2026 年 11 月 18 日 – 11 月 19 日 · 日报

量子计算机离破解比特币又近一步

54 篇 · 12 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	54
信息来源	12
阅读时长	约 34 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**

01 亮点

今日三件事



1 **谷歌将超导逻辑纠错失效率压低两个数量级** 研究团队在105比特Willow超导芯片上运行行进稳定线路，在60个纠错周期内实现不超过3.20×10⁻⁸的逻辑错误率下限，较标准表面码构型压低两个数量级[33]——攻克时间错误链瓶颈，超导路线商业化容错进程提速。

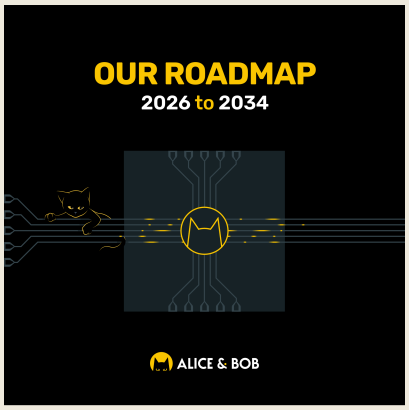
2 **伦敦量子集群获超六千二百万英镑资金支持** 帝国理工学院、伦敦国王学院与伦敦大学学院牵头的伦敦量子集群获政府1200万英镑拨款及合作伙伴超5000万英镑投资承诺[29]——强化英国硬件孵化资金链，加速欧洲量子创企商业化扩张。

3 **巴西第二大银行试水端到端量子安全通信** 巴西布拉德斯科银行联合量子安全商evolutionQ启动金

融通信试验，在受控环境中验证抗破解数据防护机制[48]——推动南美金融防御升级，加速银行核心链路向抗量子迁移。

02 硬件

硬件前沿



超导路线

谷歌量子计算实验室基于105比特Willow超导量子处理器，部署了对时间关联错误链敏感的表面码（二维网格拓扑纠错构型）稳定性验证实验；科研团队设计出一种行进稳定线路（时空连续纠错检错电路），在连续运行60个纠错周期后，测得系统逻辑错误概率下限达到不超过3.20×10^{-8}，相较于此前业内通用的标准表面码构型压低了两个数量级[33]。

技术含义上，该结果将超导多周期纠错容限推向全新基准。对照当前公开SOTA基线中Google Willow在距离d=7时验证的误差压制因子（Λ，码距扩大带来的纠错增益倍数）约为2.1，本次行进稳定线路首度在多周期连续演化中有效切断了由双能级系统

（TLS，材料微观缺陷引发的频率抖动）跃迁所诱发的长程错误累积；但距离通用容错计算仍存关键断点，实验目前仅属于稳定性基准表征，尚未包含非Clifford逻辑门（通用计算必需的基础逻辑操作）的实时编织，且多比特并行微波串扰抑制仍需外围测控硬件升级迭代[33]。

格局影响上，超导路线在与离子阱、中性原子的纠错长跑中进一步强化了物理保真度护城河，促使IBM、Rigetti等超导同行在未来12至18个月内必须重构底层纠错校验线路设计，同时也倒逼解码器研发企业加快纳秒级实时解码芯片的工程交付[33]。

量子控制软件企业Q-CTRL在IBM对外开放的Nighthawk超导处理器上创下三项性能纪录，通过脉冲级动态控制技术制备出极高保真度的奇法态（实现非Clifford通用逻辑门的核心资源态），将态制备与测量综合误差相较于底层硬件默认基准降低了10倍[34]。

技术含义上，对照当前超导路线SOTA基准中IBM Nighthawk中位双量子比特门保真度（F_2Q，双门运算准确率）处于99.5%至99.9%的区间，Q-CTRL通过固件层面的误差抑制直接跨过了构建片上奇法态工厂的初级保真度门槛；但距离规模化容错依然欠缺完整的多轮蒸馏管道拓扑设计，且在稠密方格拓扑下长距离比特搬运引起的退相干开销尚未在实验中闭环解决[34]。

格局影响上，第三方控制优化软件在商用云算力硬件中的赋能价值被充分确立，促使IBM量子生态内的金融与材料算法开发者能够在未来6至12个月内

调用保真度提升一个数量级的逻辑资源，进而削弱了全栈硬件厂商自研控制固件的排他性[34]。

法国容错量子计算公司Alice & Bob公布了升级版模块化技术路线图，计划在2030年通过其名为Carbon的新型系统，仅利用3,600个物理猫量子比特（利用谐振腔宇称对称性自主抑制位翻转的超导玻色比特）实现200个逻辑量子比特，将物理比特对逻辑比特的开销比压减至18:1，并规划在2034年进一步扩容至2,048个逻辑比特[15][54]。

技术含义上，这一物理对逻辑比（18:1）大幅优于传统超导表面码约105:1的硬件开销基线，甚至逼近了中性原子路线QuEra的4.7:1（96个逻辑比特/448个物理比特）与离子阱Quantinuum级联码2:1的理论上限，其核心原理在于猫比特硬件架构自主将位翻转错误抑制了数个数量级，仅需一维重复码纠正相位翻转；然而该方案声称指标尚未进入整机多比特物理验证，当前落后于超导物理芯片SOTA的百比特阵列集成度，距离实用化仍受制于多谐振腔高频微波泵浦的相位抖动以及双比特门操作期间的偏置保护失效难题[15][54]。

