

量子计算光量子技术路线进展加速，未来大有可为

2025 年 06 月 11 日

► **光量子是量子计算重要的技术路线之一，具有独特的竞争优势：**量子计算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，在理论上能在特定领域实现指数级加速，因而是未来计算能力跨越式发展的重要方向。量子计算技术路线众多，当前多种技术路线并行发展尚无收敛趋势。可分为两大类，一是基于微观结构形成分立能级系统的“人造粒子”路线，如超导和硅半导体，二是直接操控微观粒子的天然粒子路线，如量子阱、光量子和中性原子。其中，光量子是重要的技术路线之一，其是基于量子叠加态和纠缠态原理，通过非线性光学效应产生纠缠光子对，再利用线性光学元件对光子进行操控以实现量子逻辑运算。相较于其他路线，光量子具备独特竞争优势。其支持室温工作，相干时间长，同时光子可以实现长距离纠缠，适合构建分布式量子计算网络。并且，光量子计算可以与现有的光纤通信基础设施兼容，不需要信号的转换就能够进行扩展。

► **光量子技术路线研究热度高，产业生态正逐步形成：**根据中国信通院统计，截至 2023 年 9 月，量子计算硬件技术路线的专利申请数量方面，超导路线居首，占比达 51%，光量子路线排名第二，占比达 21%。根据量子信息网络产业联盟的划分，光量子计算产业包括底层支撑系统、光量子计算原型机、软件和应用服务等四个关键环节。光量子厂商发展模式大致可分为两类，一类是遵循软硬件协同的全栈式发展路线，代表厂商包括 Xanadu、PsiQuantum、Quandela、图灵量子、玻色量子等，另一类是重点发展硬件处理器的设计封装。

► **当前国内外研究持续推进，光量子技术路线发展迎来加速：**今年以来，以 Xanadu、PsiQuantum 等为代表的海外头部厂商在光量子技术路线上的进展显著。Xanadu 方面，2025 年 1 月宣布推出世界上第一台可扩展、网络化和模块化的量子计算机——Aurora。整体架构上 Aurora 包含四个独立的服务器机架，由模块化的光子芯片与光纤网络构成，包含 35 个光子芯片和 13 公里长的光纤。展望未来，Xanadu 计划于 2029 年建立量子数据中心，预计将部署数千台服务器，包含 100 万个量子比特。PsiQuantum 方面，2025 年 2 月，宣布推出专光量子计算芯片组 Omega。国内方面，2023 年 10 月，我国成功构建了 255 个光子的量子计算原型机“九章三号”，再度刷新了光量子信息的技术水平和量子计算优越性的世界纪录，“九章三号”处理高斯玻色取样的速度比上一代“九章二号”提升一百万倍。此外，光量子计算设备领域的重要厂商玻色量子在 2024 年 4 月发布了其新一代 550 计算量子比特的相干光量子计算机——“天工量子大脑 550W”。

► **投资建议：**不仅仅是光量子技术路线，当前量子计算领域呈现多种技术路线并行发展趋势。我们认为，量子计算未来或有望颠覆经典计算架构成为解决 AI 算力瓶颈的颠覆性力量，建议持续聚焦量子计算领域的创新进展并建议关注国盾量子—量子计算机、禾信仪器—稀释制冷机等量子计算核心标的。同时，也建议关注电科网安、吉大正元、格尔软件、国芯科技、浙江东方、亨通光电、光迅科技等量子加密通信标的。

► **风险提示：**量子计算整体发展不及预期，光量子技术路线发展不及预期，行业竞争加剧。

推荐

维持评级

**分析师 马天诣**

执业证书：S0100521100003

邮箱：matianyi@mszq.com

分析师 马佳伟

执业证书：S0100522090004

邮箱：majawei@mszq.com

分析师 谢致远

执业证书：S0100524060003

邮箱：xiezhizhuan@mszq.com

相关研究

- 1.通信行业 2025 年中期投资策略：“国产替代+算力升级”双主线-2025/05/20
- 2.商业航天行业事件点评：《终端设备直连卫星服务管理规定》发布，卫星应用将提速-2025/05/03
- 3.商业航天事件点评：卫星互联网技术试验星成功发射，关注手机直连进展-2025/04/02
- 4.通信行业事件点评：部门培育智能消费场景，AI 端侧加速发展-2025/03/28
- 5.商业航天行业事件点评：政府工作报告两次提及商业航天，关注商业航天进展-2025/03/06

