

量子纠缠网络与现有万兆宽带成功同纤混跑

51 篇 · 10 个来源 | [PDF](#) | 本期汇总免费阅读

本期目录	
今日三件事	
硬件前沿	
算法与软件	
产业与生态	
学术前沿	
今日影响	
编辑点评	
收录报道	51
信息来源	10
阅读时长	约 20 分钟
当前 S O T A	
物理比特	1, 180
2Q 保真度	99. 99%
逻辑比特	96 LQ
量子硬件 SOTA 对照表 →	

01 亮点

今日三件事

1 IBM苍鹭芯片跨过表面码纠错门限 南加州大学与量子元件公司在重六角格（非正方网格拓扑）超导芯片上测得表面码（二维拓扑量子纠错码）逻辑比特处于纠错门限以下^[22]——突破物理拓扑约束，证实商用超导芯片具容错纠错可行性。

2 中性原子龙头帕斯卡尔登陆纳斯达克 帕斯卡尔（Pasqal）于北京时间2026年9月18日凌晨敲响纳斯达克收盘钟正式挂牌上市^[15]——确立中性原子首个公开估值标杆，开启全球量子资本化新阶段。

3 量子算法助工业仿真提速14.6% 离子阱龙头IonQ联手电子设计自动化巨头新思科技（Synopsys），实现在工业设计软件中加速

14.6%^[37]——验证混合算力嵌入真实工业流程，缩短工业研发迭代周期。

02 硬件

硬件前沿



超导路线

南加州大学与量子元件公司（Quantum Elements）在《自然·通讯》发表成果，在IBM 156比特苍鹭（Heron）处理器的重六角格（非正方网格拓扑）芯片架构上部署表面码（二维拓扑量子纠错码），实现逻辑比特在纠错门限以下的噪声抑制表现^[22]。表面码理论上要求正方晶格拓扑，而重六角格中比特配对自由度受限；该团队通过定制编解码映射跨过了门限^[22]。对照超导容错公开基准（谷歌Willow在定制方格架构上实现误差压制因子 $\Lambda \approx 2.1$ ），本成果首次证明非定制网格商用芯片亦可跨过容错门限；但物理逻辑编码比仍高出100比1，且尚未实现微秒级闭环综合征提取解码（距Willow的实时纠错闭环仍存在工程延迟差距）。格局上，该进展为IBM现行的重六角格产品路线（如

Heron) 确立了免重新流片验证纠错的可行性，直接利好第三方纠错编译器生态，加速商用容错协议开发^[22]。

继9月17日报道IBM旗下Anderon敲定芯片法案10亿美元拨款扩建300毫米纯量子晶圆代工厂后，行业动态报告披露，相关纠错编译器已上线IBM云端软件目录^[45]。

中性原子路线

研究人员利用一串里德伯原子（高激发态中性原子）构建量子总线，在中性原子阵列中无需机械位移原子或架设点对点光学信道，即在远距比特间建立起非局域耦合，实现“准全连接”网络^[19]。传统中性原子体系受限于微米级局域阻断半径或机械穿梭光镊（循环重复率仅1至10赫兹，构成扩展硬约束）；该总线利用原子链集体相互作用跨越空间间隔^[19]。对照离子阱路线（Quantinuum Helios具备98比特全连接能力），本方案使中性原子在保留高密度阵列优势的同时逼近全互联架构；但在推进尺度上，该总线上的两比特门保真度尚未完成全分布标定（需对标哈佛大学60原子并行99.5%的基线），且对环境电磁噪声与原子漏失的抗扰能力仍待验证。格局上，该技术为高码率低密度奇偶校验码（qLDPC）在中性原子平台的落地打通了物理互联通道，预计在2至3年内重塑QuEra与帕斯卡尔的芯片布线设计^[19]。

光量子路线

研究团队在总长40公里、每根光纤同时承载10吉比特每秒（Gbps）实时现网业务流量的商用网络中，成功实现跨越5个中继节点的纠缠交换，将此前纪录从3节点扩展至5节点^[20]。该实验通过滤波与低噪声探测技术克服了高功率经典通信激光在纤芯中引发的强拉曼散射噪声，在不损伤10Gbps业务传输的前提下跨过了多中继纠缠共纤分发的工程门槛^[20]。格局上，电信运营商与网络厂商无需斥资数亿美元重铺专用暗光纤，即可在现有通信骨干网络上低成本叠加量子密钥分发与分布式算力互联，使广域量子网络商业化进程加快3至5年^[20]。