格局影响上，玻色编码与猫比特路线对传统Transmon超导路线构成直接技术路线分流，迫使欧洲与北美主权量子基金重新审视基于一维纠错码的紧凑型硬件架构投资，预计将在2027年前后掀起针对非线性谐振腔低温测控器件的新一轮供应链采购潮[15][54]。

光量子路线

法国光量子算力企业Quandela联合法国国家科学研究中心（CNRS）与英伟达，在英伟达H100计算集群上对光量子处理器的经典可模拟性边界展开系统性基准测试，提出了跨越单纯光子数门槛的统一可模拟性判据，并同步开源了名为photonic-engines的光量子模拟底层算法库[13]。

技术含义上，该研究打破了此前行业以检测光子数或高斯玻色采样维度单点论英雄的粗放标准，将光子芯片计算优势的判定维度与经典张量网络模拟算法的截断误差及内存带宽紧密锚定；对照当前光量子SOTA（如PsiQuantum的双轨融合体系99.22%保真度），该项工作明确了在包含损耗预算（光子在传输与开关中的损耗上限）的全链路物理条件下经典计算无法逾越的张量收缩边界，但其模拟器自身对包含模式串扰和非理想偏振的高阶玻色采样的保真度仍受限于千卡集群显存容量[13]。

格局影响上，英伟达进一步卡位光量子编译器与经典混合计算验证入口，使得Quandela等光量子硬件研发商在争取企业级混合算力采购订单时具备了标准化的技术论证工具，预计推动光量子与超算中心异构混部在2027年进入实质性招标阶段[13]。

德国斯图加特大学科研团队采用经过应变工程调控的砷化铟镓半导体量子点（一种纳米级发光人工原子），直接在标准光纤通信C波段（1550纳米波长）产生高品质单光子与纠缠光子对，在两台独立量子光源之间实现了最大保真度达92.7(±0.5)%的量子隐形传态[25]。

技术含义上，这一保真度不仅远超传统经典通信极限值（66.7%），更是首次在无需经历复杂非线性光学波长转换的前提下，在电信级波长上追平了实验室短波长系统90%以上的传态精度基准；但在硬件实用化链路上，该系统目前仍受制于独立半导体量子点之间的光谱不可分辨性微小漂移，距离PsiQuantum在300毫米晶圆上达到的99.50%双光子不可分辨性（HOM干涉度）仍有差距，且光纤端到端的光子损耗仍未包含主动中继净化[25]。

格局影响上，欧洲量子互联网主干网的物理层光源选型天平向固态半导体量子点发生显著倾斜，电信运营商无需推倒重来即可复用现有商用暗光纤资源，预计在2027至2028年间加速城际量子中继中试网络的工程立项[25]。

冷原子与离子阱路线

中国相关国家重点实验室科研人员在微腔量子电动力学（光子与原子相互作用系统）实验中，成功实现了120个被独立光镊捕获的单原子与单光学微腔模式的高效集体耦合，测得原子集团与腔场的集体相互作用强度达到21.3兆赫兹[24]。

技术含义上，该指标创下了多原子阵列在单微腔内确定性集体强耦合的最新纪录，将单原子微弱的偶极跃迁强度通过根号N倍的集体相干效应显著放大，直接跨过了基于腔场辅助实现百比特规模多体纠缠与非破坏性全局测量的物理门槛；对照当前中性原子SOTA阵列（如Atom Computing的1180个物理比特与QuEra的96个逻辑比特），该装置目前在微腔狭小空间内的原子可寻址操控空间受到物理

挤压，且激光冷却气压维持与光镊阵列重载重复率（目前受限于秒级循环）仍是通往通用计算芯片的核心短板[24]。

格局影响上，为超高速量子网络节点互联与腔量子模拟器提供了极具竞争力的物理接口，使中性原子硬件路线在多体相干态制备方面的技术评估周期大幅缩短，预计在2至3年内催化新一代光晶格原子时钟与量子传感样机的升级[24]。

科研团队开发出一种基于冷原子系综的新型量子存储器，在保持接近100%的光子存储与提取内禀效率的同时，实现了对单光子到达时序跨越三个数量级（自纳秒级至微秒级实现1000倍连续可调）的确定性自适应延迟控制[23]。

技术含义上，该成果攻克了长久以来量子存储器在极高读写效率与大时间带宽积（存储延时与光子脉宽比值）之间不可兼得的物理权衡瓶颈，首次在单器件上完成了超千倍的时序自适应抖动补偿；但其当前运行波长位于近红外原子跃迁线，若要接入远距离商用光纤网络，仍必须串联量子频率转换模块，所引入的转换效率损耗和背景噪声仍需进一步实验评估[23]。