目录

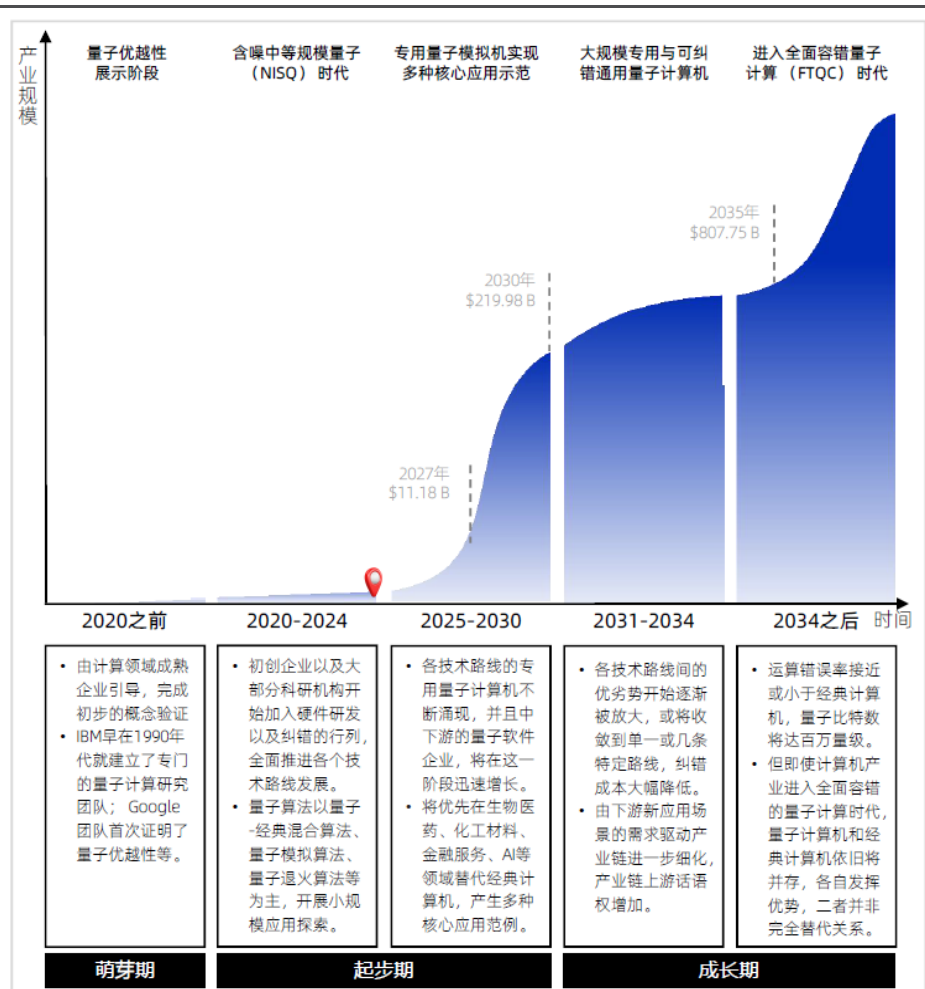
1 量子计算领域，光量子是重要的技术路线之一	3
1.1 量子计算技术路线众多，光量子路线其具备独特的竞争优势	3
1.2 光量子技术路线研究热度高，产业生态正逐步形成	5
2 当前国内外研究持续推进，光量子技术路线发展迎来加速	7
3 投资建议	12
4 风险提示	13
插图目录	14
表格目录	14

1 量子计算领域，光量子是重要的技术路线之一

1.1 量子计算技术路线众多,光量子路线其具备独特的竞争优势

量子计算与量子通信、量子精密测量，共同构成量子信息技术的三大领域。量子信息技术是通过调控和观测亚原子尺度的微观物理系统，利用量子叠加、量子纠缠、量子隧穿等量子物理学现象，实现信息的感知、计算和传输。其中，量子计算的关注度正持续提升。当前传统半导体芯片的性能提升正逼近物理极限，而量子计算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，在理论上能在特定领域（如人工智能、量子模拟、密码学等）实现指数级加速，因而是未来计算能力跨越式发展的重要方向。

图1：量子计算发展生命周期示意图



资料来源：ICV，光子盒研究院，民生证券研究院

当前，量子计算领域呈现多种技术路线并行发展阶段，尚无融合收敛趋势。其中，光子是重要的技术路线之一。目前量子计算硬件的主要技术路线包括了：超导、光子、离子阱、中性原子、硅半导体等。简单可划分为两大类，一是基于微观结构形成分立能级系统的“人造粒子”路线，如超导和硅半导体，二是直接操控微观粒子的天然粒子路线，如离子阱、光子和中性原子。根据中国信通院的描述：