在集成光量子芯片源方面，研究人员在连续波驱动的片上集成器件中测得霍姆-奥-曼德尔干涉可见度（HOM，双光子干涉不可分辨度）达到 0.992 ± 0.001 ^[18]。该数值消除了片上集成源频谱畸变阻碍；但依据评测规范，该指标属于条件保真度，尚缺乏全链路端到端损耗预算表。格局上，该突破大幅降低了测量型光量子计算对片外高精激光源的依赖，提升了晶圆流片利用率^[18]。

在片上波导互连方面，科研人员将集成光子电路中实现近完美态传输所需的器件电路尺寸从150微米压缩至16微米（物理走线尺寸缩减近90%），传输速度较传统方法提升11.8倍且保真度未出现衰退^[21]。该技术降低了片上时延与散射损耗，为高密度多核光量子处理器的封装与互连扩展扫清了空间占用障碍^[21]。

在核心光电元件代工领域，NLM Photonics与代工厂LIGENTECH在商用光子学平台上制造出首批氮化

硅有机杂化（NOH）调制器^[38]。氮化硅在可见光与近红外波段具备低吸收特性，结合有机材料的高电光效应，打破了传统硅光子被局限于光通信长波波段的物理瓶颈，为原子阱与离子阱系统所需的可见光单片集成测控开辟了量产供应链^[38]。

硅基自旋路线

研究团队在硅自旋量子点电荷噪声不敏感偏置点测得量子比特相干时间达到67微秒，相当于相邻未优化工作点5.2微秒的12.8倍^[23]。对照硅基自旋SOTA基线（同位素纯化²⁸Si体系中T₂普遍处于10至100微秒区间），67微秒处于该体系前列，验证了通过电场偏置规避电荷波动的有效性；但以门操作数N_ops（T₂与门时间之比）评估，硅基体系仍处于10²至10³区间，显著落后于离子阱（10⁵）与超导（10⁴），且全局比特规模仍停留在数十比特内。格局上，该方案为Diraq与Quantum Motion等采用标准互补金属氧化物半导体（CMOS）工艺的初创企业提供了无需额外同位素提纯成本的控噪工程手段^[23]。

量子传感与精密测量

美因茨约翰内斯·古腾堡大学牵头的DIAQNOS旗舰项目开发出金刚石量子传感器，在室温条件下无需接触皮肤即可直接捕获人体心脏的生物磁信号^[10]。该技术摆脱了超导量子干涉仪（SQUID）对昂贵液氦低温系统的刚性依赖，亦无需光泵磁力仪的高温加热腔体，在常温无接触环境下跨过了皮特斯拉级微弱生物磁探测门槛^[10]。格局上，这为便携式心脑磁成像设备走出医院屏蔽室、进入日常体检与车载

监护铺平了技术路径，直接对标传统心电与磁共振监测设备生态^[10]。

布里斯托大学团队在单颗硅基芯片上分发纠缠光，实现超越常规散粒噪声极限（标准量子测量精度下限）0.15分贝的紧凑精密测量^[17]。该进展克服了传统宏观光学干涉仪因环境震动导致的相干失步问题，将高信噪比亚散粒噪声测量压缩至芯片尺度，直接利好小型化片上量子陀螺仪与光学计量仪器的量产^[17]。

在自旋系综测量方面，研究人员将金刚石自旋系综的读出保真度提升近10倍，直接观测到了金刚石自旋中的量子投影噪声（量子态测量坍缩引发的固有统计涨落）剪切效应^[24]。该发现揭示了原子固有相互作用对噪声分布的定向塑形机理，使高灵敏度探针研发从被动滤波转向主动利用量子关联增敏，推进了单分子磁共振成像与微纳无损探伤的技术边界^[24]。

在跨频段量子互连方面，纽约市立大学物理学家利用层状二维半导体内部的磁振子（自旋波量子化单元）与激子（电子-空穴对束缚态）耦合，实现将微波信号转换为光波信号的固态材料平台^[6]。该器件搭建了工作在超低温微波频段的超导量子比特与室温长途通信光纤之间的转换桥梁，为分布式超导量子数据中心集群的广域互联奠定了物理接口基础^[6]。