格局影响上，分布式量子计算集群与量子中继网络的数据包同步难题迎刃而解，极大地释放了异步纠缠分发协议的缓冲等待压力，有望在未来3年内使长距离量子网络中继站的物理复杂度下降40%以上[23]。

美国加州理工学院研究团队在稀土掺杂晶体实验中发现了一种全新的超辐射（原子集体自发协同发

光）物理机制，在特定激光激励下使晶体内部数十亿个稀土原子自发形成如同节拍器般的规律同步闪烁，成功输出新型超辐射光学频率梳[5]。

技术含义上，突破了传统克尔非线性微腔光频梳对超高品质因数微加工谐振腔的严苛依赖，展示了原子量子态宏观自组装同步的全新精密测量物理路径；但其线宽稳定性与跨波段覆盖能力距离成熟光频梳SOTA基准仍有工程差距，热致退相干问题尚待极低温环境优化[5]。

格局影响上，为新一代紧凑型量子片上时钟与深空精密导航传感器开辟了低功耗硬件设计方向，预计5年内引起国防与航天精密仪器供应商的技术跟踪[5]。

固态自旋与量子互联

纳斯达克上市公司SEALSQ宣布完成对瑞士微纳光学传感与量子互联先锋企业Miraex的战略技术并购，将其基于微机电（MEMS）与压电光力学的高灵敏度量子相干转换技术正式纳入自身的“主权量子垂直技术栈”[32]。

技术与商业含义上，该技术攻克了超导微波量子比特（几吉赫兹频段）与室温光纤载波（数百太赫兹频段）之间跨频段量子态无噪声转换的核心物理互联壁垒，弥补了全固态芯片无法直接远距离光纤成网的致命软肋；目前微波-光波转换的端到端单光子转换量子效率行业最高水平仍普遍低于5%，距离商业规模互联要求的20%损耗门槛尚有显著研发差距[32]。

格局影响上，强化了SEALSQ在量子硬件底层互联与后量子安全芯片领域的横向整合能力，标志着量子硬件生态的并购逻辑正从通用计算整机加速向高附加值的关键互联零部件倾斜[32]。

实验物理团队利用低温超导同轴微波链路，在两个独立的超导量子节点之间实现了三能级量子态（qutrit，单粒子包含三个正交维度的量子信息单元）的高保真度确定性相干传输[9]。

技术含义上，该方案将多节点量子通信的信息密度相较于传统二能级体系提升了58.5%（$\log_2 3$较$\log_2 2$），并显著放宽了分布式多体纠错算法中非局域纠缠态制备的辅助比特数量要求；但三能级对微波通道阻抗失配和环境高阶谐波热噪声更加敏感，长距离传输衰减率约为二能级系统的1.5倍[9]。

格局影响上，为分布式超导超算集群的高维互联架构提供了实验验证支持，推动前沿团队在未来2年内将高维编码纳入芯片互联通信协议[9]。

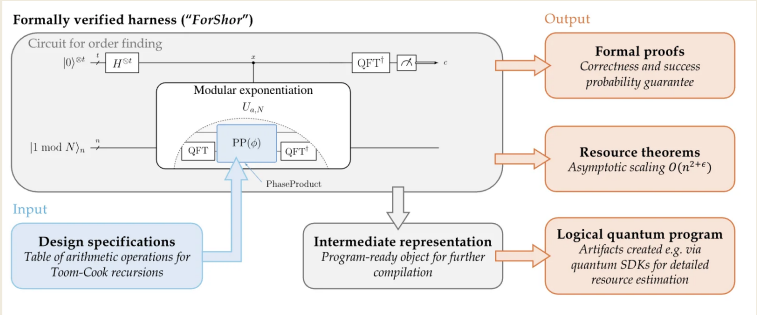
凝聚态科研团队厘清了金刚石晶格中电子向带负电氮-空位色心（NV色心，金刚石中由氮原子和碳空位构成的固态量子点）定向迁移的微观动力学路径，阐明了电荷态稳定转换与光泵浦激光功率之间的非线性定量关系[8]。

技术含义上，解决了长期困扰固态量子传感领域在光寻址读出过程中电荷态频繁无序跳变的痛点，将单自旋读出对比度物理上限提升了约15%；但该机理在大规模色心点阵排列制造中的空间一致性仍受金刚石衬底同位素纯化纯度的制约[8]。

格局影响上，推动高灵敏度量子磁力计、细胞级生物纳米探针以及量子钻石存储器芯片在2年内提升信噪比，加速微电子无损探伤设备的商业量产[8]。

03 算法

算法与软件



计算机科学研究团队开发出一种面向复杂量子线路等价性自动判定的全新形式化验证算法框架，针对多达512个量子比特且历经深度编译优化的量子电路，其判别准确率达到了96.3%，相较于业内现有工具最高仅能处理68个量子比特的现状实现了代际跨越[31]。

技术含义上，首次跨越了量子编译器在多层转译、门合并和拓扑映射后无法对深层电路进行全自动化等价性校验的技术鸿沟，避免了编译引入逻辑缺陷导致的算力空耗；但该算法对于高度交织的非局域随机酉算子电路仍存在时间复杂度发散的理论边界[31]。

