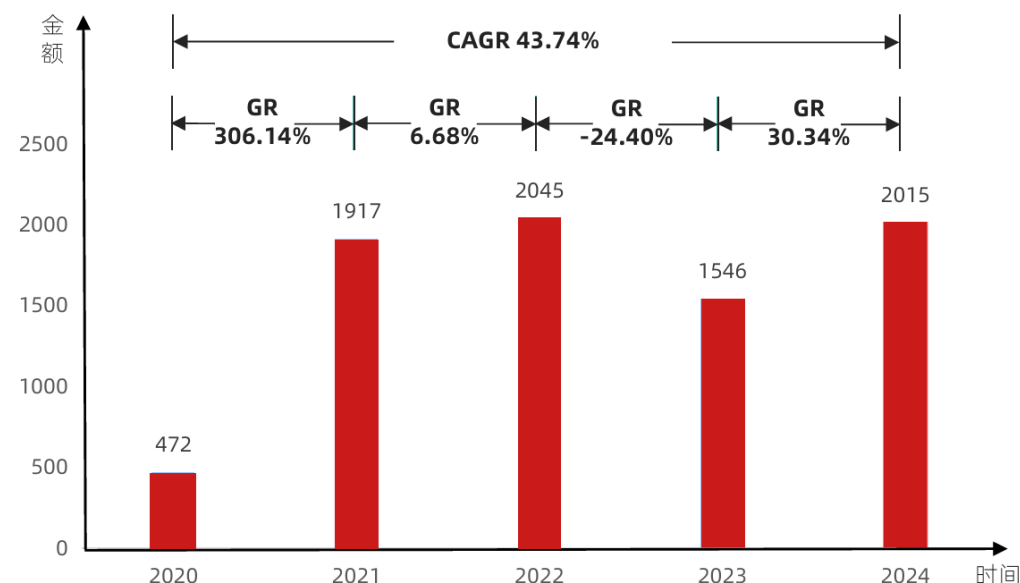
◆**产业规模**：2024年，全球量子计算产业规模达到50.37亿美元，其中北美占比29.73%、欧洲占比28.83%、中国占比25.30%、亚太地区（除中国外）占比12.24%、其他地区占比3.90%。受益于其深厚的研发基础、科研机构的活跃以及政策支持等因素，北美占比最大，反映了当前北美在量子计算领域的较为显著的影响力。

◆**融资情况**：过去五年全球量子计算领域投资规模震荡上行，2020年融资额4.72亿美元，2021年增至19.17亿美元，2022年达20.45亿美元，2023年降至15.46亿美元，2024年回升至20.15亿美元，2020至2024年复合增长率为43.74%，2024年较2023年增长约30.34%，2024年融资反弹原因有：一是大环境变化，前期经济衰退等致风险资本减少，后技术进步、国家推动、时局稳定使投资信心恢复；二是投资焦点转移，2023年从硬件转向软件，2024年又转回硬件带动融资增长，这种转变是市场与产业自然演化，未来投资或回归合理。

图：全球量子计算产业规模(%，十亿美元)



图：全球量子计算产业融资情况(百万美元)



硬件系统多技术路线并行，超导、光量子路径最受关注

- 量子计算硬件呈现出超导、离子阱、中性原子、光量子、硅半导体等多种技术路线并行发展的态势。这些路线在原理上存在差异，超导和硅半导体路线是借助人造微观结构二能级系统来实现量子比特，也就是人造粒子；而离子阱、中性原子和光量子路线则是通过对天然粒子的物理状态进行操控来构造量子比特。
- **超导路线：**以超导约瑟夫森结形成二能级系统为基础，在系统扩展性、操控速度以及集成电路工艺兼容等方面具备显著优势，因此成为了业界各方重点关注的对象。近年来，其在物理比特数量、逻辑门保真度等核心指标上持续提升。近年以来成为了主流的量子计算芯片方案，在量子比特性能上不断实现突破。
- **离子阱路线：**该路线是利用电荷与磁场间的交互作用力来约束带电粒子，进而构建二能级系统。它具有操控精度高、相干时间长、全连接性等优势，并且囚禁离子数量、逻辑门保真度等关键指标在不断提升，保持着较强的竞争力。但其具有操作慢，扩展性难，需要很多的激光的缺点。
- **中性原子路线：**通过光镊或光晶格捕获并囚禁原子，再利用激光激发原子里德堡态来实现逻辑门操作。该路线在可扩展性、相干时间、操控精度等方面具有优势，比特规模扩展迅速，成为业界的“黑马”。2024年，中科大成功构建了求解费米子哈伯德模型的超冷原子量子模拟器“天元”，并通过实验验证了费米子哈伯德模型在含掺杂条件下的反铁磁相变。
- **光量子路线：**可以利用多种光子自由度来构建光量子比特，能够支持室温工作，具有相干时间长、操控简单的特点。该路线包含逻辑门型光量子计算和专用光量子计算两类，前者朝着通用量子计算方向发展，后者则面向组合优化等问题的求解应用。在2024年，玻色量子发布了550位光量子相干伊辛机550W。
- **硅半导体路线：**通过控制硅基衬底量子点中束缚电子或原子核的自旋量子态来构建量子比特，具有与现代半导体先进制程工艺兼容的优势。2024年，中科大在半导体量子点中实现了量子干涉与相干俘获，并验证了驱动电场对量子相干俘获的暗态调控和奇偶效应。
- **拓扑、金刚石等其余路线：**虽然金刚石NV色心技术、拓扑量子技术具有相干时间长、容错特性高等优势，但此类路径均具有相应的重大缺陷，目前仍处于验证阶段。

当前，量子计算硬件各技术路线之间的竞争尚未出现融合收敛的趋势。并且，各类原型机的关键性能指标水平与大规模通用量子计算的要求相比，仍然存在很大的差距。未来，不仅需要提升量子比特的规模，还需要实现量子纠错和高精度逻辑门操控。

硬件系统多技术路线并行，超导、光量子路径最受关注

图：全球领先量子计算机信息

线路	机构	型号	发布日期	子比特数/模式数
超导	IBM	Condor	2023. 12	1121
		Heron R2	2024. 11	156
	Google	Willow	2024. 12	105
	Rigetti Computing	Ankaa-3	2024. 12	84
	QuantWare	Tenor	2023. 02	64
	IQM	IQM Radiance	2023. 11	20或54
	OQC	OQC Toshiko Gen 1	2023. 11	32
	Alice & Bob	Helium 1	2023. 12	16
		Boson 4	2024. 05	2
	日本理化学研究所	-	2023. 03	64
	中科大、国盾量子、	祖冲之三号	2024. 12	105
	中电信量子	天衍504(骁鸿)	2024. 04	504
	北京量子院	Yunmeng(云蒙)	2024. 04	156
	本源量子	本源悟空	2024. 01	72
	物理所、北京量子院	庄子号	2023. 08	43
	量旋科技	大熊座	2023. 04	20
离子阱	Quantinuum	System Model H2-1	2023. 05/ 2024. 06	32/ 56
	IonQ	Forte	2022. 05	36
	AQT	PINE	2023. 02	30
	华翊量子	HYQ-A37	2023. 07	37
		HYO-B100	2024	
	么正量子	UQM1	2024. 09	30
	中性原子	QuEra Computing	Aquila	2022. 11
Atom Computing		Phoenix	2021. 07	100
Pasqal		Orion Alpha	2023	200
中科酷原		汉原一号	2024. 06	100+
光量子	中国科大	九章三号	2023. 1	255
	Xanadu	Borealis	2022. 06	216
	QCi	Dirac-3	2024. 03	949(变量数)
	QC82	-	2021	40
	硅臻	-	2024. 02	32

谷歌微软AWS陆续发布量子计算芯片，中美竞争进入白热化阶段

谷歌 (Willow)： Willow集成105个物理量子比特，其量子比特保持激发态的时间可达100微秒，较前代芯片提高5倍，仅用5分钟便完成了当前最快的超级计算机Frontier需耗时 10^{25} 年的计算任务。并且首次实现了“低于阈值”的量子纠错，即在量子比特数量增加时，错误率反而指数级下降。谷歌通过3x3、5x5及7x7不同规模的量子比特网格测试，成功将错误率减半，为构建大规模容错量子计算机奠定了基础。

AWS (Ocelot)： Ocelot包含5个猫量子比特、5个用于稳定数据量子比特的缓冲电路、4个用于量子纠错的附加量子比特。其中猫量子比特猫量子比特凭借振荡器组件，可以产生具有稳定时序的重复电信号，用于存储计算中使用的量子态。凭借猫量子比特，Ocelot具有量子纠错功能，扩展到成熟规模时所需的量子纠错资源仅有标准方法的1/10。

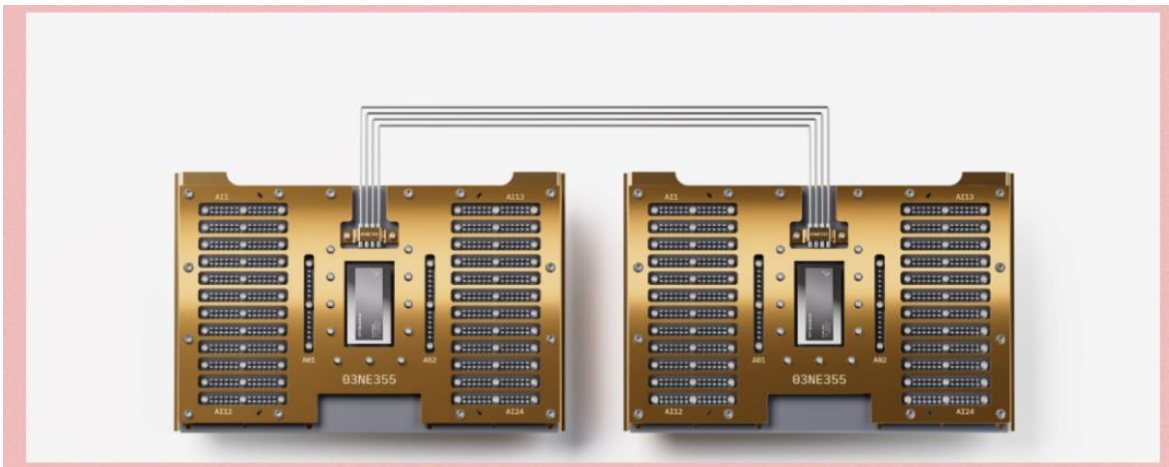
微软 (Majorana1)： Majorana1采用拓扑量子计算路线，利用拓扑导体材料碲化铋和铝，形成马约拉纳零能模，以此构建的拓扑量子比特具有非阿贝尔统计特性，可非局域存储量子信息，比传统超导、离子阱等量子比特抗环境干扰能力更强。拓扑量子之间采用数字控制，通过简单脉冲连接量子点和纳米线，相比传统量子比特操作更简单、容错率更高。微软设想未来该芯片最终能容纳100万个量子比特。

IBM (R2 Heron)： R2 Heron集成156个量子比特，引入双级系统缓解机制，有效减少量子比特之间的干扰，可支持高达5,000次双量子比特门操作。同时，IBM计划于2025年底推出IBM Quantum Flamingo，其通过连接两个Heron R2芯片实现了长距离量子比特门操作，配合IBM对量子系统软件栈的更新优化，能够支持每秒超过15万次线路层操作。同时，IBM计划打造由三个Flamingo处理器组成的量子系统，共计能支持1386个量子比特。