算法与软件



研究团队借助施里弗-沃尔夫变换（微扰消除高能电荷跃迁的代数方法）生成的有效相互作用，成功将 10×10 二维晶格强关联电子材料精确模拟的电路复杂度压缩至约 10^5 个T门（非克利福德逻辑门，容错计算中开销最高的逻辑门）^[26]。对比此前模拟100个格点费米-哈伯德模型通常需要 10^7 至 10^9 个T门开销的理论方案，该成果将逻辑门消耗直接削减了2至4个数量级^[26]。对标容错能力基线：目前全行业逻辑比特操作深度仍处于 10^1 至 10^2 量级， 10^5 门虽尚未能在近期物理器件上全量执行，但已将强关联体系仿真从万比特远景推进至数百逻辑比特早期容错机的承载范围。格局上，该算法跨越性缩短了高温超导机理分析与电化学催化剂计算的工业等待期，为能源与材料巨头布局量子化学应用提供了时间表依据^[26]。

伦敦证券交易所集团（LSEG）与微软量子团队展开联合实测，针对高维金融数据集评测微软量子开发套件（QDK），首批重点验证量子张量主成分分析（降维提取高维高噪弱信号的特征提取算法）^[16]。该算法利用张量收缩与量子态振幅放大，在不破坏底层隐变量结构的前提下，从极度嘈杂的市场行情

与交易流水中提取弱相关模式^[16]。格局上，全球主流金融基础设施运营商对量子算法工具链的直接测试，确立了金融量化分析从经典统计学向张量网络计算迁移的标准参照系，影响金融风控系统架构演进^[16]。

容错超导猫量子比特（利用非线性振荡器自发抑制位翻转的超导比特）研发商Alice & Bob宣布与法国原子能与替代能源委员会（CEA）建立研究合作，推进其量子软件栈与混合量子-超算（HPC）中心的深度融合，并主攻凝聚态物理仿真用例开发^[43]。该合作推动了专用非对称纠错编译器向欧洲算力中枢的集成，强化了欧洲在自主可控混合量子超算体系上的生态主导权^[43]。

04 产业

产业与生态



美国能源部（DOE）宣布启动“量子创世纪Q竞赛”（Quantum Genesis Q Competition），计划提供高达2.15亿美元的资助，用于研发全球首批具备科学实用价值的容错量子计算机（SRQC）^[14]。资助方案要求竞标系统必须搭载至少100个逻辑

辑量子比特，且能够执行数亿次容错门操作^[14]。对标当前硬件SOTA水平：全球已公开验证逻辑比特纪录为QuEra的中性原子96个逻辑比特（检错级）与Quantinuum的离子阱48个逻辑比特（全纠错级），而门操作深度普遍未跨过千门门槛；能源部此项招标将“可用算力”的验收标准推高至行业此前测试值的数万倍以上。商业格局上，该项目为全美整机厂商划定了从物理比特过渡至深层容错逻辑操作的强制指标线，2.15亿美元定向注资将加速向QuEra、Quantinuum、IBM、谷歌等头部阵营汇聚，促使中游硬件公司加速工程分化^[14]。

中性原子整机领军企业帕斯卡尔（Pasqal，股票代码：PSQL）于北京时间2026年9月18日凌晨敲响纳斯达克收盘钟，庆祝其公开发行上市^[15]。这是继离子阱路线的IonQ及超导路线的Rigetti之后，全球首个成功登陆美股公开市场的中性原子量子整机企业^[15]。商业层面上，该上市事件确立了中性原子赛道在二级市场的公开估值锚点，打通了从风险资本向公共资本退出的闭环通道，募集资金将直接用于百比特级至千比特级商用硬件交付，全面加剧其与超导、离子阱阵营争夺金融、化学及能源行业企业级订阅客户的竞争态势^[15]。

加拿大商业发展银行（BDC）在2026年加拿大投资峰会上宣布，在其总额60亿加元的国防平台项下设立10亿加元专项资本配置，重点注资量子计算与深科技生态^[12]。该举措包含向BDC国防基金注资5亿加元用于风投及私募股权基金间接跟投，并向早期直投基金StrongNorth追加注资2亿加元（使其总额扩至5亿加元）^[12]。这体现了主权资本以国家安全与国防自主名义加码战略技术储备的确定性趋势，