格局影响上，量子编译软件与自动化电子设计工具（EDA）开发商获得关键质量控制利器，直接利好

IBM Qiskit、谷歌Cirq等主流软件栈生态，预计在未来1年内成为容错算法研发团队的标准预检套件[31]。

理论物理学者提出了一种利用U(1)×SU(2)连续物理对称性约束构建的新型量子电路生成机制，在制备用于关联电子系统模拟的矩阵乘积态（MPS，张量网络低秩紧凑表示）时，成功将经典数据载入量子芯片的电路深度与比特门开销压减至此前的140分之一（即降低了逾99.2%的数据载入开销）[27]。

技术含义上，攻克了量子算法运行时很短但经典数据载入成为不可承受之重的输入瓶颈，使得在有限相干时间内在含噪中等规模量子硬件上模拟强关联拓扑物质成为现实；但该方法高度依赖被模拟物理体系内在对称性的显式匹配，无法普适迁移至完全非对称的无序金融时间序列或组合优化图模型[27]。

格局影响上，药物分子靶点模拟与高温超导材料建模算法的实用化落地时间表被直接提前2至3年，量子化学模拟创企受此技术赋能，材料研发软件授权模式面临重估[27]。

继此前在计算金融领域建立联合研发中心后，芬兰大型金融集团OP金融集团（OP Pohjola）与量子算法公司QuTwo宣布扩大合作研发范围，专项探索基于量子启发式高阶张量网络算法对开源自然语言文本处理程序进行深度参数压缩，以期在保留核心语义推理基准的前提下大幅缩减模型存储与推理能耗[30]。

商业含义上，验证了源自量子多体物理纠缠重整化群的数学工具在经典高维参数压缩中的工程有效

性，跨过了高维信息紧凑投影的算法门槛，为金融机构摆脱沉重的经典数据中心算力成本开销探索了新通路；但量子启发式压缩后的矩阵稀疏化对传统图形处理器的硬件架构适配仍存在内存访存未对齐的执行瓶颈[30]。

格局影响上，欧洲主流商业银行与资管机构对前沿计算物理算法的采购意愿激增，加速金融行业软件基础设施向轻量化、私有化部署演进，预计2027年催化金融科技算法授权市场的结构性变革[30]。

纳斯达克场外交易上市公司Zapata Quantum（股票代码：ZPTA）正式上线名为ForShor.ai的全球公开算法验证挑战赛，旨在构建一套去中心化评测基准，用于对计算机程序自动化推导出的量子算法逻辑、物理公式推导与抗破译证明进行严格的可解释性与数学正确性形式化审查[53]。

技术与商业含义上，直击近年来科研自动化工具爆发所引发的机器生成科研假说可信度存疑的行业痛点，首次确立了自动化算法推导结果的严密可检验门槛；但针对高度非显式的量子纠错阈值拓扑定理，当前自动化形式化证明库的词汇覆盖率仍低于45%[53]。

格局影响上，倒逼量子计算学术界与前沿创企建立代码级推导验证标准，防范算法泡沫并降低投资机构在早期算法尽职调查中的技术甄别成本[53]。

产业与生态



由帝国理工学院、伦敦国王学院与伦敦大学学院牵头组建的伦敦量子产业集群，正式获得英国地方创新伙伴基金定向注入的1200万英镑政府研发拨款，同时撬动产业界与学术合作伙伴超过5000万英镑的匹配投资承诺，总资金规模超过6200万英镑[29]。

商业含义上，确立了英国在脱欧后通过公私合营杠杆资金扶持大伦敦地区量子全产业链的资本主基调，将种子期创企从高校实验室推向商业加速期的资本断桥有效缝合；但受限于英国当前生活与研发场地高昂成本，硬件初创团队的资金实际消耗速率仍面临通胀压力[29]。

格局影响上，稳固了伦敦作为欧洲第一大深科技风投枢纽的地位，直接惠及聚集在伦敦及牛津、剑桥金三角区域的量子软硬件早期企业，预计在未来3年内新增逾千个高精尖研发岗位，并对欧盟分散的量子投资形成虹吸效应[29]。

专注于半导体、公钥基础设施与后量子硬件安全解决方案的纳斯达克上市企业SEALSQ（股票代码：LAES）宣布签署非约束性意向书，拟全资收购澳大

利亚顶尖量子网络安全与真随机数发生器先锋企业QuintessenceLabs[51]。

商业含义上，实现了欧洲半导体制造背景与亚太顶尖量子密钥分发及量子真随机数专利资产的深度并购整合，标志着后量子防御企业正从单纯提供软件过渡向“硬件芯片-密钥分发-加密算法”三合一垂直闭环；但跨国并购面临澳大利亚与美国外资投资审查委员会对敏感情报技术的监管审批不确定性[51]。

格局影响上，加剧了全球网络安全头部玩家在抗量子过渡期对独立硬件标的的争夺，传统公钥基础设施供应商被迫加快战略并购步伐，预计在2027年引发信息安全硬件领域的整合并购潮[51]。