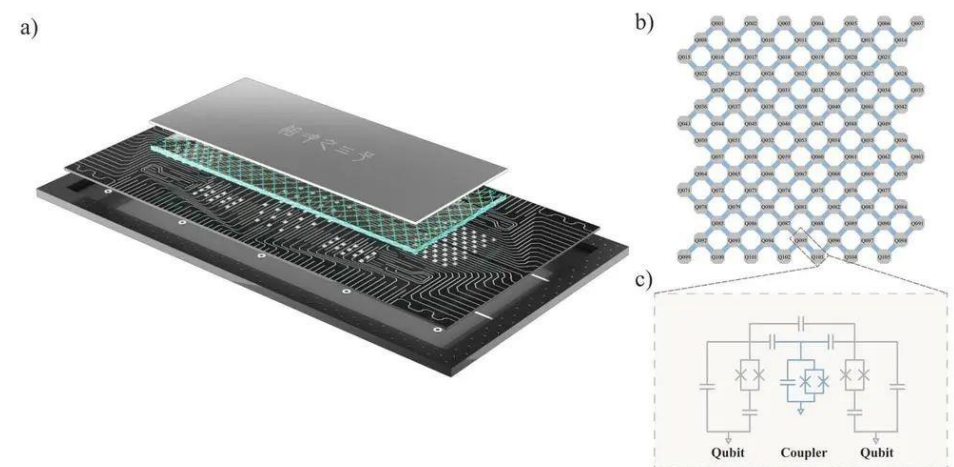
中国科技大学等团队 (祖冲之三号)： 祖冲之三号采用先进的倒装芯片技术，集成了105个量子比特和182个耦合器。单量子比特门、双量子比特门和读取保真度分别达到了99.90%、99.62%和99.18%。

本源量子 (悟空芯 夸父KF C72-300)： 悟空芯集成了72个计算量子比特以及126个耦合器量子比特，总计198个量子比特，已经成功运行在中国第三代自主超导量子计算机“本源悟空”上运行，可以一次性下发、执行多达200个量子线路的计算任务，相比于国际同类量子计算机只能同时执行单个量子线路的情况，具备更大的速度优势。

图：IBM Quantum Flamingo



图：“祖冲之三号”量子计算芯片



- ▶ 金融市场业务由复杂业务规则和精细量化模型构成，涵盖多种业务品种，具有资金量大、时效性强、风险高、数据海量、计算复杂等特点，需大量计算资源。量子计算基于超强算力等优势，有望推动金融市场业务高质量发展，带来更快计算速度、更优结果和更强建模能力。
- **赋能量化交易：**量化交易依赖对行情信息实时定量分析，量子计算技术（如量子退火算法、QAOA）在处理高维数据和复杂约束优化问题上有优势，能提供高质量解决方案，找到全局最优解。量子计算框架与传统建模工具融合是重要方向，潜在场景包括优化债券投资组合、跨市场套利、高频交易等。如运用量子退火算法在外汇交易中找套利机会，能降低计算时间复杂度，提供多种交易路径；光大科技等联合发布“天工经世”，可解决投资组合优化问题。
- **定价复杂衍生品：**复杂衍生品定价是投资交易核心，奇异期权等衍生品复杂度高，蒙特卡洛模拟运算量大。量子计算可解决算力瓶颈，缩短定价周期，如 QAE 算法能高效模拟随机变量状态，对经典蒙特卡洛模拟平方倍加速。量子计算已在部分衍生品定价中验证应用，如亚式期权定价，还可能为 CDO 等复杂衍生品定价提供新视角。
- **提升风控能力：**债券市场打破刚兑后，量子计算与人工智能融合受关注，QML 可优化加速传统机器学习算法，赋能金融风控。如工商银行结合量子计算和图神经网络技术研究债券违约风险预警，QGNN 能发现风险影响、定位传染路径、识别潜在违约企业。针对“小样本学习”问题，QSVM 可利用量子优化算法加速传统支持向量机内积计算，且泛化能力好。平安银行探索运用量子机器学习算法提升风险管理质效，已开启真机测试验证工作。

- 量子计算从理论迈向实际应用，可能极大改变非正规战争和灰色地带冲突的格局。比如敌对国家利用量子增强解密能力可拦截、解密军事通信，暴露关键情报；量子化数据处理能实时分析截获数据找行动模式和漏洞。其快速处理海量数据能力可能改变力量平衡，创造新交战方法，促使相关行为者重新思考行动方式，了解其应用对预测威胁和制定对策很关键。
- **增强密码能力：**量子计算可破解依赖大素数因式分解的传统密码系统，如肖尔算法。这使敏感通信有被拦截和解密风险，破坏行动，引发全球“后量子密码学”竞赛，进攻性量子解密与防御性抗量子加密的军备竞赛将影响未来冲突格局，关乎国家安全等重要方面。
- **优化行动和决策：**量子计算能同时处理大量数据，简化非正规战争的后勤、资源分配和战略规划。通过同步分析多变量实现预测性冲突管理，可预测潜在冲突地区，类似二战雷达改变军事行动。能让军事和情报机构提前部署资源，缩短反应时间，更主动管理冲突，增强决策过程的信心和精度。
- **模拟和建模：**传统模拟难捕捉非正规战争的不可预测性，量子增强的战争博弈可并行运行大量场景，为了解对手行为等提供深入洞察，制定有效战略计划。还能模拟网络物理系统，识别漏洞并预测连锁故障，为决策者提供操作见解，加强防御，保持行动稳定。
- **影响力行动和信息战：**量子计算的数据处理能力可增强影响行动和信息战。能分析海量数据识别对手舆论操纵和虚假信息传播模式，还能模拟虚假信息传播并实时大规模生成反击叙事，抵御认知战和信息操纵。
- **应对混合威胁：**混合威胁因多面性难应对，量子计算通过量子增强的人体地形图绘制提供解决方案。以冲突的社会政治和经济环境为中心，分析大量数据确定冲突模式和趋势，如整合多源数据绘制紧张局势地图、预测混合威胁地点。为军事和情报组织制定战略提供依据，补充战场模拟，更全面应对混合威胁，可能改变决策者应对灰色地带冲突的方式。

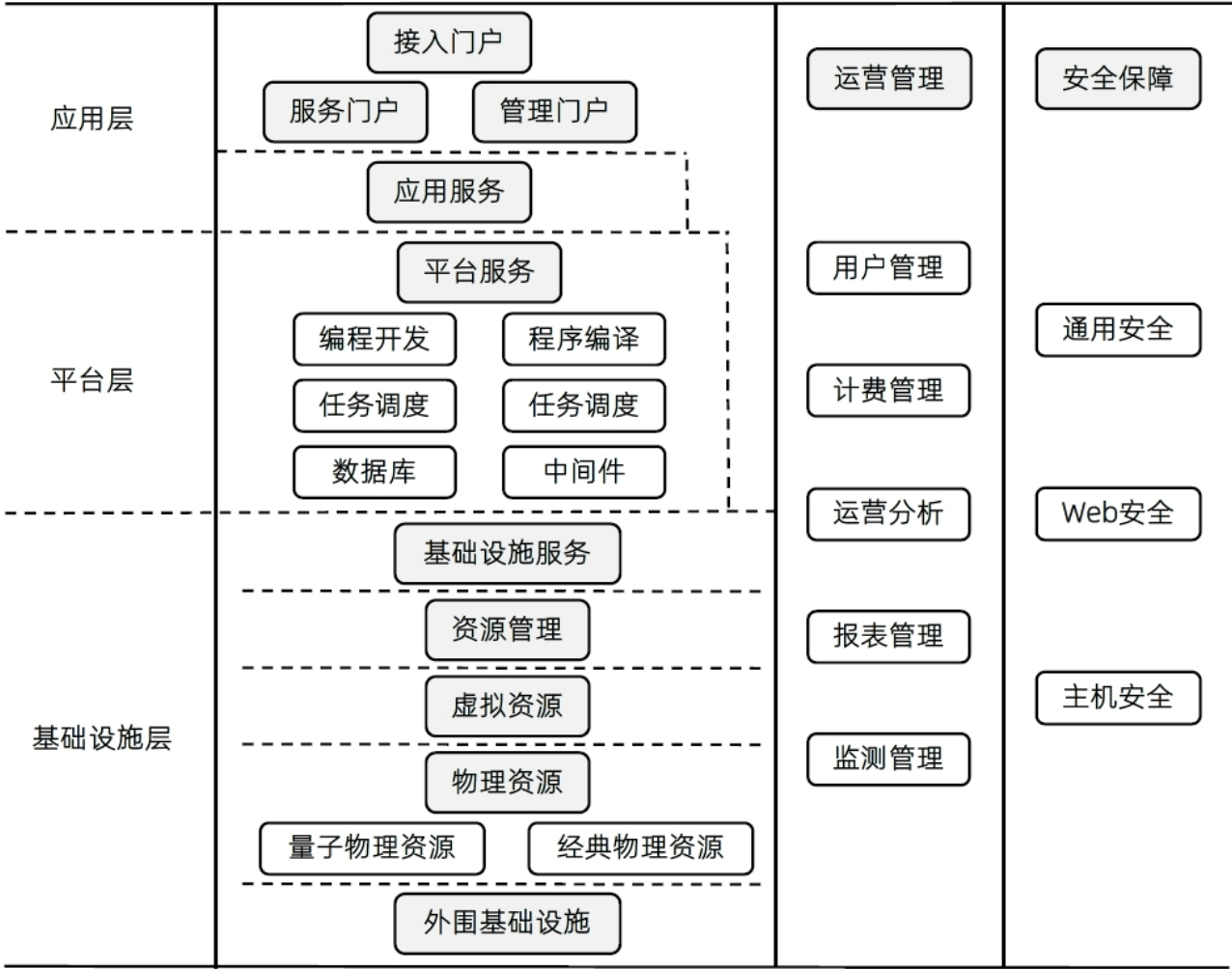
量子计算上云趋势明显，AI有望深度赋能量子计算软硬件

量子计算机建设成本高，与云基建融合可显著降低成本。量子计算机部署、维护、建设成本极高，用户难以低成本地访问优质的量子计算资源。量子计算与云基础设施融合可以显著降低量子计算资源的使用门槛。量子计算上云与传统云服务类似，从硬件来看：量子计算云平台接入模式主要分为整机厂自接入与云服务接入。从软件来看：主要包括量子基础设施即服务（Q-IaaS）、量子平台即服务（Q-PaaS）以及量子软件即服务（Q-SaaS）三种模式。

量子计算机与经典超算的融合将作为新型计算形态的重要补充。在当前量子计算产业尚未成熟的前提下，单独使用量子计算机进行复杂计算可行性不高。混合算力平台将任务划分为经典部分和量子部分，分别交由经典计算机和量子计算机处理。能够将量子计算机并行计算的优势全部用于核心任务中，从而大幅提升计算效率。同时用户也可以选择两种计算方法的占比，可有效降低成本。目前，全球至少已有12个国家部署了20余个量超融合项目。例如，德国、欧洲、澳大利亚纷纷布局，国内国盾量子也为合肥先进计算中心“巢湖明月”提供一台超导量子计算机、超量融合系统及相应配套的软硬件设施，并负责平台建成后5年的设备运维服务及运营。

AI+量子可以实现硬件设计、算法优化、应用创新等优势。在量子计算硬件设计环节，AI可以优化量子线路设计和量子门操作，提高量子计算芯片设计工作效率。通过AI算法的辅助，研究人员可以更快地设计和验证新的量子算法，并找到最适合量子计算的应用场景，加速从理论研究向实际应用加速过渡。

