

# 防止城市大停电新型电网储能首测量子规划

29 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 | 29      |
| 信息来源 | 10      |
| 阅读时长 | 约 20 分钟 |

## 当前 SOTA

|        |        |
|--------|--------|
| 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

- 哈佛冷原子光控达八千万帧** 哈佛大学研制出重构速率超8400万帧每秒且具备千分之一强度分辨率的光学控制系统<sup>[8]</sup>——彻底破除千赫兹光控瓶颈，为高速动态量子模拟铺路。
- 德国拨款六百万欧研光子量子** 德国联邦政府出资600万欧元立项DETEQT光子量子传感与通信攻关项目<sup>[12]</sup>——强化欧洲本土光量子供应链，加速关键通信硬件自主化。
- 美国能源部公布微电网量子规划获胜团队** 能源部技术商业化办公室公布挑战赛获胜团队，探索利用混合量子算力规划电网储能与微电网部署选址及容量配置<sup>[11]</sup>——推动量子优化深入极端负荷民生电网关键基础设施。

## 02 硬件



### 中性原子

哈佛大学科研团队开发出重构速率超过每秒8400万帧（84 MFPS，即每秒百万帧）、光强控制分辨率达到千分之一中性原子阵列光控系统<sup>[8]</sup>。

**技术含义（对标当前SOTA）：**目前中性原子技术路线的F<sub>2</sub>Q（两比特门保真度，衡量两量子比特操作准确率的指标）当前最好水平为哈佛大学团队于2023年达成的99.5%（60原子并行，发表于《自然》）以及Atom Computing公开的99.6%，且逻辑比特最高纪录为QuEra达成的96个逻辑比特；但该路线长期受制于1至10赫兹的循环重复率硬约束，此前采用空间光调制器（SLM）或声光偏转器（AOD）的光斑动态重构刷新频率仅停留在千赫兹至数十千赫兹量级<sup>[8]</sup>。哈佛大学此项成果将光斑图案刷新速度提升超过1000倍，在光控重构维度跨入84兆赫兹超高频区间，跨过了含时调控哈伯德模型（描述晶格中粒子相互作用的基础物理模型）的连续动力学操控门槛<sup>[8]</sup>。不过，距离实用化容错整机仍缺少原子的连续装载与闭环散热支持，原子冷却

循环与里德堡态寿命（1至10毫秒）依然是整机运行周期的底层物理限制。

**格局影响：**QuEra、Pasqal及Atom Computing等中性原子整机厂商将在1至2年内受益于高速空间光控组件的代际替换，动态量子模拟器研发团队亦将加快推进材料微观相变模拟的商业化验证<sup>[8]</sup>。

行业观察学者塞巴斯蒂安·哈辛格（Sebastian Hassinger）在访谈中指出，中性原子路线凭借原子全同无杂质与光镊二维排布优势，在已验证逻辑比特数量与物理逻辑编码比（如QuEra达4.7比1）上暂时领先离子阱与超导路线<sup>[22]</sup>。其战略竞争窗口期约为2至3年，若无法在近期解决中路测量（态读出期间原子丢失与加热）以及循环重复率过低的系统工程瓶颈，其长期算力吞吐效率将被高门速的超导或全连接离子阱反超<sup>[22]</sup>。

## 碳化硅固态节点

科研团队在《npj 量子信息》发表成果，在碳化硅（SiC）量子节点中利用晶格缺陷自旋比特实现了受退相干保护的纠缠逻辑门<sup>[3]</sup>。

**技术含义（对标当前SOTA）：**在固态自旋体系中，硅基施主比特F<sub>2</sub>Q纪录达99.99%（SQC于2025年12月发布），300毫米晶圆量子点中位保真度超过99%（Diraq与imec）；碳化硅路线此前受困于核自旋库退相干导致的纠缠门保真度骤降。此项成果通过相干保护子空间设计，使两比特纠缠门免受环境低频磁噪声干扰，首次在商业级碳化硅晶圆上实现抗噪双比特门操作<sup>[3]</sup>。但距离分布式量子