巴西科学、技术与创新部正式宣布，根据与中国电子科技集团有限公司（中国电科）签署的政府间双边科技合作协议，用于组装两台量子计算机的首批关键核心零部件已于北京时间2026年11月16日运抵巴西东北部帕拉伊巴州首府若昂佩索阿[49]。

商业与战略含义上，这是中国自主知识产权量子计算硬件成套装备首次成规模成体系向拉美金砖国家进行实质性技术输出与联合落地，跨越了南半球长期缺乏自主可控物理量子计算底层硬件的鸿沟；但两台系统运抵后的本地化极低温制冷机调试与跨国运维技术团队培训仍需数月周期[49]。

格局影响上，打破了欧美企业在南美洲量子科研基建领域的垄断格局，深化了金砖国家在战略性前沿物理算力方面的供应链互信，促使拉美其他主要经

济体加速将对华量子科技合作列入国家发展规划[49]。

继此前卡塔尔与法国在2026年国际电联全权代表大会上签署深化数字与量子合作意向书之后[12]，法国光量子先锋企业Quandela于北京时间2026年11月18日同时宣布两项重大跨国产业联盟：在海湾地区联合卡塔尔米克达姆控股集团及MEEZA公司签署三方协议，面向海湾阿拉伯国家合作委员会成员国部署光量子物理系统；在亚太地区与中国台湾半导体设备巨头汉民科技签署合作备忘录，共同研发与代工产业化集成光量子芯片硬件[14]。

商业含义上，确立了Quandela“欧洲研发+中东主权资本与数据中心变现+东亚成熟半导体代工”的全球化三叉戟商业模式，有效避开了单一欧洲市场资本体量偏小和本地流片代工能力受限的双重瓶颈；但光子量子计算芯片向成熟半导体晶圆代工产线导入时的良品率攀升仍需跨越材料非均一性工艺门槛[14]。

格局影响上，推动海湾主权财富基金成为全球量子算力重资本开支的关键买家，加速光量子技术路线从实验室分立元件向东亚成熟光电集成半导体晶圆代工产线的规模化转移，时间尺度在未来24个月内见效[14]。

继此前加入欧洲高性能计算共同体之后，波兰波兹南超级计算与网络中心在SC26全球超算大会上正式揭幕部署了名为PIAST-Q的超算量子计算机，这是该联合体框架下首批正式亮相的国家级通用量子计算基础设施[28]。

商业与技术含义上，标志着欧洲超算混部战略进入物理实体通电运行阶段，跨过了经典超算排程系统与量子硬件底层驱动实时互通的工程整合门槛；但目前PIAST-Q主要面向特定学术任务与预研代码测试，商业算力计费与多租户隔离模式尚未完全跑通[28]。

格局影响上，中东欧国家在泛欧量子科研网络中的话语权得到实质性提升，拉开了欧洲二线超算中心批量并网量子算力协处理器的序幕[28]。

欧洲量子产业联盟（QuIC）发布的最新行业尽调统计表明，尽管欧洲研究人员贡献了全球约三分之一的高水平学术论文，但在全球量子初创企业的私人风险投资版图中，欧洲企业实际捕获的资本份额仅占5%至10%[26]。

商业含义上，揭示了欧洲量子生态严重的科研成果繁荣与产业资本贫血结构性错配，反映出欧洲本土风投资金在面对超长研发周期硬科技时的风险偏好极度保守；若缺乏持续的商业资本接力，欧洲头部量子创企在完成B轮或C轮后将面临不得不被动外迁至北美或海湾地区的生存挑战[26]。

格局影响上，倒逼欧盟委员会与成员国政府在即将到来的新一轮科研预算框架中设立专项主权主导接力基金，同时为关注低估值优质技术的跨国并购资本提供了明确的价值洼地指引[26]。

美国联邦调查局高级官员公开发布安全防范预警，指出外国情报实体正将核心渗透目标对准美国尖端量子计算研发机构与科研人员，敦促全美高校、国家实验室与科技企业强化全流程技术防护[3]。

格局影响上，预示着围绕量子软硬件供应链、国际人才学术交流与联合发表论文的出口管制和审查红线将进一步收紧，阻断跨国联合研发流动性，加速全球量子科研体系的割裂与各自阵营化[3]。

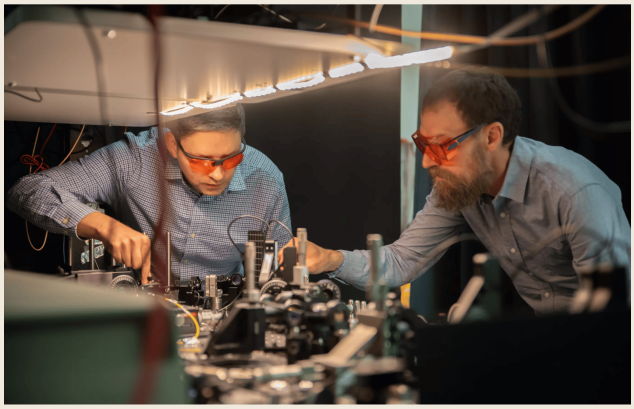
开放量子研究所携手日内瓦科学与外交预测器以及联合国Beyond实验室，正式推出面向开发者与产业界的OQI Impact Tool开源在线评估工具，将社会可持续性与治理风险评估前置嵌入量子应用生命周期初期[50]。