图：量子计算云平台功能框架



3. 量子通信-量子时代的安全保障，QKD、PQC并驾齐驱

3.1 量子通信-量子时代的安全保障，QKD、PQC并驾齐驱

3.2 量子通信产业链

3.3 量子通信产业规模与投融资情况

3.4 量子通信发展高度依赖量子保密通信网络建设

3.5 量子通信在多行业均有应用

3.6 QKD-更远，更快，更安全

3.7 PQC - 重构现代密码学

3.8 量子通信未来发展趋势

量子通信是目前最先进入实用化阶段、发展最为成熟的量子信息技术。量子通信是指利用量子力学的基本原理，特别是量子不可克隆性、量子纠缠原理以及测不准原理，通过保密通信协议和工程技术，如量子密钥分发、量子随机数发生器和量子隐形传态等，实现信息传输的安全性。其核心目标是构建基于量子力学原理或数学复杂性理论的下一代安全体系，确保信息在量子计算时代的安全性、完整性与隐私性。作为现代保密通信技术发展的重要突破方向，量子通信行业在未来数字化、信息化社会中具有战略性意义，被视为通信安全领域的未来支柱。

量子通信的原理包括量子纠缠、量子不可克隆原理、量子密钥分配和量子隐形形态。量子通信的这些特性使得量子通信克服了传统通信方式被破解的风险，提供了无法被窃听（窃听必被觉察）和计算破解的绝对安全性保证，让量子通信在信息安全领域展现了巨大的潜力。

图：量子通信原理

量子纠缠

量子纠缠意味着两个粒子在纠缠态下，一方的测量会瞬间影响另一方的状态，这使通信双方能够通过共享纠缠粒子实现信息加密和传递，而窃听者无法破解信息。

量子不可克隆原理

量子不可克隆定理保证了未知的量子态无法被复制，任何试图窃听的行为都会破坏量子态的原有状态，从而被通信双方察觉，而不复制窃听者讲无法实现窃听，这起到了窃听预警的作用。

量子密钥分配

在具体应用中，量子通信仍然依赖着密钥，量子密钥分配通过如BB84 协议等技术生成无法被窃听者截获的随机密钥，通信双方仅公开测量基等信息，而密钥本身不会泄露，确保了信息的安全性。

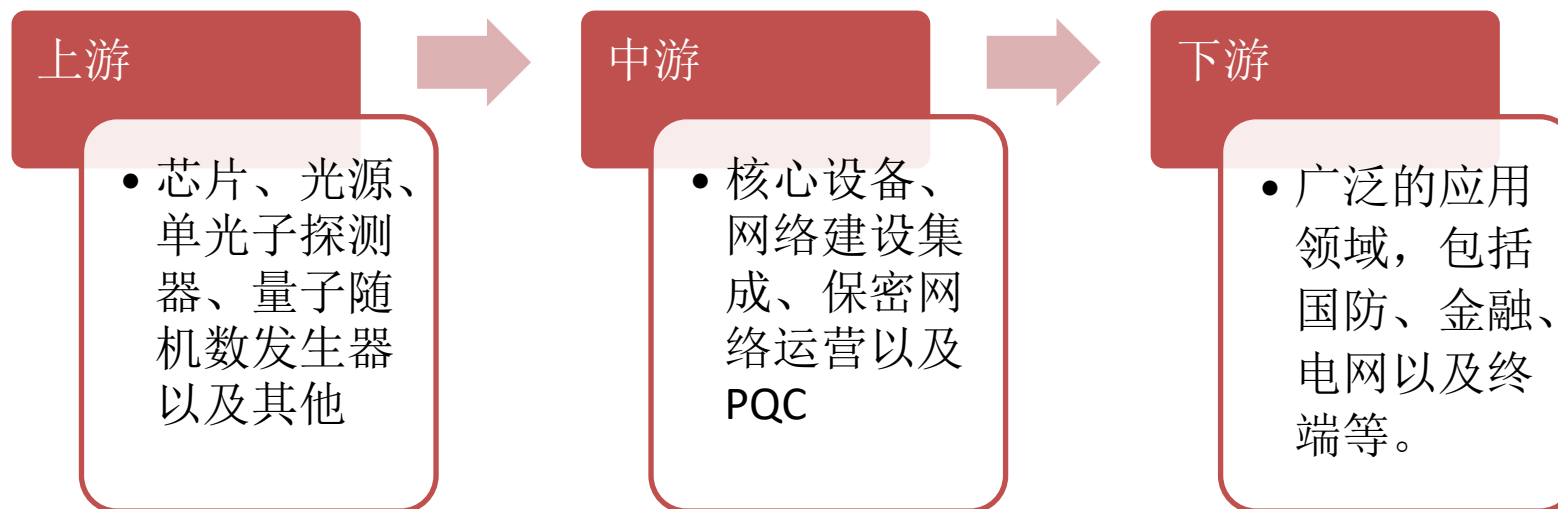
量子隐形形态

量子隐形传态通过量子纠缠和经典通信的结合，将量子态的信息传输到远方，为未来高效的量子网络建设奠定了基础。

◆量子通信的产业链上游主要是核心器件与材料划分为芯片、光源、单光子探测器、量子随机数发生器以及其他。量子芯片技术是产业链基础，包含数据处理、电学、光学芯片。光源是量子通信关键组件，经调制后能携带量子信息技术传输共享。单光子探测器在通信接收端精准检测量子信息技术，量子随机数发生器保障通信不可预测。PPLN 晶体、波导及光纤光缆等核心器件也发挥关键作用，它们共同为量子通信与安全产业链上游提供创新动力，奠定量子通信系统发展基础。

◆量子通信的产业链中游为核心设备、网络建设集成、保密网络运营以及PQC。核心设备包括 QKD 设备、组网设备和网络管理软件平台，保障信息安全传输。网络建设集成用于构建高效安全的量子通信网络。保密网络运营由各运营商参与，负责日常运行维护。产业链中游还涵盖 PQC 领域，推动产业链全面发展并关注密码学演进。中游通过设备、网络建设与运营的协同，为量子通信与安全发展提供支撑与关键保障。

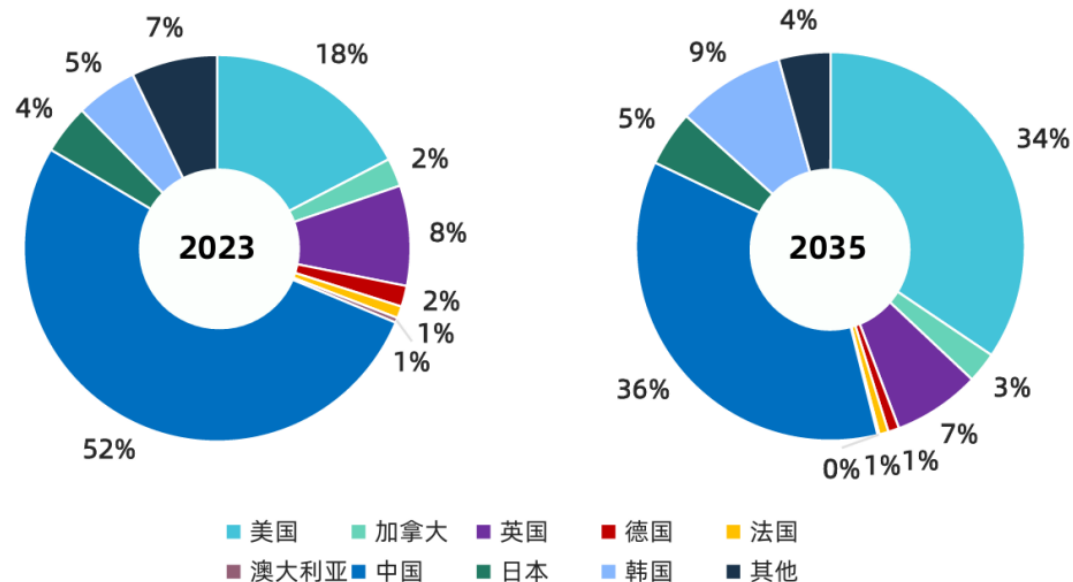
◆量子通信的产业链下游涵盖了广泛的应用领域，包括国防、金融、电网以及终端等。



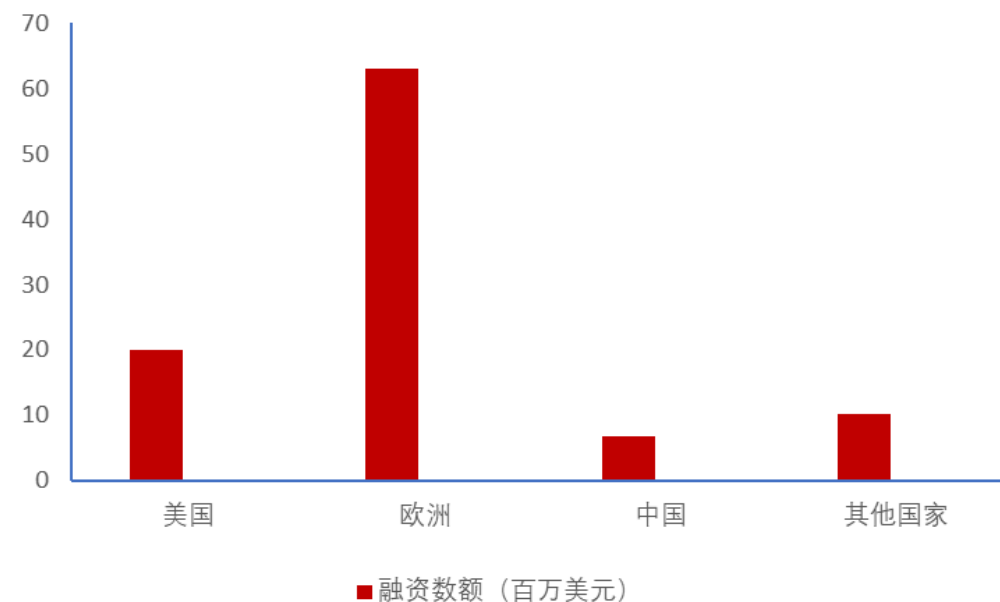
◆**产业规模**：全球量子通信产业呈现出动态变化的趋势。2023年，全球量子通信与安全产业规模达到54.6亿美元，占比分别为美国18%、加拿大2%、英国8%、德国2%、法国1%、澳大利亚1%、中国52%、日本4%、韩国5%、其他地区7%。受益于其在量子通信（主要为QKD）深厚的研发基础、科研机构的活跃以及政策支持等因素，中国占比最大，反映了当前中国在量子通信与安全领域的较为显著的影响力。2035年，随着量子通信产业（尤其是PQC）的不断成熟和发展，全球产业规模飙升至560.8亿美元。在这一时期，随着QKD产业份额下降、PQC产业份额大幅增加，中国的产业份额显著下降到36%。美欧日韩等国家地区因主要研究PQC而占据了更多产业份额。