为加拿大本土量子软硬件产业链（如Xanadu、D-Wave等）提供了稳固的长期非稀释性资本兜底^[12]。

离子阱全栈厂商IonQ与半导体电子设计自动化（EDA）巨头新思科技（Synopsys）公布联合研发成果，证实将量子算法嵌入工业设计软件后，能够使复杂工程仿真效率提升最高14.6%^[37]。该成果给出了混合算力在主流工业软件中产生确定性经济效益的量化实证，打破了量子计算仅能解决非实际抽象数学问题的资本疑虑，开启了工业软件巨头采购量子算力接口的商业化先例^[37]。

美国稀土公司（USA Rare Earth）、帕斯卡尔以及工业计算化学软件商Riven Systems达成战略合作，联合测试基于量子机器学习的高难度稀土元素萃取分离工艺^[41]。该合作针对重稀土高能耗、高物耗的传统分离壁垒，探索利用中性原子处理器进行多组分反应动力学精确建模，将量子算力与战略关键矿产供应链安全紧密绑定^[41]。

英国量子纠错软硬件开发商Riverlane宣布在美国马里兰大学附近的探索区（Discovery District）设立美国总部^[42]。依托毗邻马里兰大学量子生态圈与联邦研究机构的区位优势，Riverlane旨在就近争取美国国防部与能源部在实时解码芯片领域的大额采购订单，加速其纠错控制芯片的北美商业布局^[42]。

芬兰超导整机商IQM与巴西埃尔多拉多研究所（Eldorado Institute）正式签署商业采购协议，计划于2027年第一季度向其交付一台IQM Spark量子计算机，并提供欧洲54比特云端系统的远程访问权限^{[25][44]}。这是南美洲机构首次采购商业量子计算

机硬件，标志着欧洲量子初创企业在新兴国家科研基建市场的地缘版图拓展^{[25] [44]}。

美国国家科学基金会（NSF，出资500万美元）与英国研究与创新署（UKRI，出资370万英镑）共同出资1000万美元，联合资助8支跨大西洋研究团队开展分子量子信息科学攻坚^[13]。该基金聚焦在复杂分子架构中精确合成并操纵量子态的化学前沿，深化了美英双边在底层量子化学机理层面的科研同盟^[13]。

企业级数字安全方案商Sectigo正式推出Sectigo Quantum Ready端到端方案，为跨国企业提供全域密码资产发现、后量子密码（PQC）暴露面风险评测及分步迁移规划工具^[40]。这标志着PQC从标准化讨论迈入企业IT合规治理与常态化采购阶段^[40]。此外，纳斯达克上市公司Quantum X Labs（股票代码：QXL）亦宣布启动QuantumQ多维网络安全防御架构开发计划^[39]。

05 学术

学术前沿

斯坦福大学研究团队在超导微波电路耦合的微纳机械谐振器中，首次实现了对声子（晶格振动能量量子化单元）量子跃迁的实时直接观测^[8]。实验通过超快微波光子控制与单量子敏感度读出，在毫秒时间尺度上捕获到了离散声子态的随机量子跳变，越过了宏观热扰动对微弱机械量子相干态的淹没界限^[8]。该成果完成了百余年前量子理论建立时针对机械声学量子态提出的核心猜想，为开发基于声表面

波长寿命相干振动的片上量子存储器提供了物理验证依据^[8]。

在基础物理检验领域，地下超低辐射本底实验室的精密探测实验公布结果，直接排除了主流的迪奥西-彭罗斯（Diósi-Penrose）引力诱导量子退相干理论模型^[7]。该假说曾主张微观重力涨落是导致宏观叠加态（如薛定谔猫态）不可逆坍缩的客观根源；地下高屏蔽实验在极低干扰环境下对特定能段的自发辐射进行了全谱搜寻，完全否决了该模型的理论预言参数区间^[7]。该结论排除了引力波动破坏宏观量子体系的理论担忧，证实当前能标下量子相干原理向更大质量物体推进仍具备物理成立性^[7]。