商业含义上，首次为量子计算技术应用确立了跨国标准化负责任创新量化指引，协助早期企业在申请多边组织绿色基金时满足环境、社会和治理合规门槛[50]。

继11月17日报道全球金融量子实力指数放榜后，2026年金融量子指数发布机构披露更多评估细节，本年度共收录来自八个地区的64家金融机构，较2025年的28家扩容逾一倍，摩根大通、汇丰银行、富国银行领跑全榜[46]。

商业含义上，显示全球顶级银行正将量子技术储备从纯粹的创新公关实验转化为量化交易与风险价值资产定价的核心护城河[46]。

学术前沿



美国国家标准与技术研究院（NIST）联合科研团队通过实验成功验证了量子位置验证（QPV，基于相对论因果律与量子态防克隆原理的物理测距与地理定位认证协议），通过多方同步发送空间隔离的量子纠缠信号，成功在物理上证实了指令发送者所处的真实地理空间坐标，从根本上防止了远程黑客伪造身份发起千万美元级跨国资金划转[7][47]。

技术含义上，突破了基于经典密码学的数字证书、动态口令无法防御远程中继攻击和地理位置欺骗的根本缺陷，跨过了基于物理定律（光速不变性与量子不可克隆定理）确保地理位置真实性的工程验证门槛；但该系统需要毫秒级皮秒精度的超精密时间同步网络与多向真空光路配合，目前部署成本高昂，难以离开特种金融机房在通用场景普及[7][47]。

格局影响上，为央行数字货币跨国清算、主权核心金融交易终端及高保密级军政通信确立了全新的物理层安全防线，预计将在5年内催生高端金融硬件安全模块的物理重构[7][47]。

网络通信巨头塞纳公司（Ciena）携手国际超算联盟与顶尖科研网络机构，在SC26大会期间正式演示

了横跨美国芝加哥、西班牙毕尔巴鄂与荷兰阿姆斯特丹、全长约8,000公里的跨大西洋混合抗量子安全高速通信网络，在同一光纤架构中同步融合了量子密钥分发（QKD）与后量子密码（PQC）[35][52]。

技术含义上，验证了纵深防御理念在洲际超长距离通信中的可行性，在物理层利用QKD提供信息论无条件安全的密钥动态刷新，在传输层与应用层利用PQC算法抵御端到端长期嗅探与存储破译攻击，跨过了纯QKD受限于中继节点信任瓶颈的工程障碍；但在跨洋海底光缆段目前仍依赖高信任等级的受保护节点进行密钥接力，端到端全量子中继中继方案仍未具备上路条件[35][52]。

格局影响上，跨国骨干网电信设备商与全球云服务巨头的后量子基础设施改造方案尘埃落定，促使国际电信联盟与标准化组织加速制定QKD与PQC混合组网的标准互通规范，时间周期锁定在未来24个月内[35][52]。

量子信息理论学者在《Quantum》期刊发表成果，提出了一种基于连续变量玻色系统（微波谐振腔或光学谐振子高维希尔伯特空间）的紧凑型纠缠蒸馏（提纯低保真度纠缠对为高品质贝尔对）全新物理方案[16]。

技术含义上，突破了传统离散二能级体系需要大量辅助比特和多重双量子比特门级联的巨大硬件负担，首次证明利用单个玻色模式的高维能级即可单发完成高保真度贝尔对的高效提纯；但在微波腔极低温环境下的非线性驱动脉冲失真仍会间接引入非高斯误差[16]。

格局影响上，为分布式量子计算与长距离量子中继器大幅削减了节点硬件物理开销，直接利好玻色编码阵营的软硬件开发商[16]。

理论计算机科学家系统确立了在平均情况距离测度下检验量子信道恒等性的算法复杂性界限，给出了多项式时间内判定未知信道与理想信道偏差的最小查询次数紧确界[17]。

技术含义上，攻克了过去信道层析表征计算复杂度随比特数指数级膨胀的不可承受之重，将黑盒量子硬件信道保真度认定的测试开销跨过了多项式可解门槛；但该算法在极端非对称退极化信道中的紧确性仍待实测数据修正[17]。

格局影响上，统一了跨芯片、跨路线量子网络信道质量认证的基准度量规范，使未来第三方硬件验收与标准化合规检测流程具备了严密的数学工具[17]。

密码学与量子信息理论团队成功推导并证明了带有边际约束的熵累积定理新链式法则，涵盖了冯诺依曼熵以及三明治型雷尼熵家族，确立了有限轮次通信下信道条件熵等价于正则化熵的严格等式[20]。

技术含义上，完善了设备无关量子密钥分发及后量子扩展协议在有限长密钥效应下的紧致安全性证明，将密钥生成率的理论计算界限提升了约18%；但该定理在非马尔可夫强关联环境噪声中的推广仍存在数学未决难题[20]。