◆**投融资情况**：全球量子通信的融资数额分别为美国20M，欧洲63.08M，中国6.75M，其他国家10.17M。

图：全球量子通信产业规模



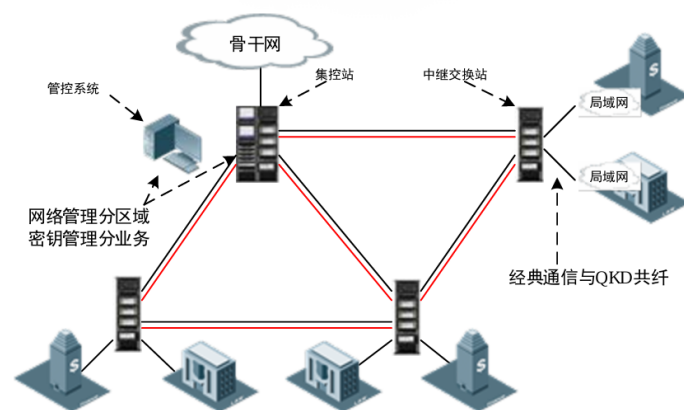
图：全球量子通信产业投融资情况



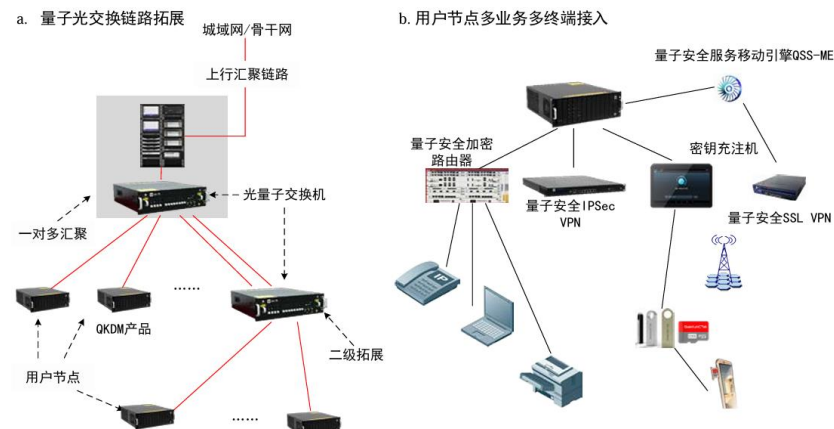
我国量子通信行业目前处于推广期，行业发展依赖于量子保密通信网络建设。实现广域量子保密通信网络的路径是光纤量子保密通信城域网-光纤量子保密通信骨干网-星地量子通信网络，在用户侧按需构建局域网接入具体应用。2013~2018 年，我国多地城域网已建成并投入使用。2017年，量子保密通信“京沪干线”开通运行。2016年，“墨子号”量子科学实验卫星顺利升空，于2017年超预期完成三大科学任务，并与“京沪干线”实现连接，构成了天地一体化量子通信网络的雏形，标志着量子保密通信进入广域网阶段。

量子保密通信正处在规模化组网阶段，未来发展核心在于通过对持续提升量子密钥分发等技术的完善程度，提高应用系统的安全性及效率。抗量子密码正在由算法探索验证过渡到标准评估测试阶段。受益于标准化推进和政策支持，相关机构正积极将现有加密算法迁移至抗量子密码体系，推动密码学领域向更安全、更高效的方向升级。未来量子保密通信有望与抗量子密码进行深度融合建设保密通信，抗量子密码与量子密钥分发的融合趋势日益显著，替代单一解决方案。

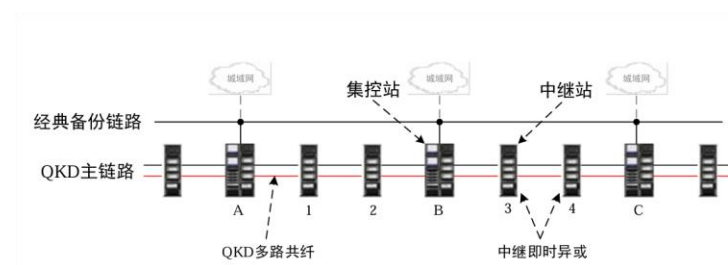
图：城域网拓扑结构



图：局域网应用



图：骨干链路结构



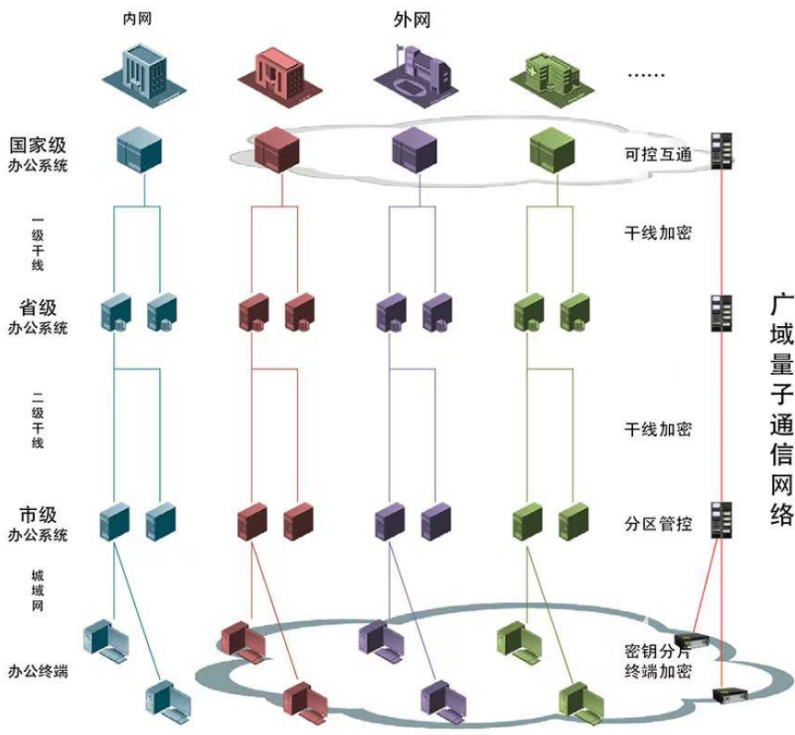
金融领域：金融行业通过量子通信技术实现更安全可靠的数据传输，提高对金融交易和客户信息的保护水平。

政务领域：各类智能终端、应用系统、数据链路采用量子密钥进行整体加密，可安全、稳定运行在电子政务外网链路，为数字政府、数字化改革提供量子保密通信技术支撑，保障网络安全，推动数字政府密码基础设施建设。

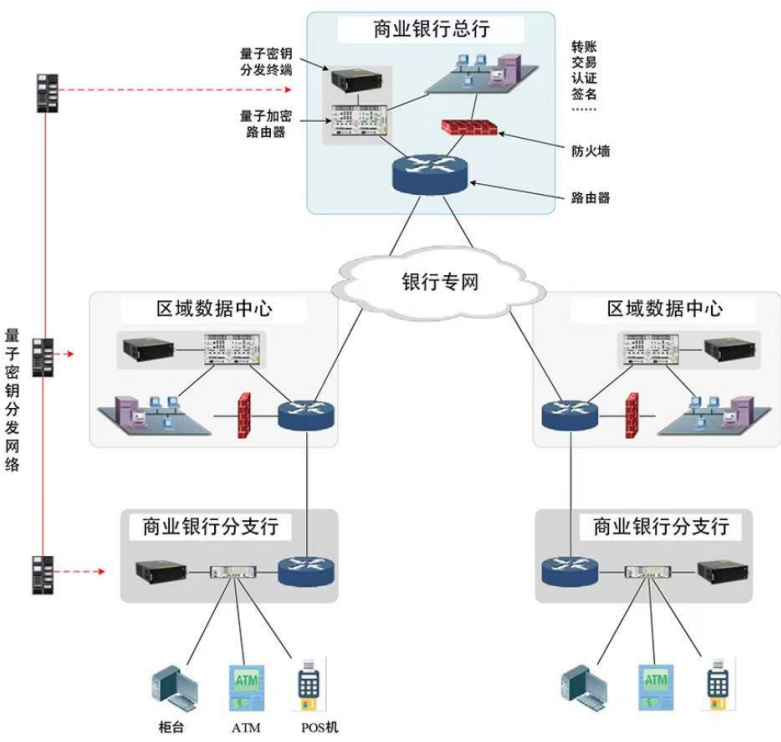
国防领域：量子通信技术应用用于高度机密的军事通信，确保敏感信息的安全传输，有效防范窃听和网络攻击。

电网领域：量子通信可应用于保障电力系统中实时数据的安全传输，预防网络攻击和数据篡改，确保电网运行的稳定性。

图：量子通信在政务领域的应用方案



图：量子通信在金融领域的应用方案



量子密钥分发技术（QKD, Quantum Key Distribution）是最早得到实用化的量子保密通信技术，它利用量子不可分割与不可克隆等量子力学特性，实现任何对量子密钥分发过程的窃听，都可能改变量子态而造成高误码率。这种窃听敏感的密钥分发机制使得通信双方可以获得一串只有他们两个知道的密钥。这种基于物理原理实现的内生安全性为银行与外部信息交互尤其是跨地区的远程数据传输提供了绝对保密和安全的新通道。

◆BB84协议

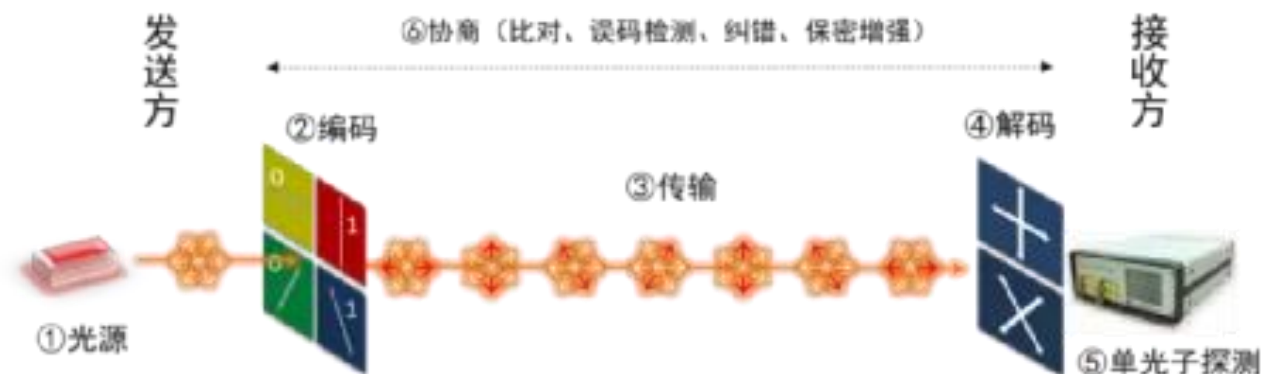
自1984年Bennett和Brassard提出第一个量子密钥分发方案以来，30余年来学者们提出了多种量子密钥分发方案。当前，离散变量方案中的诱骗态BB84协议是安全论证成熟、应用最广泛的协议，基于该协议的光纤量子密钥分发设备已经实现较大规模商用。BB84协议方案实现量子密钥分发的工作流程包括：发送方制备编码（对离散变量常用偏振、相位、时间进行编码）单量子态、传输、接收方测量解码，然后双方通过经典通信进行筛选比对、误码检测和纠错、保密增强。单量子制备测量方案利用了单量子不可分割、不可复制、测不准的特性，使得任何来自于信道的窃听，要么导致量子信号丢失，要么导致量子信号发生可观测的变化，从而杜绝了从信道上实施窃听的可能性。

◆技术优势

- **高安全性：**QKD利用量子力学的特性，如量子不可分割和量子态不可克隆，确保密钥分发过程的安全性。这种基于物理原理的内生安全性使得QKD在理论上对抗任何未来的计算技术攻击都是安全的。