- 1. 光子：**利用光子作为信息载体，通过操控光子的量子态（如偏振、路线等）来编码量子比特，并执行计算任务。具体实现方式上，是基于量子叠加态和纠缠态原理，通过非线性光学效应产生纠缠光子对，再利用线性光学元件对光子进行操控，以实现量子逻辑运算。其可支持室温工作、相干时间长、操控简单。根据是否支持逻辑门和量子纠错等操作，可以进一步分为逻辑门型光子量子计算和非逻辑门型光子量子计算两类，前者是未来实现通用量子计算的发展方向，而非逻辑门型光子量子计算，如玻色采样和相干伊辛系统等，可用于组合优化和图论问题求解等专用计算问题。
- 2. 超导：**基于超导约瑟夫森结形成二能级系统，在系统扩展性、操控速度、集成电路工艺兼容等方面有优势，近年来物理比特数量、逻辑门保真度等关键技术指标持续提升，是业界重点关注的技术路线。
- 3. 离子阱：**利用电荷与磁场间的交互作用力约束带电粒子，构建二能级系统。具有操控精度高、相干时间长、全连接性等优势，伴随囚禁离子数量、逻辑门保真度等关键指标不断提升，当前保持较强竞争力。
- 4. 中性原子：**利用光镊或光晶格捕获并囚禁原子，激光激发原子里德堡态实现逻辑门操作，在可扩展性、相干时间、操控精度等方面具有优势。
- 5. 硅半导体：**控制硅基衬底量子点中束缚电子或原子核的自旋量子态构建量子比特，具有与现代半导体先进制程工艺兼容等优势。

相较于其他技术路线，光子路线具备独特的竞争优势。相较于超导等技术路线，光子的量子效应在室温下就能够实现，不需要低温冷却系统从而降低了运营成本。其次，光子与其他微观粒子的相互作用极弱，因而在量子计算过程中能保持较长的相干时间，减少环境噪声对量子态的干扰。再者，光子可以实现长距离纠缠，适合构建分布式量子计算网络。并且，光子量子计算可以与现有的光纤通信基础设施兼容，不需要信号的转换就能够进行扩展。光子量子路径的缺点在于光子之间以及光子与环境之间几乎不会相互作用，因此对于光子量子计算机而言，逻辑操作和可编程通用系统的实现难度较大。

表1：量子计算各技术路线的优劣势

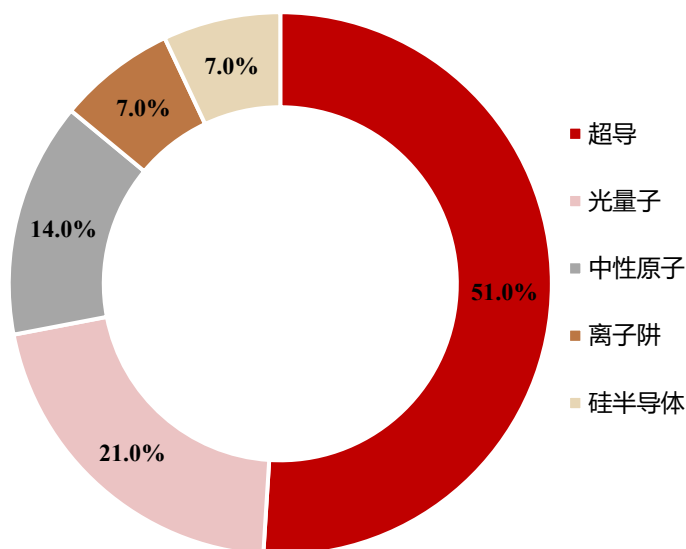
技术路线	优势	缺点
超导	操控精度高、扩展性强、兼容半导体工艺	需极低温环境（接近 0K）、易受噪声干扰
离子阱	相干时间长（秒级）、单比特精度高	扩展性差、系统复杂程度高
光子	室温运行、抗干扰能力强、相干时间长、可实现长距 离纠缠便于构建量子网络	多光子纠缠制备困难、非线性效应弱
中性原子	高并行性、可编程性强	操控速度慢、激光系统复杂
硅半导体	潜在的高集成度、与现有芯片工艺兼容	自旋退相干快、需复杂纠错技术