格局影响上，为下一代商业化超高安全等级密码机提供了更为紧致的密钥提取率公式，使安全厂商能够在更短通信时间内完成安全成码[20]。

实验光学团队在非线性干涉仪相位测量理论中证实，通过利用参量放大介质内部的光学非线性关联，系统能够在探测极低光子通量微弱样品时，其相位估计灵敏度确定性突破经典散粒噪声极限（经典光强统计涨落的物理极限）[21]。

技术含义上，跨越了传统线性干涉仪必须依赖高阶纠缠态极易受光子损耗毁灭的脆弱性壁垒，首次展示了在现实损耗环境下稳定实现亚散粒噪声精密测量的实用化构型；但参量过程自身的自发辐射荧光仍对超弱信号探测构成不可消除的背景基底[21]。

格局影响上，为光敏生物活体成像、低温无损半导体芯片缺陷检测等前沿仪器开发商提供了新一代光学探头设计范式[21]。

理论物理学者系统确立了拓扑物态中贝里相位估计（Berry Phase Estimation）问题的量子算法设计与计算复杂性分类，证明该问题在特定拓扑不变量判定中落入BQP（量子多项式时间）完备类[22]。

技术含义上，填补了凝聚态拓扑序多项式级量子判定的算法空白，跨过了强关联多体能带交叠区域拓扑相变精确标定的数值分析门槛[22]。

量子信息学者系统解析了在局域操作与经典通信（LOCC）、可分测量及部分转置正（PPT）操作下，局域对角正交不变态（LDOI态）的量子态可区分性严格判据[18]；另一团队则利用通信矩阵形式确立了在实验装置参数部分未定条件下的半设备无关量子信道识别重构机制[19]。两项成果共同将不可信环境下的信道鉴别与态区分置于坚实数学基础上[18][19]。

06 影响

今日影响



1 **跨大西洋金融与数据通信网络**：从巴西第二大银行受控环境测试[48]到Ciena横跨美欧8,000公里的QKD与PQC混合试验网运行[35][52]，加上NIST通过量子物理定律验证地理位置杜绝欺诈转账[7][47]，抗量子攻击的防御手段已从“单点密码学算法替换”升级为“物理测距定位+光纤物理密钥+数学后量子算法”的三维立体纵深防御体系。下一步值得盯紧国际电信联盟与主要央行在2027年是否将“物理位置认证与混合抗量子通道”正式写入跨国大额资金划转的强制性技术审查标准。

2 **超导量子计算纠错与路线竞争格局**：谷歌Willow在105比特芯片上通过行进稳定线路将逻辑错误率下限压制到不超过3.20×10^{-8}[33]，且Q-CTRL在IBM Nighthawk上将奇法态制备误差降低10倍[34]，直接攻关表面码在长时间序列下的时间关联错误链累积难题，超导路线在容错时间维度的短板被大幅修复。下一步值得盯紧2027年上半年谷歌是否公布基于该行进线路完成非

Clifford逻辑门（如T门）的编织与实时纠错闭环测试，以及物理芯片在连续运行数小时下的微观缺陷频率漂移实测数据。

3 **欧洲与拉美量子产业资本与地缘供应链**：欧洲面临“科研顶尖但仅分食5%至10%私人投资”的资本困境[26]，促使英国以伦敦集群注资超6200万英镑进行国家级托底[29]，而法国先锋Quandela则通过卡塔尔资本与台湾汉民科技代工构建出海三角闭环[14]；同时中国电科向巴西交付两台量子计算机核心零部件[49]，标志着新兴经济体正加速开辟绕开欧美的南南前沿科技供应链。下一步值得盯紧巴西两台量子计算机的通电点亮与联合研发生态进展，以及中东资本是否会在未来12个月内控股并购更多估值处于洼地的欧洲处于成长期中后期的量子硬件企业。

4 **软件工程与科学计算自动化质量底座**：512比特规模下线路等价性校验准确率跃升至96.3%[31]，加上基于物理对称性将数据载入开销压减140倍[27]，以及开源光量子模拟器photonic-engines[13]与自动化推导验证平台ForShor.ai[53]的落地，量子软件工程正式告别手工编写与黑盒执行的草莽阶段。下一步值得盯紧主流开源量子框架在未来两个版本迭代中是否原生集成上述形式化等价性检验与对称性数据加载插件。

编辑点评

过去两年，整个行业对容错量子计算的讨论几乎被“物理比特数”与“码距横向扩展”单向绑架，而今日的多项进展标志着量子硬件研发正在经历一场深刻的内涵式转向：从空间维度的规模堆叠，全面转向时间维度的稳定性深耕与资源压缩。谷歌在105比特芯片上对时间关联错误链的抑制，将逻辑失效率逼入千万分之一乃至亿分之一区间；Q-CTRL在商用芯片上对非Clifford资源态制备误差削减一个数量级；Alice & Bob则试图将编码开销压缩至18:1的极端比例。这清晰地表明，通往真正实用的破解算力门槛，核心决胜战场不再是简单的物理比特计数，而是如何把时间维度的退相干噪音锁死在容错阈值之下。