- **适应性强：**QKD技术可以根据业务需求部署网络或链路，管理可由承载网完成，业务加解密功能部分可复用承载设备硬件，引入共纤传输技术后不需要额外光纤。

图：BB84协议方案实现量子密钥分发的工作流程



◆技术实现

- **长距离传输：**长距离传输技术是指通过各种设备和网络实现远距离地点之间信息传输的技术。在全球范围内，中国科学技术大学潘建伟团队利用“墨子号”量子科学实验卫星，率先实现了千公里级的星地量子密钥分发，这一成果打破了地面光纤传输距离的限制，为构建全球量子通信网络奠定了基础。国盾量子通过自主研发的量子通信设备，实现了长距离光纤量子密钥分发，在多个城市间构建了量子通信网络。
- **高速率密钥生成：**高速率密钥生成技术是一种能够在单位时间内快速生成大量密钥的技术。比如，加拿大的ID Quantique公司在高速 QKD 技术方面处于领先地位，其研发的系统能够实现较高的密钥生成速率。
- **集成化与小型化：**集成化与小型化技术是指将复杂的系统或功能模块整合到一个较小的空间内，同时保持或提高其性能和可靠性的技术。瑞士的日内瓦大学和一些企业合作，开发出了集成化的QKD芯片，将量子光源、探测器等关键部件集成在微小的芯片上，推动了QKD技术的小型化和便携化。
- **集成现有通信技术：**量子密钥分发技术可以与光纤网络、数据中心以及各类通信设备协同运作。在适配现有的网络架构基础上，无需对现有基建进行大幅度改动，可大幅降低部署成本，实现快速的大规模推广部署。目前中电信量子集团联合国盾量子等单位，自研了全球首款插卡式QKD光传输一体终端，实现了60km以上10Tbps经典量子共纤传输，集成了量子密钥分发共纤融合、集中式密钥中继等功能。

图：中国“墨子号”卫星



图：全球首款插卡式QKD光传输一体终端



PQC - 重构现代密码学

PQC（后量子密码学），又称为抗量子密码，是指能够抵御量子计算机攻击的密码学体系。传统密码学主要基于数论中的数学难题，如大整数分解、离散对数问题等，这些难题在经典计算机算力下难以被破解。然而，随着量子计算技术的飞速发展，量子计算机凭借其强大的并行计算能力，理论上能够在短时间内解决传统密码学所依赖的数学难题。PQC 正是在这样的背景下应运而生，**PQC的基础是纯数学，它不依赖于传统密码学所基于的数学难题，而是利用格密码、编码密码、多变量密码等多种新型数学结构和算法来构建安全的密码系统。**PQC 的研究旨在为未来量子计算时代提供可靠的密码保护方案，确保在量子计算机普及后，网络通信、数据存储等关键领域的信息安全仍能得到有效保障，对于维护全球信息安全体系的稳定和持续发展具有至关重要的意义。

◆算法分类

- ✓ **基于格的密码算法：**基于格的加密技术是最为突出和可靠的。它基于一个无限延伸的点构成的高维数学结构。在这个结构中，点是通过整数系数的线性组合形成的，有n个线性独立向量作为格的基点。问题在于找出具有特定属性的点，例如短向量问题或最近向量问题。在高维空间中，量子计算机虽能处理多种可能性，但格问题的复杂性使其难以用并行方式简单解决，目前尚无算法能有效降低这种方法的复杂性。
- ✓ **基于密码杂凑函数的密码算法：**密码杂凑函数可以分为带状态密码杂凑函数和无状态密码杂凑函数。最早的基于密码杂凑函数的数字签名算法是1979年由Ralph Merkel提出。NIST SP 800-208 中的Leighton-Micali Signature (LMS)、Xtended Merkle Signature Scheme (XMSS) 均属于基于带状态密码杂凑函数的公钥密码算法。NIST抗量子密码算法标准算法SPHINCS+是基于无状态密码杂凑函数的公钥密码算法。
- ✓ **基于编码的密码算法：**该算法是基于纠错码原理设计的密码算法，所依赖的困难问题是随机线性码的译码困难性，其特点是加密速度比较快，但是密钥规模比较长。例如：基于Goppa线性码的Classic McEliece公钥密码算法。
- ✓ **基于多变量的密码算法：**该算法安全性是基于求解有限域上非线性多变量方程组的困难性，其特点是加密解密、签名验签的速度很快，但是密钥存储的开销很大。
- ✓ **基于同源的密码算法：**同源密码学基于椭圆曲线间的同态映射，特别是超奇异椭圆曲线。尽管早期实现效率低且存在安全问题，但超奇异椭圆曲线同源问题为密码学提供了新的研究方向。

目前，PQC全球最具实力的市场参与者主要分布在北美和欧洲，例如，北美的公司有Google、IBM、Microsoft和PQSecure等，欧洲的公司有PQShield、Infineon和Thales等。这些公司是提供芯片设计、数字信息安全和量子安全综合解决方案这三大类服务的科技企业。

◆北美

- ✓ **微软**：微软参与FrodoKEM、SIKE、Picnic、qTESLA这四个用于签名和密钥交互的PQC项目研究，重点投入PQC库开发和安全协议集成。还发布基于格密码库（LatticeCrypto）和项目PQCrypto-VPN，在OpenVPN实现PQC算法并用于测试。2024年9月，微软宣布在开源核心加密库SymCrypt中部署后量子加密算法，含ML-KEM和XMSS算法。
- ✓ **谷歌**：谷歌自2016年宣布涉足PQC后，在Chrome浏览器相关版本中先后实验并应用如New Hope、CECPQ2、X25519 Kyber768等后量子密钥交换或加密算法，2024年9月更新Chrome后量子加密技术，用标准化的ML - KEM取代实验性的Kyber以增强防御。此外，谷歌母公司Alphabet剥离出的量子技术开发部门成立初创公司SandboxAQ，其主要研究目标包括创建后量子密码系统及相关隐私增强技术。
- ✓ **IBM**：IBM2019年联合高校开发新量子安全算法，作为CRYSTALS格密码学套件部分开源并提交NIST标准化，且在IBM TS1160磁带驱动器原型成功测试；2022年4月发布首个量子安全系统IBMz16；2023年5月推出量子安全路线图助力政府和企业量子安全加密与PQC迁移；2024年8月，NIST发布的三项标准中，两项由IBM苏黎世研究中心人员与伙伴共同开发，一项有现IBM研究中心科学家参与开发。

◆欧洲

欧洲在后量子加密芯片和密钥交换方案方面成果显著：2021年，慕尼黑工业大学开发出实现后量子密码学的芯片；德国英飞凌在安全IC量子抗加密和认证能力领先，于商用非接触式智能卡芯片成功实施后量子密钥交换方案；法国Thales在抗量子密码解决方案开发上起步迅速，已开发出TCT CRYPTO敏捷解决方案；瑞士IDQ与PQC公司合作为特定人群敏感通信提供量子通信方案；芬兰Xipherra推出应用PQC算法的系列产品，涵盖量子安全密钥交换和数字签名。

◆中国

中国量子科技公司积极推进PQC产品研发：复旦大学与格尔软件校企合作，成立“后量子密码技术校企联合研究中心”，聚焦6个后量子密码相关研究方向；中国科学技术大学、国盾量子等多单位联合团队完成国际首次QKD和PQC融合可用性的现网验证，证明“PQC+QKD”融合方案在实际规模网络交互通信中的可行性，为QKD设备大规模认证提供新手段。

目前，PQC发展即将迎来成长期，预计到2030年，全球PQC产业规模将达到86亿美元。

◆标准规范持续完善，抗量子密码体系加速成型

2024年8月，美国国家标准与技术研究院（NIST）正式颁布了ML-KEM（FIPS 203）、ML-DSA（FIPS 204）以及SLH-DSA（FIPS 205），为PQC技术发展扫清政策门槛，PQC技术也将迎来商业化与潜在应用探索阶段。与此同时，我国的抗量子密码技术标准化工作也在稳步推进，像基于NTRU的密钥封装机制、基于SM3的带状态数字签名算法等都处于标准制定的关键阶段。在未来几年，我们有理由期待更多抗量子密码算法被纳入标准体系，形成一套完整的规范，涵盖从技术设计与落地、测试与认证，再到应用与密评的各个环节。这一规范体系的建立，将为抗量子密码技术的蓬勃发展注入强大动力，加速其在各领域的深度融合与广泛应用。

◆金融等核心机构率先行动，加速PQC评估与部署

量子计算机的出现，为金融系统带来了革命性的变革潜力，它能够以远超传统计算机的速度和精度解决诸多复杂问题。然而，这把“双刃剑”也带来了前所未有的安全威胁。金融机构由于持有加密货币、比特币等极具价值的资产，成为黑客觊觎的目标，面临着更为严峻的网络安全挑战。相比其他行业，金融、政务等核心数据资产机构更有可能率先采取行动，为向新的加密系统过渡做好充分准备。它们需要全面评估量子计算机带来的未来风险与追溯隐患，仔细清点现有加密算法（尤其是公钥），构建加密敏捷性，以此提升整体网络安全的韧性。

◆硬件市场潜力巨大，PQC配套硬件领域前景广阔

尽管PQC的发展重点聚焦于算法层面，但硬件的辅助实现同样不可或缺。对于嵌入式系统而言，硬件与算法的协同配合是实现高效安全解决方案的关键。目前，已有部分企业采用ASIC芯片或FPGA来实现PQC算法，比如英飞凌成功开发出实现NewHope算法的非接触式智能卡芯片，德国Ut imaco公司的硬件安全模块（HSM）能够帮助用户生成并安全存储加密密钥。众多顶尖芯片设计公司和网络信息安全解决方案提供商，已将PQC视为公司业务发展的重要方向之一。可以预见，PQC硬件实现市场未来增长潜力巨大，发展前景十分乐观。

◆PQC领域的投融资规模有望提升

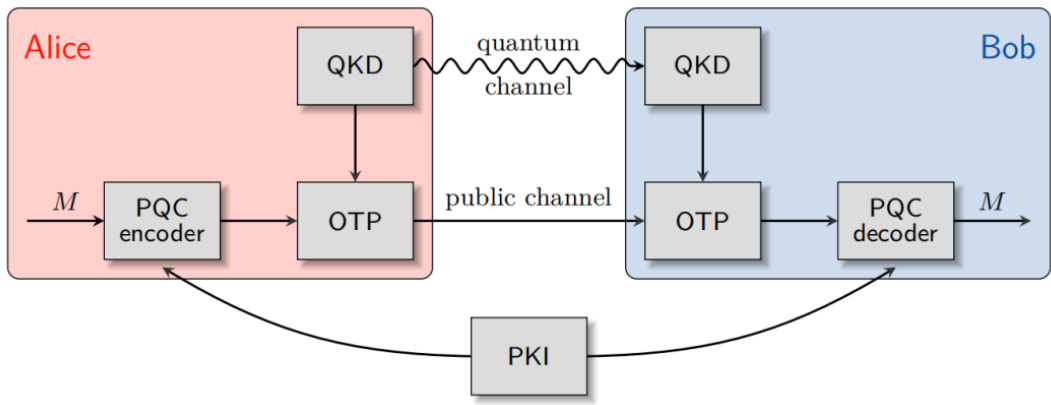
在全球经济下行的大背景下，以往较受关注的QKD、QRNG等细分领域较前两年有所下降，但PQC领域的投资却呈现逐年上升的趋势。随着PQC技术研究与应用的不断探索，已经逐渐在实际应用中嵌入，展现其商业潜力，未来或将有更多的资金流入这一领域，迎来更大的投融资规模推动PQC领域发展。

◆**QKD与PQC优势互补，筑牢量子安全防线。**PQC算法专为抵御量子计算机的潜在威胁而设计，能够保障信息的机密性和完整性，从而为未来的量子时代提供可靠保护。QKD提供了理论上的信息安全，可以用在信息骨干网中，而PQC实现了可扩展性，可以用在网络边缘和终端设备中。这两者实际上是可以互补的，QKD和PQC混合是量子安全网络最可能的解决方案。PQC 和 QKD 的结合为保护高价值资产和关键信息基础设施提供了更强大的防护手段。