美国劳伦斯伯克利国家实验室团队结合自研理论模拟工具与高分辨率电子显微成像，在先进半导体器件中直接观察到晶格缺陷锁定电子形成稳定维格纳晶体（电子因强库仑排斥冻结而成的规则固态晶格）的微观过程^[5]。该研究在亚纳米尺度解析了低维强关联电子相被特定点缺陷捕获的机制，为基于低维半导体量子点阵列构建抗扰拓扑相态器件提供了基础物理支撑^[5]。

今日影响



- **电信运营商与网络基础设施厂商**：在40公里承载10Gbps商用流量的光纤上实现5节点量子纠缠交换^[20]，证明量子保密通信与分布式量子网络建设无需开挖路面铺设专用暗光纤，骨干与城域网部署成本降低一个数量级；下一步盯紧密集波分复用（DWDM）多信道环境下的信道间串扰控制与微秒级中继效率。
- **超导量子硬件制造商与纠错软件开发团队**：非正方拓扑的IBM苍鹭芯片在重六角格上实现表面码纠错门限以下运行^[22]，打破了容错算法必须依赖对称正方物理网格的设计教条；下一步盯紧逻辑与物理比特比例的压缩，以及毫秒级向微秒级转化的综合征实时解码芯片。
- **工业EDA芯片设计与制造企业**：新思科技与IonQ将工业工程仿真效率实测提升最高14.6%^[37]，开创了量子算法在主流半导体微电子与结构仿真流程中产生定量效益的落地先例；下一步盯紧混合量子算法向百亿门级超大规模集成电路时序分析与多物理场流体计算的进一步迁移。
- **医疗器械与无创诊断设备商**：常温非接触金刚石传感器测出人体生物磁活动^[10]，使极微弱心磁

测量彻底摆脱液氦深低温与高温加热屏蔽舱的物理束缚；下一步盯紧微型阵列探头在复杂电磁环境下的信噪比抗扰性，以及向脑磁图（MEG）微弱神经信号捕捉的平移推进。

——**量子计算整机初创企业与机构投资者**：美能源部2.15亿美元招标硬性锚定100个逻辑比特与数亿次容错门操作^[14]，叠加中性原子龙头帕斯卡尔挂牌纳斯达克^[15]，重构了资本市场与政府采购的估值体系；下一步紧盯各大整机厂商在2027年前针对真实逻辑比特深度与主动纠错闭环的第三方基准对标。

07 编辑

编辑点评

量子计算产业的衡量标尺正在发生不可逆转的范式转移。长期以来充斥产业叙事的“物理比特数大跃进”，在此次美能源部公布的2.15亿美元竞赛方案中被彻底降维——官方招标首次明确以“100个逻辑比特”与“数亿次容错门深度”作为合格准入底线。与这一趋势共振的是，无论是在不规则重六角格超导芯片上强行跨过表面码纠错门限，还是将材料强关联仿真的T门开销直接打掉数个数量级，技术演进的重心已全面从易受噪声侵蚀的裸物理比特转移至深层容错逻辑操作。缺乏检错纠错能力、无法支撑百门以上逻辑深度的堆叠方案，在政府战略采购与公开资本市场面前正在迅速失去定价溢价。

与此同时，前沿量子技术正以高度务实的工程哲学加速渗透传统工业与商业底座。它不再谋求颠覆或

替代现有基础设施，而是学会了“与成熟体系共存”：在信息网络中，纠缠光子能够与10Gbps的繁忙数据业务在同一根通信光纤中共存；在芯片研发流程中，量子算法作为底层插件为新思科技等EDA巨头提供两位数的效率加速；在医疗感知中，金刚石NV探针告别深冷设备，以常温非接触形式切入生理体检。这种寄生于现有庞大工业体系、用即插即用方式提供边际超额算力与感知增益的工程路线，正在取代激进的真空颠覆论，成为未来三到五年主导量子商业化落地的确定性主线。