资料来源：集成光学 PIC 公众号，民生证券研究院

1.2 光子技术路线研究热度高，产业生态正逐步形成

光子技术路线研究热度高，专利数量可观。根据中国信通院发布的《量子信息技术发展与应用研究报告（2023）》，截至 2023 年 9 月，在量子计算硬件技术路线的专利申请数量来看，超导路线保持领跑，其专利数量最多，占比达 51%，光子路线排名第二，专利数量占比达到了 21%，中性原子、离子阱、硅半导体占比分别为 14%、7%、7%。

图2：量子计算领域，各技术路线的专利数量占比（截至 2023 年 9 月）



资料来源：中国信通院《量子信息技术发展与应用研究报告（2023 年）》，民生证券研究院

当前全球光子量子计算仍处于发展初期，相关产业生态正在开始逐步形成。根据量子信息网络产业联盟的划分，光子量子计算产业包括底层支撑系统、光子量子计算原型机、软件和应用服务等四个关键环节。当前光子量子计算硬件设备供应商合软件开发商主要以国际公司为主，主要集中在美国、加拿大及欧洲等地，以加拿大的 Xanadu 和美国的 PsiQuantum 为代表，此外国内厂商也开始在产业生态中占据

一席之地。光量子厂商发展模式大致可分为两类，一类是遵循软硬件协同的全栈式发展路线，代表厂商包括 Xanadu、PsiQuantum、Quandela、图灵量子、玻色量子等，另一类是重点发展硬件处理器的设计封装，如 Photonic InC、Wave Photonics 等厂商。光量子软件方面，根据功能不同可大致分为光量子计算编译软件和光量子计算应用开发软件两大类，当前也整体处于架构探索和迭代发展的起步阶段。

图3：光量子计算产业各环节主要参与厂商

应用服务	       
软件开发	        
原型机	          
支撑系统	            

资料来源：量子信息网络产业联盟《光量子计算技术产业研究报告》，民生证券研究院

2 当前国内外研究持续推进，光量子技术路线发展迎来加速

今年以来，以 Xanadu、PsiQuantum 等为代表的海外头部厂商在光量子技术路线上的进展显著。

2025 年 1 月，海外头部厂商 Xanadu 宣布推出世界上第一台可扩展、网络化和模块化的量子计算机——Aurora。Xanadu 将相关研究成果《Scaling and networking a modular photonic quantum computer》发表于顶级期刊《Nature》上。对于 Aurora 模块化、网络化、可扩展的特点，其中模块化指的是 Aurora 由独立的服务器机架构成，可视作为独立的量子计算机，可扩展突出的是这种模块化设计使得后续扩展只需增加芯片数量，无需重构整体架构。网络化指的是 Aurora 中不同机柜之间是通过光纤实现连接并可支持扩展。展望未来，Xanadu 计划于 2029 年建立量子数据中心，预计将部署数千台服务器，包含 100 万个量子比特。

图4：Aurora 的机柜间采用光纤进行连接并支持无限扩展



资料来源：Xanadu 官网，民生证券研究院

整体架构上，Aurora 包含四个独立的服务器机架，由模块化的光子芯片与光纤网络构成，包含 35 个光子芯片和 13 公里长的光纤。分为光源、精炼器、量子处理单元（QPU）三大模块，都在不同的光子集成电路（PIC）芯片上实现，这些芯片通过定制光纤延迟线模块互联，确保相位与偏振稳定性。具体来看，光源模块由 42 个 GBS 单元组成，精炼器由 6 个基于薄膜铌酸锂材料的光子集成电路（PIC）组成，每个 PIC 包含一个二叉树结构的自适应分束器网络，QPU 模块由 5 个基于硅光子芯片的单元组成，每个单元能够处理 12 个量子模式。