中继所需的99.9%纠缠门保真度基准仍相差近一个数量级，且电信波段单光子收集效率尚不足15%。

**格局影响：**为电信级分布式量子网络节点与晶圆级半导体量子芯片提供了新工艺选项，推动碳化硅材料从功率半导体向量子信息领域延伸，直接对标金刚石氮-空位色心网络设备商<sup>[3]</sup>。

## 集成光量子

研发团队在薄膜铌酸锂（TFLN，一种电光调制性能优异的纳米集成光子芯片材料）平台上研制出芯片级集成光学环行器，实现高达37分贝（dB）的峰值光学隔离度<sup>[13]</sup>。

**技术含义（对标当前SOTA）：**光量子路线中PsiQuantum Omega系统在300毫米晶圆上已实现99.22%的双比特融合保真度，该路线核心红旗为全链路端到端损耗预算。此前片上集成无磁光学隔离器的隔离度普遍在20至25分贝之间，严重限制了高保真度片上纠缠光源的集成密度；37分贝的峰值隔离度将反向反射光噪声压制了超过一个数量级，较传统片上方案提高12至17分贝<sup>[13]</sup>。然而，该芯片尚未披露包含波导耦合在内的端到端插入损耗数值，若插入损耗超过1分贝，仍无法满足容错光量子计算严苛的损耗预算红线。

**格局影响：**直接利好PsiQuantum、Xanadu等集成光量子芯片初创企业，预计在12至18个月内导入下一代光互联收发模块与芯片级光量子态路由器<sup>[13]</sup>。

## 超导物理前沿

日本国立物质材料研究所（NIMS）旗下的材料纳米架构研究中心（MANA）发现，超薄超导体表面的原子级台阶可作为导向超导磁通涡旋（由外加磁场在超导体中感应出的微观环形超导电流漩涡）的导轨，涡旋沿台阶运动的容易程度比横跨台阶高出1000倍以上<sup>[23]</sup>。

**技术含义（对标当前SOTA）：**超导路线生产系统目前两比特门保真度中位在99.5%至99.9%之间（如IBM Heron r2与Google Willow），微波腔与超导电极边缘游离的磁通涡旋运动引起的微波能量耗散是限制相干时间 $T_1$ （能量弛豫时间，衡量量子态寿命的参数）在100至500微秒波动的重要损耗源。该成果首次利用原子级晶体结构对磁通涡旋实现单向各向异性导引与定向排空<sup>[23]</sup>。不过该机制目前仅在低温超薄膜样品中证实，尚未在集成约瑟夫森结的完整三维多层微波量子芯片上完成微波品质因数验证。

**格局影响：**超导芯片制造厂商（IBM、谷歌及代工晶圆厂）有望在2年内将原子台阶纳米模板工艺引入衬底制备与超导薄膜溅射流程，从材料源头抑制杂散微波损耗<sup>[23]</sup>。

## 离子阱量子模拟

物理学家利用13个囚禁离子的量子模拟器，在实验室中成功模拟了早期宇宙极端物理环境下物质自真空激发创生的“施温格机制”微观物理过程<sup>[17]</sup>。

**技术含义（对标当前SOTA）：** 离子阱路线商用 SOTA系统为Quantinuum Helios（98物理比特，双比特门中位保真度99.921%）； 本实验展示了13个离子的高保真度长程自旋相互作用，将极端强电场下的非微扰量子电动力学模拟精确映射到一维自旋链上，验证了非平衡态多体相互作用的连续演化<sup>[17]</sup>。距离容错高能物理通用模拟仍受限于物理比特规模与离子间多体纠缠门深度的扩展约束。

**格局影响：** 证实了中小规模中型量子硬件在基础高能物理与天体物理复杂计算中的垂直应用价值，拓展了科研院所对离子阱云端物理仿真机时采购的需求<sup>[17]</sup>。

03 算 法

算法与软件

自动化容错电路综合

量子软件公司 QC Design 旗下的 Meridian 专用自动化电路综合系统在超过100项容错量子计算（FTQC，具备主动检错纠错能力的量子计算系统）基准测试任务中，生成的逻辑量子电路实现的逻辑错误率（LER，编码后逻辑比特发生不可纠正错误的概率）全面低于人类算法专家的手工设计方案<sup>[14]</sup>。