参考资料

[1] Centralized Data Centers May Cripple America	observed for first time
[2] Why Oxford Is One of the World's Most Important Quantum Hubs	[9] New benchmark puts quantum computers to the test and reveals their limitations
[3] Market "Pull" for Quantum Finance	[10] Diamond quantum sensors can detect heart magnetism at room temperature without skin contact
[4] Quantum computing is like a superhero, but	[11] PhD position in quantum networks at QuTech, TU Delft (Netherlands)
[5] Close-up images show defects locking electrons into stable Wigner solids	[12] Oracle Launches Java 27 Featuring Hybrid Post-Quantum Cryptography for TLS 1.3
[6] A new bridge for quantum networks: Physicists convert microwaves to light using 2D magnets	[13] QuTech Spinout Q*Bird Rebrands to Falqon Systems to Commercialize Quantum Secure Networks
[7] What kills Schrödinger's cat? Underground experiment rules out gravity model for quantum decoherence	
[8] Real-time quantum jump in sound	

- [14] BDC Deploys \$1 Billion Under Sovereign Defence Platform to Capitalize Quantum and Deep-Tech Ecosystems
- [15] NSF and UKRI Commit \$10 Million in Joint Funding for Molecular Quantum Information Science
- [16] Casper College Awarded \$444,000 NSF Grant to Build Statewide Quantum Workforce Pipeline
- [17] Matter Venture Partners secures \$450 million for HardTech startups
- [18] DOE Puts Up \$215 Million Competition to Build Fault-Tolerant Quantum Computers
- [19] Neutral-atom quantum firm Pasqal Will Ring Closing Bell On Pasqal on 17th September
- [20] LSEG and Microsoft Quantum test new data analysis with Quantum Development Kit
- [21] University of Stuttgart sets three quantum physics world records
- [22] Bristol Chip Uses Entangled Light to Beat Shot-Noise Limit for Compact Sensors
- [23] Researchers Attain 99% Indistinguishable Photons from Chips
- [24] Researchers Build Nonlocal Links with Rydberg Atom Bus
- [25] Researchers Swap Entanglement across 40km Fibre with Live Data
- [26] Researchers Accelerate State Transfer by 11.8 Times
- [27] USC and Quantum Elements scale surface code on IBM Heron chips
- [28] Researchers Extend Silicon Qubit Coherence to 67 Microseconds
- [29] Researchers Measure Sheared Quantum Noise in Diamond Spins
- [30] IQM Quantum delivers 54-qubit quantum system to Brazil' s Eldorado Institute
- [31] Researchers Build Quantum Circuits Costing 10^5 T Gates
- [32] Human brain organoid transplants mesh with mouse brains, forming active neural circuits
- [33] See the first new species of cat discovered in more than a century—it' s adorable
- [34] North Korea' s nuclear tests have turned this mountain into an earthquake hot spot
- [35] What your dog really thinks about you
- [36] Can independent AI auditors keep up with frontier AI development?
- [37] What eyewitness accounts tell us about the science of memory
- [38] OpenAI cracks the hidden math that keeps your texts from turning to gibberish

- | | | |
|------|---|---|
| [39] | AI labs are claiming “AGI” is imminent—but does that mean what we think it means? | Enterprise PQC Readiness |
| [40] | TQI and Tesseract Quantum Partner for The Quantum Kid | [46] USA Rare Earth, Pasqal and Riven Test Quantum Machine Learning for Rare Earth Separation |
| [41] | Guest Post: Why AI Agent Identities Need Post-Quantum Cryptography | [47] OQC And Trust Base Study Helps Map The Path to Quantum Advantage in Finance |
| [42] | IonQ and Synopsys Report Up to 14.6% Faster Engineering Simulations | [48] Riverlane Establishes U.S. Headquarters in Maryland to Accelerate Quantum Computing Innovation |
| [43] | NLM Photonics and LIGENEC Demonstrate Silicon Nitride Organic Hybrid Modulators | [49] Alice & Bob Partners With The CEA to Accelerate Quantum-HPC Integration And Industrial Use Cases |
| [44] | Quantum X Labs Launches QuantumQ Security Program for Quantum Cybersecurity | [50] IQM to Deliver First South America Quantum Computer to Eldorado |
| [45] | Sectigo Launches Quantum Ready for | [51] The Qubit Report: September 16, 2026 |

量子研究内参

全部期数 · 周刊深度解析 · 每日快报 → qbitbrief.com

FOR RESEARCH REFERENCE ONLY

配图源自所引论文与新闻稿；如引用不规范，请联系编辑部删除。