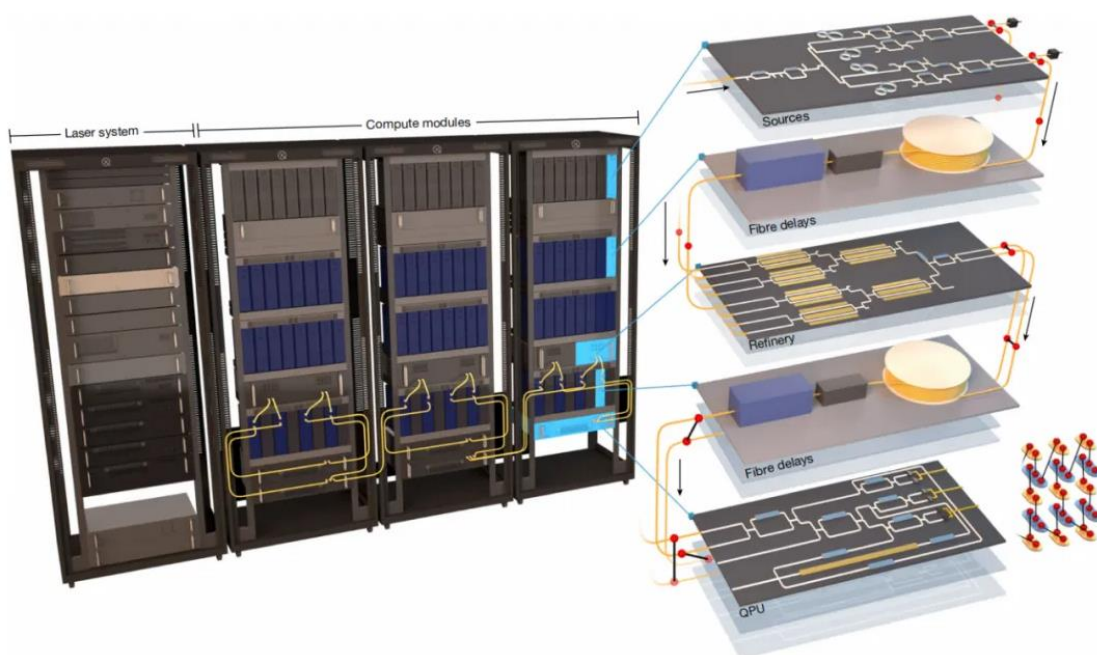
Aurora 的工作流程大致分为三个阶段：

1) **高斯玻色子采样 (GBS) 阶段**：首先通过高斯玻色子采样 (GBS) 设备生成预报初始非高斯态，非高斯态是光子数分辨 (PNR) 探测器检测特定模式的光子数所触发的。输出状态通过光纤延迟线缓冲，等待后续处理。

2) **精炼 (Refinery) 阶段**：这些非高斯态被送入“精炼器” (refinery)，通过多路复用和繁殖操作，生成高质量的 GKP 态。精炼器利用自适应分束器和零差检测器，将多个输入态选择性地合并，生成纠缠的 GKP 贝尔对。

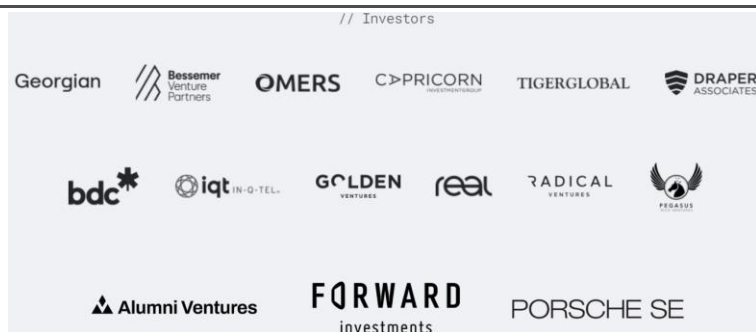
3) **量子处理单元 (QPU) 阶段**：这些贝尔对被送入量子处理单元 (QPU)，通过静态分束器和零差检测器，将它们编织成时空簇态。通过在每个时间步长对簇态的每个节点进行测量，并将测量结果反馈到经典解码器，系统能够实时调整后续测量的基，从而实现容错量子计算。

图5：Xanadu 的 Aurora 系统和主要模块示意图



资料来源：Xanadu 《Scaling and networking a modular photonic quantum computer》，光子盒，民生证券研究院