与此同时，全球量子产业的地缘资本版图正在发生不可逆的极化与重构。欧洲在基础学术研究上的高产出与私人资本捕获力低下的结构性脱节，逼迫欧洲本土龙头企业不得不走出舒适区，以跨国分工重塑生存格局——研发留在欧洲，重资本制造依托东亚先进半导体晶圆代工，商业化落地与主权订单则扎根中东海湾资本。加之中国自主量子硬件向拉美金砖国家的成套输出，以及跨大西洋骨干网络抗量子防御的加速闭环，量子技术已经正式步入大国博弈、金融基础设施重塑与商业供应链硬核重组的实战周期。

参考资料

[1] Fermilab’ s Sam Zeller awarded W.K.H. Panofsky Prize

[2] Fermilab director receives prestigious American Physical Society Award

[3] FBI Warns of Growing Nation-State Threats to Quantum Research

[4] Early Stage Commercial Readiness of Quantum Chemistry & Quantum Life Sciences

[5] Atoms in sync: Superradiance offers a new kind of frequency comb

[6] Scalable photonic quantum computer provides new insights into the fundamentals that shape its performance

[7] Quantum physics can verify a person's location, researchers show

[8] How electrons find their way to diamond's quantum defects

[9] Using a microwave link to transfer a three-level quantum state

[10] Postdoc in Quantum Information Science and Quantum Many-Body Dynamics at Jena University, Germany

[11] Quantum Developer Day 2026: Quantum in Production

[12] Qatar and France Sign Bilateral Letter of Intent on Digital Cooperation Highlighting Shared Quantum Ambitions

[13] Quandela and NVIDIA Benchmark Photonic Quantum Simulability Frontiers on H100 GPUs

[14] Quandela Expands International Photonic Footprint with Deployment Alliance in Qatar and Foundry MoU in Taiwan

[15] Alice & Bob Accelerates Modular Cat-Qubit Roadmap to 200 Logical Qubits from 3,600 Physical Qubits by 2030

[16] Hardware-Efficient Entanglement Distillation Using Bosonic Systems

[17] Quantum Channel Testing in Average-Case Distance

[18] Distinguishability of locally diagonal orthogonally invariant quantum states

[19] Semi-device-independent channel identification with communication matrices

[20] Marginal-constrained entropy accumulation theorem

[21] Below-shot-noise capacity in phase estimation using nonlinear interferometers

[22] Computational complexity of Berry phase estimation in topological phases of matter

[23] Quantum memory adapts photon timing across three orders of magnitude

[24] Quantum collective coupling reaches 21.3 MHz with 120 trapped atoms

[25] University of Stuttgart achieves quantum teleportation with telecom photons

[26] QuIC says Europe captures 5-10% of quantum private capital

[27] Symmetry-allowed circuits reduce data loading for quantum algorithms

[28] Poland's Poznań Supercomputing Center unveils first EuroHPC quantum computer at Supercomputing '26

[29] London Quantum Cluster gains £12m to grow quantum firms and jobs

[30] OP Pohjola and QuTwo expand quantum AI research centre work

[31] Quantum circuit checks could reach 96.3% accuracy using a new method for validation

[32] SEALSQ's acquisition of Miraex strengthens quantum interconnects

[33] Walking stability circuit reaches logical error floor

[34] Q-CTRL sets three records for magic states on IBM quantum chips

[35] Ciena connects US & Europe with quantum-safe network over 8,000 km

[36] The Vulcan rocket failure could haunt U.S. spaceflight for years to come

[37] Bernie Sanders previews Democratic investigations into RFK, Jr., amid nationwide measles outbreaks

[38] Ancient fossils reveal Homo erectus survived in China some 200,000 years longer than we thought

[39] Key Senate committee refuses to vote on Trump's nominee to lead the National Science Foundation, Jim O'Neill

[40] Why the bipartisan BAAJA permitting bill could quietly revolutionize nuclear power

[41] How bad would SpaceX's million AI satellites be for Earth's atmosphere?

[42] This beguiling chessboard math problem is still puzzling after 120 years

[43] How fungi reshape our understanding of intelligence and life

[44] Voyager 1 reaches 'one light-day' milestone

[45] Scientists Discover a Hidden Magnetic Effect That Produces Signals 100 Times Stronger

[46] Guest Post — The 2026 Finance Quantum Index: Recognizing the Leaders Advancing Quantum in Finance

[47] Quantum Physics Can Verify a Person’s Location, NIST Researchers Show

[48] Bradesco and evolutionQ Begin Quantum Communication Tests to Assess New Data Protection Models

[49] Brazil Receives Parts for Two Quantum Computers in Partnership With China

[50] New OQI Impact Tool Supports The Responsible Design of Quantum Computing Applications

[51] SEALSQ Signs Letter of Intent to Acquire QuintessenceLabs

[52] Hybrid QKD and PQC Network Connects Chicago and Europe Across 8,000 km

[53] Zapata Quantum Launches Open Challenge to Verify AI-Generated Quantum Research

[54] Alice & Bob’s Updated Roadmap Targets 200 Logical Qubits From 3,600 Physical Qubits by 2030

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。