◆**量子保密通信有望与AI技术结合，拓展应用版图**
量子保密通信优化安全效率，结合AI威胁检测与自动化响应能力，为网络安全带来了全新的可能。构建稳固量子网络安全框架，可以应对复杂多变的网络威胁，打造既智能又安全的系统。

◆**量子保密通信、量子计算、量子传感深度融合**
在量子计算融入量子网络的背景下，量子保密通信可以提升量子计算的安全性，同时量子计算算法也可以赋能通信网络，为算力网络带来新资源。而量子传感能够精确测量光子的相位、偏振等量子态参数，从而提高量子通信系统的性能。

图：QKD和PQC混合密码系统



图：量子安全（保密通信）产业发展周期



4. 量子测量-高精度测量手段，下游应用前景广阔

4.1 量子测量-高精度测量手段，下游应用前景广阔

4.2 量子测量产业链

4.3 量子测量应用：国防军工领域

4.4 量子测量应用：医疗健康领域

4.5 量子测量应用：能源环保领域

4.6 量子测量应用：同步通信领域

4.7 量子测量应用：科学研究领域

4.8 需求端：高端行业对精密测量技术的依赖持续增强

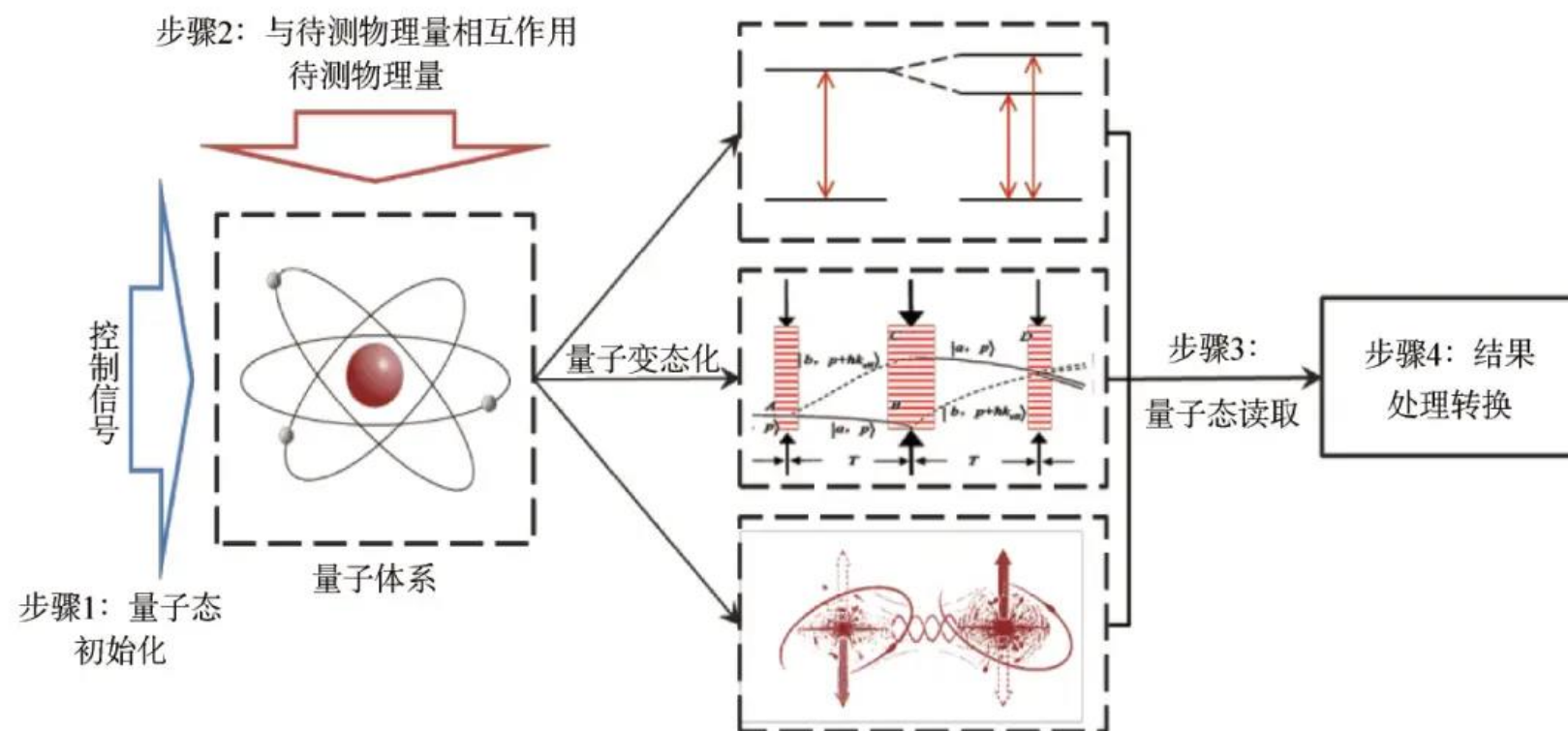
4.9 供给端：研发投入高，技术壁垒强

4.10 国产化趋势孕育新的投资机会

4.11 便携式量子测量设备成为新发展趋势

量子测量，是量子科技行业的重要分支，是一种实现高精度传感测量的技术。量子测量是一种通过间接方式测量物理量的过程。与经典力学中的直接测量不同，量子测量可能会改变被测系统的量子状态，使得测量后系统呈现出不同的状态。此外，重复测量的结果往往不完全一致，而是表现为一定的概率分布。这种现象的产生是由于量子测量通常通过观测外界物理量的变化来间接探测微观系统的量子态变化。这种间接测量方法显著提升了测量的精度、灵敏度和稳定性，相较传统技术具有数量级的优势。

图：量子测量的基本步骤



量子测量产业链

◆量子测量的产业链上游主要是系统研发所需的基础材料、元器件和支撑系统等供应商，由于这些基础设施对技术路线的依赖性强，且不同技术对材料需求存在差异，上游供应链集中度较高。中游为系统设备制造商，是将前沿科研成果转化为商业化产品的关键环节，产品涵盖原子钟、重力仪等。其中，部分技术（如冷原子钟）已商业化，而量子磁力计和光量子雷达正处于工程化阶段。下游为医疗健康、国防军工等应用。

◆量子测量产业链全球分布情况如下：产业链上游以美、英、德、日企业居多，如Vixor、Photodigm等。中游以欧美和我国企业为主，如国盾量子、国仪量子等。



图：量子测量产业链的知名企业分布

钻石有望成为量子传感器的最佳材料，深度赋能量子测量领域

钻石NV色心是量子精密测量领域最具潜力的结构，可实现对磁场、电场、温度、应力等物理量的精密测量。钻石中的氮空位（NV）色心作为固态单量子比特，因其在室温下的高相干性、高灵敏度和纳米级分辨率，使其在室温下稳定性好，对磁场、电场、应变和温度变化敏感，电子自旋相干时间长，能被激光和微波操控，是量子传感器的重要材料。其应用涵盖磁场、电场、温度、应力等多物理量检测，适用于高压、低温等极端环境，既可以探测量子材料中的量子相变，也可以探测生物中的神经活动。

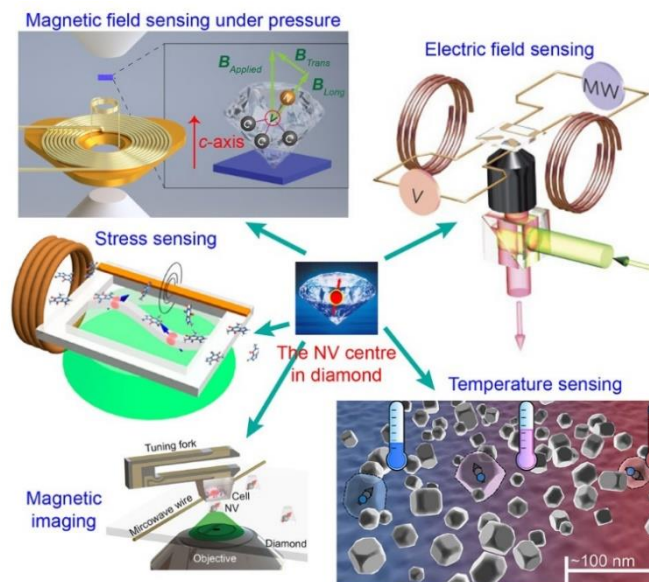
MPCVD法可在金刚石中定量掺杂高浓度氮元素，在提升NV色心浓度的同时提升量子磁探测性能。根据中国兵器工业集团豫西集团中南钻石的研究，MPCVD法可在金刚石中定量掺杂高浓度氮元素，经电子辐照后金刚石NV色心浓度显著提高，并利用包括XRD、红外、荧光以及ODMR等材料测试表征手段，有效证明单晶金刚石氮掺杂高浓度NV色心具有良好的量子磁探测性能，大幅提升了测量效率。

国仪量子已成功研发全球首台商用低温版量子钻石原子力显微镜，助力量子测量产业化发展。此台显微镜是结合了金刚石NV色心光探测磁共振技术以及原子力显微镜扫描成像技术的量子精密测量仪器。其可用于宽温区下高分辨、高灵敏、定量无损的磁学测量，具有纳米级的高空间分辨以及单个自旋的超高探测灵敏度。主要用于检测材料的表面磁学特性，将为我国生命科学、材料科学、凝聚态物理等领域研究，提供全新手段，对指导新型磁存储材料、超导材料的开发都具有重大意义。