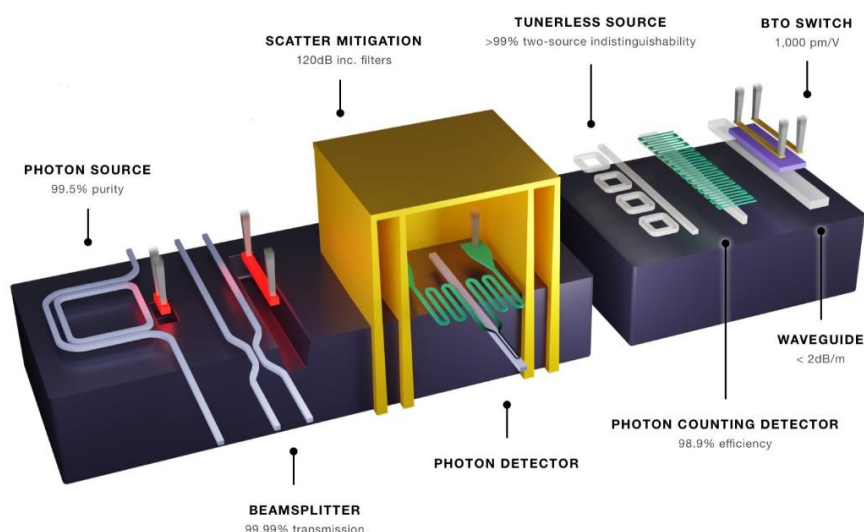
图6：Xanadu 公司目前的投资方



资料来源：Xanadu 官网，民生证券研究院

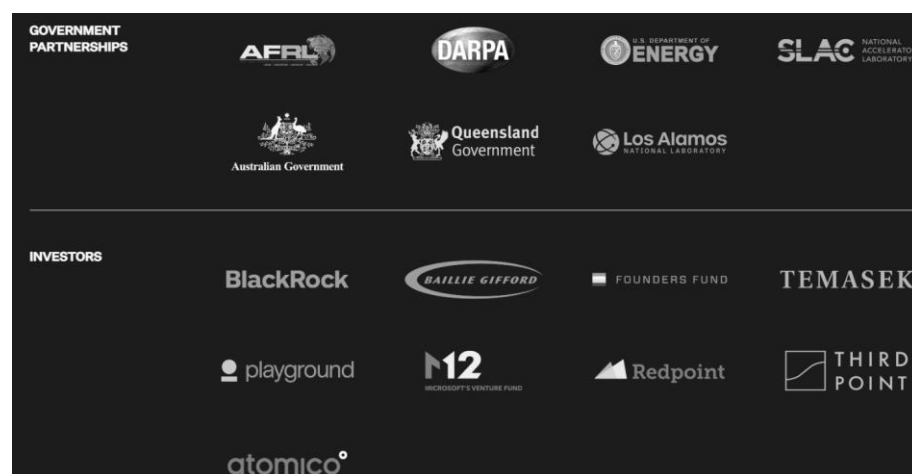
2025 年 2 月，海外头部厂商 PsiQuantum 宣布推出光子量子计算芯片组 Omega。PsiQuantum 将相关成果《A manufacturable platform for photonic quantum computing》发表于顶级期刊《Nature》上。该芯片组专门为大范围的百万量子比特量子计算机设计。该芯片组由 PsiQuantum 设计，芯片制造商 GlobalFoundries 制造，该芯片组可以实现 99.98% 的单量子比特状态制备和测量保真度，99.5% 的双光子干涉可见度，以及 99.72% 的芯片间量子态传输保真度。整体结构上，关键模块包括光子源、光子检测、干涉仪和滤波器等部分。值得一提的是，PsiQuantum 多年来持续聚焦使用半导体标准制造工艺在硅芯片上构建量子计算机的关键部件。2021 年，PsiQuantum 即宣布与美国晶圆厂商 GlobalFoundries 深度合作，共同完成基于硅光子的集成量子系统的研发。

图7：Omega 的结构示意图



资料来源：PsiQuantum 官网，民生证券研究院

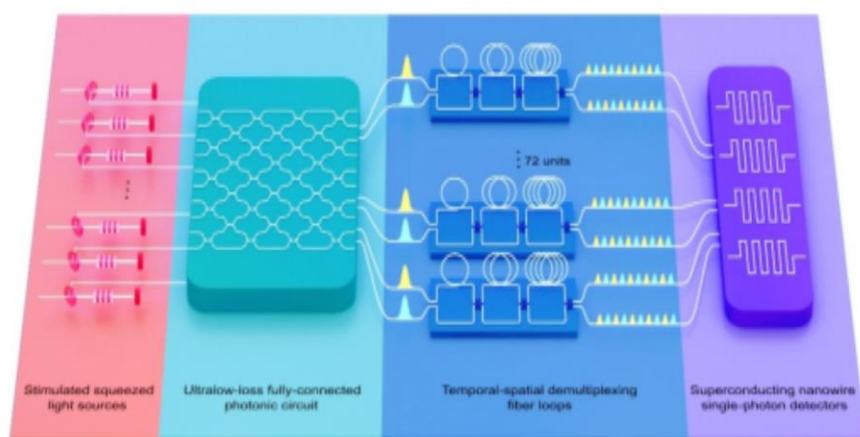
图8：PsiQuantum 的政府合作伙伴及投资者



资料来源：PsiQuantum 官网，民生证券研究院

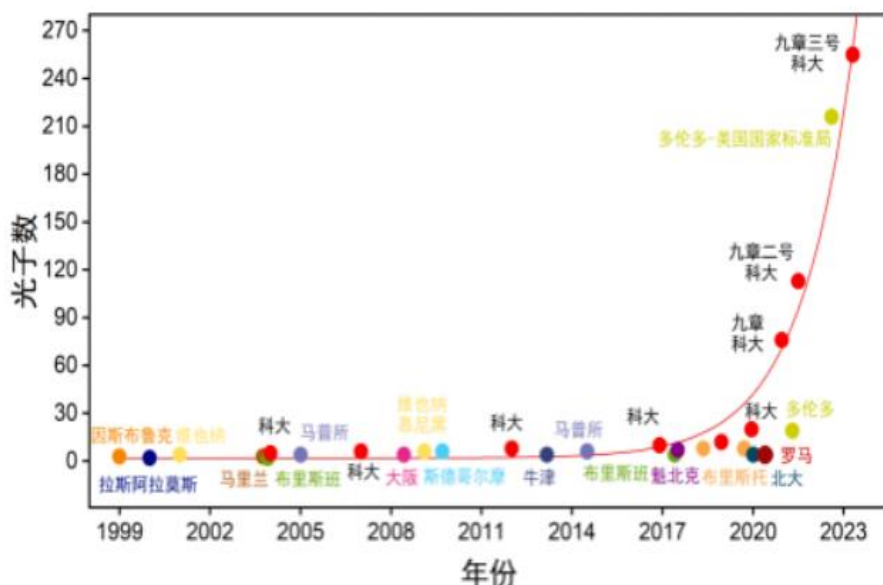
国内方面，2023 年 10 月，我国成功构建了 255 个光子的量子计算原型机“九章三号”，再度刷新了光量子信息的技术水平和量子计算优越性的世界纪录。该项工作由中国科大的潘建伟、陆朝阳、刘乃乐等组成的研究团队与中国科学院上海微系统所、国家并行计算机工程技术研究中心合作完成。前期分别于 2020 年和 2021 年，中国科大团队已成功构建了 76 光子的“九章”光量子计算原型机和 113 光子的可相位编程的“九章二号”。对于此次的“九章三号”，根据公开正式发表的最优经典精确采样算法，“九章三号”处理高斯玻色取样的速度比上一代“九章二号”提升一百万倍。“九章三号”在百万分之一秒时间内所处理的最高复杂度的样本，需要超级计算机“前沿”（Frontier）花费超过二百亿年的时间。

图9：“九章三号”的实验装置示意图



资料来源：中国科学技术大学公众号，民生证券研究院

图10：截至 2023 年，光量子计算的国际竞争态势



资料来源：中国科学技术大学公众号，民生证券研究院

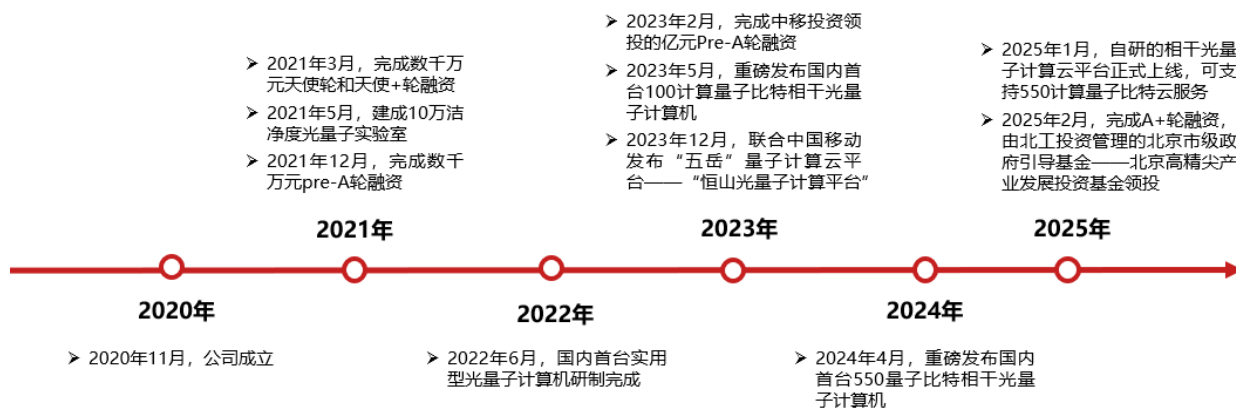
玻色量子是光子量子计算设备领域的重要国内厂商，2024 年 4 月，玻色量子发布了其新一代 550 计算量子比特的相干光子量子计算机——“天工量子大脑 550W”。该光子量子计算机在国内首次实现 550 节点全连接可编程的 Max-Cut 问题相干光子量子计算求解。其基于自研的“空间光路+光纤光路”的异构光路体系架构，采用相干光脉冲相位编码来制备量子比特。通过光子量子计算专用光纤恒温控制设备——量暑，实现超过 550 个量子比特的存储。通过自主研发的光量子测控一体机——“量枢 2.0”，在导入计算问题的参数矩阵的基础上，实现了算力提升 70% GMACs、采样精度提高 2.7 倍、SoC 架构、响应速度提升 200%、自动校准偏压、自动电信号对准、自动调光和自动控制等性能于一体，可以同时控制、读取和执行快速反馈来微秒级操控 550 个计算量子比特。2025 年 1 月，玻色量子自研的相干光子量子计算云平台正式上线，可支持 550 计算量子比特云服务。