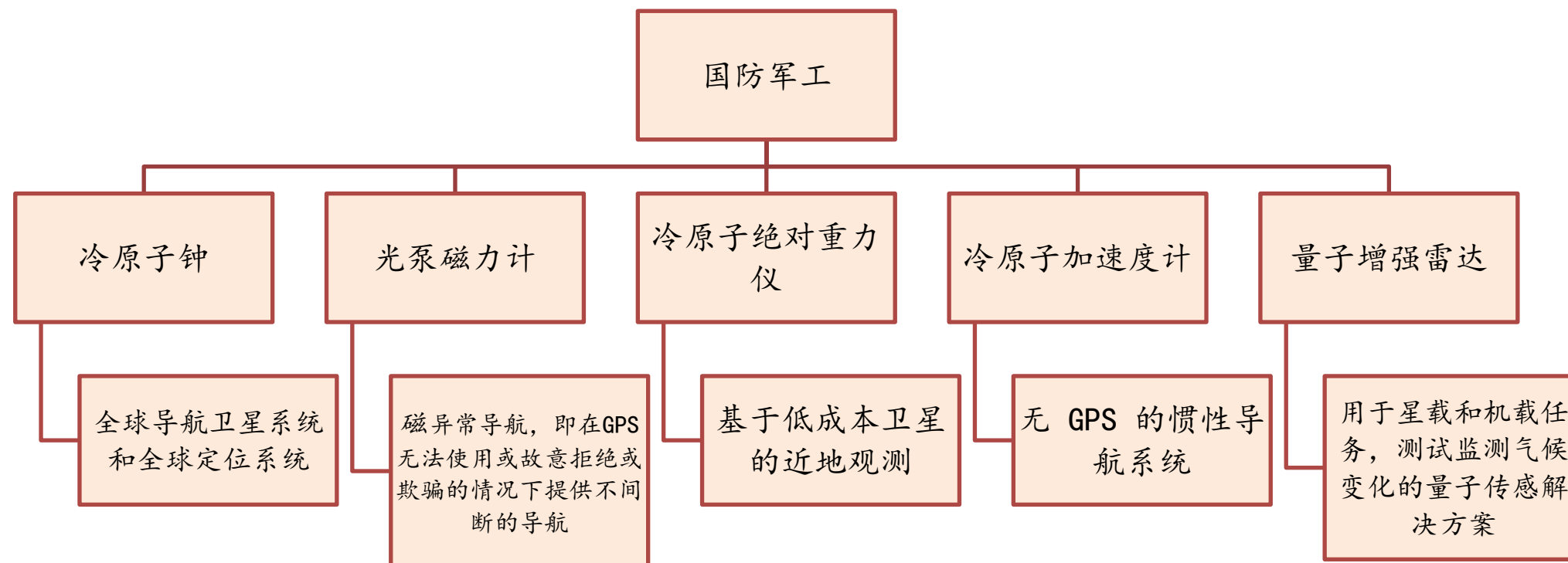
图：低温版量子钻石原子力显微镜



图：钻石NV色心可用于多领域测量

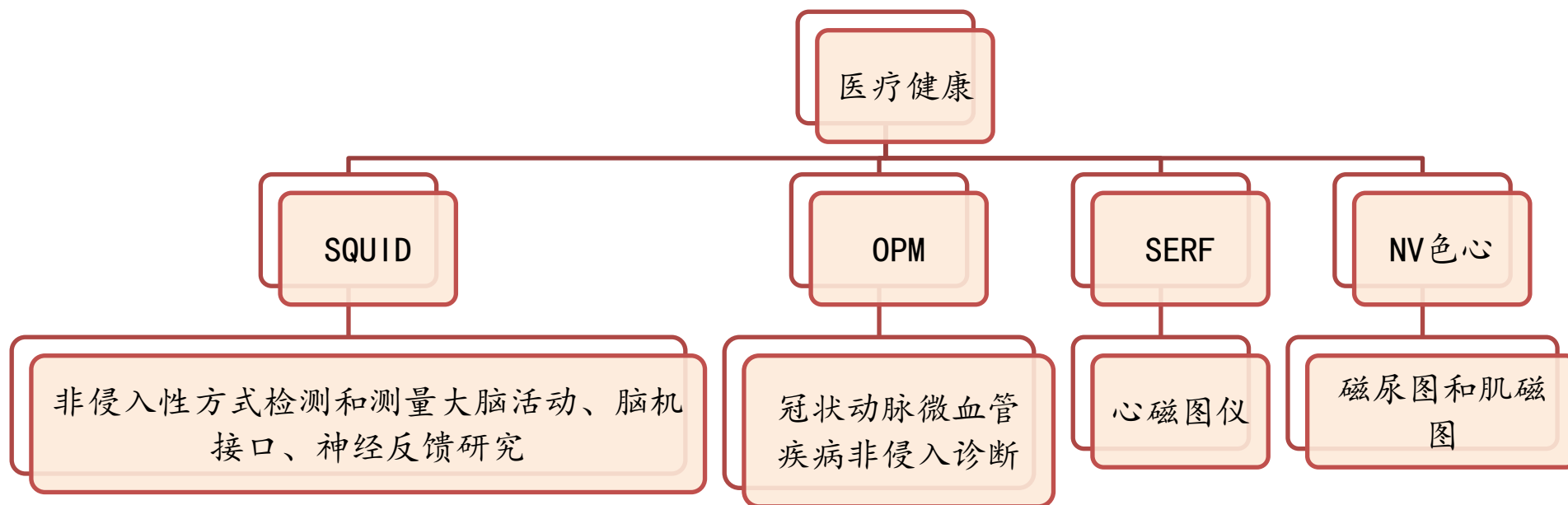


量子测量在国防军工领域应用范围广泛。从全球导航卫星系统和全球定位系统的时间测量，到磁异常导航和近地观测的重力、磁场及惯性测量，再到量子增强雷达用于目标识别等，量子精密测量技术全方位地服务于军事任务。基于军工应用对于国家安全重要性，各国更加重视在军工领域的研发，导致各国更倾向于保持相对封闭的研发环境。



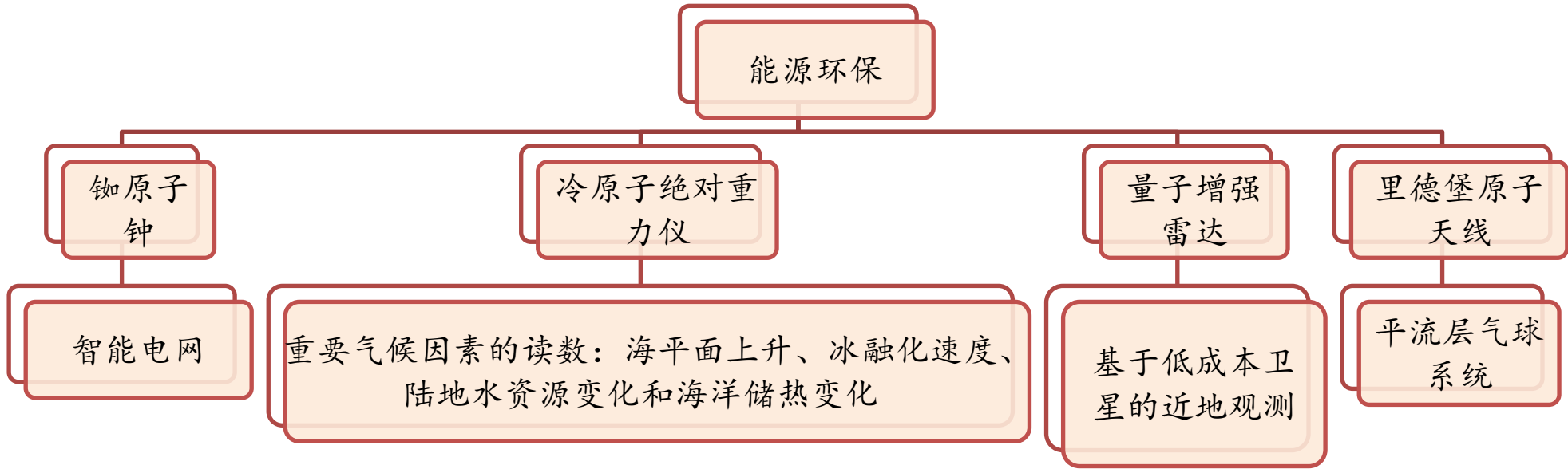
量子测量的应用在医疗健康特定领域优势突出。在心脏磁图（MCG）和脑磁图（MEG）等细分领域，量子磁力计的无创、无辐射、无造影剂、抗电磁干扰等优势使其成为重要的医疗诊断工具。

量子测量的在医疗健康领域在未来拓展潜力巨大。随着技术的进步，量子精密测量技术有望拓展到癌症诊断、神经疾病治疗等更多医学领域。通过更精准的测量数据，助力医生制定个性化治疗方案，提高治疗效果并减少不必要的医疗干预。在设备方面，未来将着重提高测量精确性，采用更先进的技术和材料提升传感器性能；降低成本，使更多医疗机构能够负担得起；提高设备的便携性和易用性，方便在临床实践中广泛应用。例如，SERF磁力计若在性能、灵敏度和成本上取得突破，可能成为未来医学领域磁力测量的主导技术。



量子测量在能源环保领域的应用当前推动力量不均。欧美国家在该领域处于主要推动者的地位，亚太地区相对欠缺。量子测量通过提供高精度的同步解决方案保障智能电网运行，利用重力梯度测量、气象监测和射频传感等技术为气候变化监测和环保决策提供支持。

量子测量在能源环保领域未来发展前景广阔。量子精密测量技术将深度渗透能源环保领域，在智能电网优化方面，实现时空同步精度提升，减少能源浪费；在气候监测与应对中，凭借量子增强雷达的高灵敏度准确监测关键气候因素；在地球科学研究中，为地质学、地球物理学等提供精确的重力场数据。同时，未来的发展将不断追求提高测量精度，研发新型传感器提高灵敏性、紧凑性和可靠性，制定高效数据处理算法提高数据处理的实时性和准确性，设计和制造先进实验装置确保可靠测量。

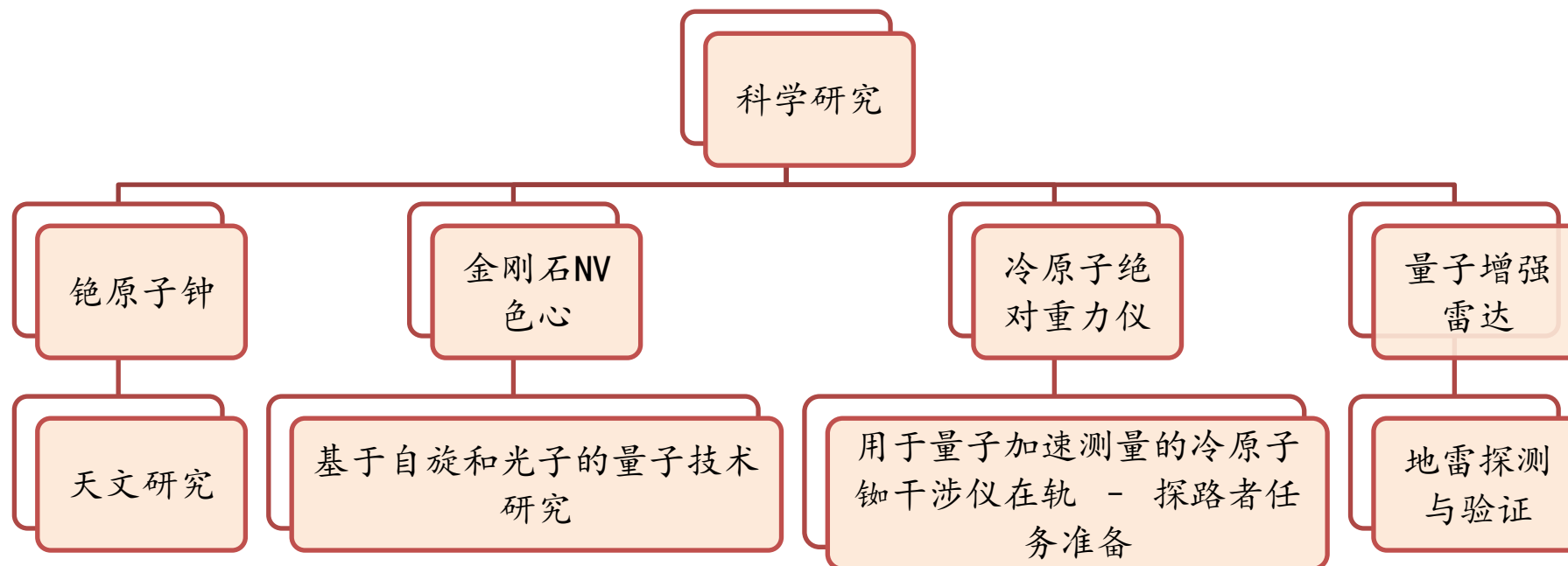


原子钟及其细分技术路线产品在同步通信领域发挥着核心作用。原子钟及其细分技术路线产品推动了飞机与控制塔之间的关键通信、5G 基站和数据中心的同步运行、铁路移动通信系统的精确计时等应用的发展。

量子测量在同步通信领域未来技术发展方向清晰。芯片级原子钟因小型化设计优势有望取代 5G 基站中的晶振技术，提供更高的频率稳定性和时间同步性能，满足 5G 网络等对高精度时间同步的需求。光钟技术凭借其出色的频率稳定性和准确性，将成为金融交易、网络通信等领域的理想时间基准。未来还将注重量子精密测量技术的多模态集成，融合不同类型的测量技术，提高测量的准确性和稳定性，抵御外部干扰，提升同步通信系统的可靠性和鲁棒性。