图11：玻色量子的 100 量子比特和 550 量子比特相干光子量子计算机



资料来源：玻色量子官网，民生证券研究院

图12：玻色量子的发展历程



资料来源：玻色量子官网，民生证券研究院

3 投资建议

不仅仅是光量子技术路线，当前量子计算领域呈现多种技术路线并行发展趋势。我们认为，量子计算未来或有望颠覆经典计算架构成为解决AI算力瓶颈的颠覆性力量，建议持续聚焦量子计算领域的创新进展并建议关注国盾量子—量子计算机、禾信仪器—稀释制冷机等量子计算核心标的。同时，也建议关注电科网安、吉大正元、格尔软件、国芯科技、浙江东方、亨通光电、光迅科技等量子加密通信标的。

4 风险提示

1) 量子计算整体发展不及预期：当前量子计算仍处于研发阶段，要实现大规模商业化应用仍需要解决诸多问题，若相关进展不及预期，可能影响未来商业化应用进程。

2) 光量子技术路线发展不及预期：当前量子计算技术路线众多，尚无收敛趋势。未来可能存在光量子技术路线发展缓慢遭遇瓶颈或被其他技术路线替代的风险。

3) 行业竞争加剧：量子计算虽仍处于发展早期，但已得到持续重视，当前北美、欧洲、中国等地均持续加大投入积极推动量子计算发展，未来可能出现行业竞争加剧的风险。

插图目录

图 1: 量子计算发展生命周期示意图.....	3
图 2: 量子计算领域, 各技术路线的专利数量占比 (截至 2023 年 9 月)	5
图 3: 光量子计算产业各环节主要参与厂商.....	6
图 4: Aurora 的机柜间采用光纤进行连接并支持无限扩展.....	7
图 5: Xanadu 的 Aurora 系统和主要模块示意图.....	8
图 6: Xanadu 公司目前的投资方.....	8
图 7: Omega 的结构示意图.....	9
图 8: PsiQuantum 的政府合作伙伴及投资者.....	9
图 9: “九章三号” 的实验装置示意图.....	10
图 10: 截至 2023 年, 光量子计算的国际竞争态势.....	10
图 11: 玻色量子的 100 量子比特和 550 量子比特相干光量子计算机.....	11
图 12: 玻色量子的发展历程.....	11

表格目录

表 1: 量子计算各技术路线的优劣势.....	5
-------------------------	---

分析师承诺

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

评级说明

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

免责声明

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

本报告仅供本公司境内客户使用。本公司不会因接收人收到本报告而视其为客户。本报告仅为参考之用，并不构成对客户的投资建议，不应被视为买卖任何证券、金融工具的要约或要约邀请。本报告所包含的观点及建议并未考虑获取本报告的机构及个人的具体投资目的、财务状况、特殊状况、目标或需要，客户应当充分考虑自身特定状况，进行独立评估，并应同时考量自身的投资目的、财务状况和特定需求，必要时就法律、商业、财务、税收等方面咨询专家的意见，不应单纯依靠本报告所载的内容而取代自身的独立判断。在任何情况下，本公司不对任何人因使用本报告中的任何内容而导致的任何可能的损失负任何责任。

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

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

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

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

民生证券研究院：

上海：上海市虹口区杨树浦路 188 号星立方大厦 7 层； 200082

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

深圳：深圳市福田区中心四路 1 号嘉里建设广场 1 座 10 层 01 室； 518048