量子测量在科学研究领域展现出了广而深的应用前景，欧美国家在推动量子精密测量技术在科研领域的发展上扮演着重要角色。比如，在天文研究中，对光学铯原子钟的评估为天文观测提供重要的时间基准；在磁场研究方面，金刚石NV色心可提供高分辨率和高灵敏度的磁场定量数据；在重力研究中，冷原子绝对重力仪用于研究地球质量分布变化；在目标识别上，量子增强雷达在模拟全球排雷工作等场景中验证其能力。**在未来，量子精密测量技术在科研中的替代性将进一步增强。**其不仅能提供更高精度，在实验中性能卓越，还能为研究微小尺度物理现象提供关键的定量数据，如表面磁场、电流和电场等。在模拟全球排雷工作等实际应用中，量子测量体现出其在复杂环境和综合领域研究中的重要性，推动科研领域对复杂问题的深入理解和突破。



需求端：高端行业对精密测量技术的依赖持续增强

◆航空航天

- ✓ 无GPS导航需求：传统导航依赖于全球定位系统（GPS），而量子陀螺仪和加速度计提供了高精度的自主导航能力，可在极端环境（如深空、极地、地下）下实现精准定位。
- ✓ 高精度时间同步：卫星导航系统（如北斗、GPS）对量子时钟的需求显著增加，用于确保卫星与地面之间的精准时间同步。
- ✓ 深空探测与监测：航天器在深空探测任务中对量子重力仪和加速度计的需求快速增长，用于测量行星表面和地质结构。

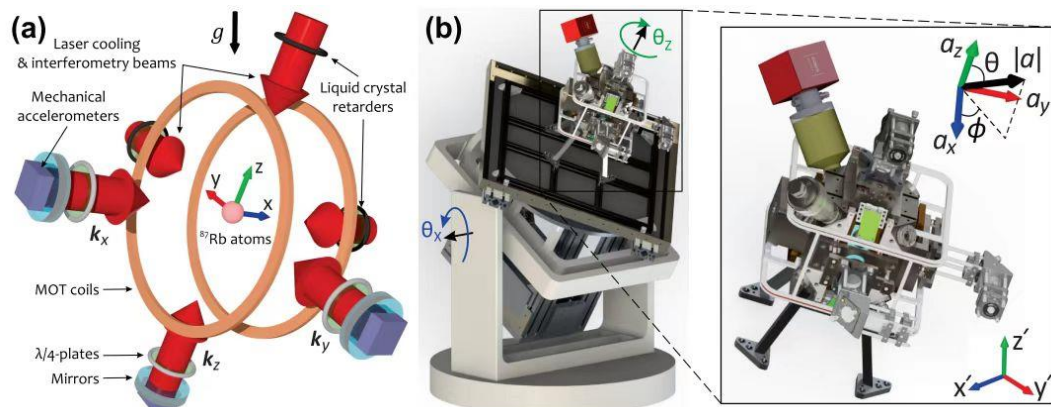
◆国防军工

- ✓ 隐形目标探测：国防领域对量子雷达的需求激增，用于探测隐形飞机、无人机和潜艇等目标，提高军队作战能力。
- ✓ 高精度战场导航与感知：量子惯性导航设备在无卫星环境下为潜艇、导弹和无人系统提供精确导航。

◆医疗健康

- ✓ 高灵敏生物信号检测：医疗健康领域对量子磁力计的需求快速增长，用于非侵入式的心脑磁图（如癫痫和心脏病的诊断）和分子检测。
- ✓ 精准医疗：量子传感器支持单分子分析和药物研发，推动个性化医疗的发展。

图：首个3D量子加速度计



图：全球首个64通道无液氦心磁图仪Miracle MCG® Pro



图：量子雷达在军事中的应用



供给端：研发投入高，技术壁垒强

◆量子测量供给端所需研发投入高昂，技术壁垒强。

- ✓ 量子测量设备的研发需要跨学科技术，包括光学、电子工程、量子物理等领域，研发成本高、周期长。
- ✓ 核心部件的制造和工艺技术掌握在少数发达国家企业手中，形成较高技术壁垒。例如，超高灵敏探测器和冷原子技术是量子重力仪和磁力计的核心组件，供应商极为有限。

◆供给端未来发展趋势预测：

- ✓ **核心部件国产化。**随着全球供应链分工的调整，新兴市场国家（如中国）加速推进关键部件国产化，降低对欧美供应链的依赖。例如，激光器领域的国产化率正在快速提高。
- ✓ **研发逐渐向小型化与模块化发展。**便携式设备的普及将满足更广泛的应用场景需求，例如医疗设备和移动导航系统。
- ✓ **产能扩张与成本下降。**随着生产技术的优化，量子测量设备的成本将逐步下降。未来，中低端市场的供给能力将显著提升，使得量子测量设备能广泛应用于中小企业。
- ✓ **供应链全球化与区域化结合。**全球化合作与区域化竞争将持续共存，头部企业将加强国际协作，加快设备研发和商业化。例如，欧美企业与亚太地区制造商的合作可能成为未来的重要趋势。



图：锐科激光RFL-C12000M-R激光器



图：杰普特激光M7 200W激光器

◆南方电网±800kV特高压直流量子电流传感器

量子电流传感器是一种感知能力更强的电网“感官”，看得更远、听得更清晰，既能精准感知到毫安级别的极微弱的电流，又能测量到十千安级别的短路大电流，能够实时监测直流输电线路的运行情况和健康状态。南网数研院依托国家重大项目，开展量子测量原创技术攻关，利用金刚石内部独特的量子特性，通过检测电流产生的磁场来实现非接触电流测量，由于量子的加持，它能实现其它传感器所不具备的超大范围、超高精度和高稳定的电流测量。它是全球首套±800kV特高压直流量子电流传感器。

◆国仪量子商用低温版量子钻石原子力显微镜

低温版量子钻石原子力显微镜是一台结合了金刚石NV色心光探测磁共振技术和原子力显微镜扫描成像技术的量子精密测量仪器，具有纳米级的高空间分辨以及单个自旋的超高探测灵敏度。该产品目前已实现量产，可用于2K-300K宽温区下高分辨、高灵敏、定量无损的磁学测量，将为我国生命科学、材料科学、凝聚态物理等领域研究提供全新手段。并且，这台显微镜是全球首台商用低温版量子钻石原子力显微镜。

◆国盾量子氧化钒温度计

氧化钒温度计是量子计算机的核心器件之一，可用于对量子芯片的工作环境进行测温。由于量子态非常脆弱，量子芯片需要在“绝对零度”条件下运行，每一个微小温度波动都可能导致量子信息技术丢失。“宇宙最低温度”通常指的是0开尔文，也被称为“绝对零度”（约零下273.15摄氏度），是理论上能达到的热力学最低温度极限。使用氧化钒温度计来精准监测量子芯片的工作温度，对于确保量子计算机稳定运行、提高计算的准确性和可靠性至关重要。目前国内氧化钒温度计主要依赖进口，没有能在10mK以下温区进行测量的国产化产品。国盾量子推出的氧化钒温度计，主要应用于6mK-200mK温区的测量，起测温度6mK（接近零下273.144摄氏度），刷新了国内最低起测温度纪录，并具有较高测量精度和灵敏度，能实现连续测量和快速响应。

◆轻量化便携式的原因

- ✓ 野外科学考察：在地质勘探、地球物理研究等领域，科研人员常常需要在野外不同环境中进行测量工作。轻量化、便携式的量子测量设备便于携带到偏远地区或复杂地形区域，如山区、丛林、沙漠等，能够随时随地开展高精度测量，获取关于地球重力场、磁场等信息，助力研究地球内部结构、寻找矿产资源等。
- ✓ 应急救援现场：在地震、洪水、泥石流等自然灾害发生后的应急救援中，需要快速对受灾区域的地质状况、建筑物稳定性等进行评估。便携式量子测量设备可以迅速被运送到现场，为救援决策提供科学依据，例如通过测量重力变化判断地下是否存在空洞或潜在的塌陷风险等。
- ✓ 民用市场普及：随着量子技术的发展，其在民用领域的应用潜力巨大。如在精准农业中，农民可以使用便携式量子传感器检测土壤的物理和化学性质，实现精准施肥和灌溉；在医疗保健领域，小型化的量子测量设备可能用于疾病的早期诊断和健康监测等。轻量化、便携式的设计有助于量子测量设备进入更广泛的民用市场，满足不同用户群体的需求，推动量子技术的产业化发展。



图：光量子测量仪



图：高精度小型绝对重力仪IGG-03B

建议关注：

量子计算-

量子计算机：国盾量子、复旦复华、禾信仪器

量子芯片：国民技术、中国长城、光迅科技

算力提供：科华数据

量子通信-

建设&方案提供商：国盾量子、神州信息、浙江东方、亨通光电

量子加密：吉大正元、三未信安、中科曙光、电科网安

量子测量-

国盾量子、科大国创、中兵红箭、力量钻石

风险提示

1. 技术研发进度不及预期风险；
2. 商业化落地不及预期风险；
3. 地缘政治加剧风险；
4. 政策支持不及预期风险等

分析师声明

作者具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格，保证报告所采用的数据和信息均来自公开合规渠道，分析逻辑基于作者的职业理解，本报告清晰准确地反映了作者的研究观点，力求独立、客观和公正，结论不受任何第三方的授意或影响。研究报告对所涉及的证券或发行人的评价是分析师本人通过财务分析预测、数量化方法、或行业比较分析所得出的结论，但使用以上信息和分析方法存在局限性。特此声明。

免责声明

本研究报告由方正证券制作及在中国（香港和澳门特别行政区、台湾省除外）发布。根据《证券期货投资者适当性管理办法》，本报告内容仅供我公司适当性评级为C3及以上等级的投资者使用，本公司不会因接收人收到本报告而视其为本公司的当然客户。若您并非前述等级的投资者，为保证服务质量、控制风险，请勿订阅本报告中的信息，本资料难以设置访问权限，若给您造成不便，敬请谅解。

在任何情况下，本报告的内容不构成对任何人的投资建议，也没有考虑到个别客户特殊的投资目标、财务状况或需求，方正证券不对任何人因使用本报告所载任何内容所引致的任何损失负任何责任，投资者需自行承担风险。

本报告版权仅为方正证券所有，本公司对本报告保留一切法律权利。未经本公司事先书面授权，任何机构或个人不得以任何形式复制、转发或公开传播本报告的全部或部分内容，不得将报告内容作为诉讼、仲裁、传媒所引用之证明或依据，不得用于营利或用于未经允许的其它用途。如需引用、刊发或转载本报告，需注明出处且不得进行任何有悖原意的引用、删节和修改。

类别	评级	说明
公司评级	强烈推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有20%以上的涨幅。
	推荐	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的涨幅。
	中性	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数在-10%和10%之间波动。
	减持	分析师预测未来12个月内相对同期基准指数有10%以上的跌幅。
行业评级	推荐	分析师预测未来12个月内行业表现强于同期基准指数。
	中性	分析师预测未来12个月内行业表现与同期基准指数持平。
	减持	分析师预测未来12个月内行业表现弱于同期基准指数。
基准指数说明		A 股市场以沪深300 指数为基准；香港市场以恒生指数为基准，美股市场以标普500指数为基。



方正证券研究所

专注 · 专心 · 专业

北京市朝阳区朝阳门南大街10号兆泰国际中心A座17层

长沙市天心区湘江中路二段36号华远国际中心37层

上海市静安区延平路71号延平大厦2楼

深圳市福田区竹子林紫竹七道光大银行大厦31层

广州市天河区兴盛路12号楼隼峰院2期3层方正证券