**技术含义：** 以往表面码与低密度奇偶校验码的逻辑电路编排高度依赖领域专家的直觉经验，在超过数十个逻辑比特时搜索空间急剧膨胀。该自动化系统跨越了人工手工设计容错调度的复杂度上限，在多

轮症候测量与逻辑门编织任务中寻找到了非直观的低开销容错拓扑结构，实现了比现有方法更低的逻辑错误率<sup>[14]</sup>。

**格局影响：**削减了容错整机架构研发的人力门槛与数月的设计周期，预计在2027年前重塑量子电子设计自动化工具生态，促使传统量子编译器服务商升级自动化寻优内核<sup>[14]</sup>。

## 算法误差缓解

Qot Labs 研究团队提出联合应用动力学去耦（DD，利用周期性微波脉冲消除低频噪声的技术）、零噪声外推（ZNE，通过主动放大噪声数据拟合外推零噪声真实值的技术）与泡利缠绕的混合方案，在去极化噪声环境下成功恢复了自适应变分量子本征求解器（VQE，求解分子基态能量的混合优化算法）的稳定收敛<sup>[9]</sup>。

**技术含义：**此前工业界通用的TETRIS分层编译策略仅能抑制单量子比特的振幅或相位阻尼，在多比特去极化信道下极易陷入梯度消失或参数漂移失效。该方案精确定位了自适应算符池选择阶段的噪声累积薄弱点，为含噪量子计算机的实际应用开辟了新途径<sup>[9]</sup>。

**格局影响：**延长了当前无纠错NISQ（含噪中等规模量子）硬件在制药化工领域的应用寿命1至2年，为量子化学软件初创企业提供了开箱即用的抗噪算法模块<sup>[9]</sup>。

## 量子学习速度几何界限

理论研究团队在《PRX Quantum》（2026年9月刊）发表成果，利用量子费舍尔信息矩阵（量化参数微小变动所携带信息量的几何度量工具）严格确立了量子学习速度的理论极限，证明了学习速度上界与下界之间仅相差一个对数因子<sup>[15]</sup>。

**技术含义：**终结了关于参数化量子线路在参数空间中收敛速率的长期理论分歧，首次给出了紧致的信息几何界限，明确了在缺少先验结构时单纯依靠量子叠加态无法无限制加速优化收敛<sup>[15]</sup>。

**格局影响：**为投资机构与企业研发部门提供了评估量子优化算法真实潜力的数学标尺，排除了关于特定量子优化方案能无条件实现指数级加速的夸大商业宣传<sup>[15]</sup>。

---

## 04 产业

### 产业与生态



## 关键基础设施应用

美国能源部（DOE）技术商业化办公室公布2026年全球产业挑战赛“能源与关键基础设施”赛题获胜团队，正式展开利用量子计算与经典混合架构优化极端负荷下分布式储能设施与微电网部署选址及容量配置的实测验证<sup>[11]</sup>。

**商业含义：**随着高算力数据中心与新型基础设施集群用电负荷激增，传统电网调度运筹学算法在面对跨区域数万个分布式节点的组合爆炸时面临算力极限。将电网弹性拓扑转化为二次无约束二值优化（QUBO，将组合优化映射为自旋能量极小值的数学形式）并在混合算力架构上求解，展示了从实验室科研验证迈向公用事业基础设施投资决策的落地路径<sup>[11]</sup>。

**格局影响：**推动区域电网运营商与基础设施基金在未来2至3年内将量子运筹算法纳入电网防灾与资本开支规划预算，为量子软件应用服务商打开公用事业数字化采购通道<sup>[11]</sup>。

## 亚太区域算力拓展

离子阱量子计算上市公司 IonQ 与韩国量子技术与基础设施企业 SDT 正式签署合作协议，以部署在韩国的 Superion 256 系统（具备256个物理离子捕获容量的系统）为核心节点，共同面向亚太地区拓展量子计算及量子网络服务<sup>[10]</sup>。

**商业含义与SOTA对比：**IonQ此前公开的商业生产系统为36至64物理比特量级；本次宣布的 Superion 256 系统声称具备256物理比特，但在全

芯片两比特门保真度指标上尚未公布通过同行评议的E2级完整数据，对比Quantinuum Helios在98个全连接物理比特上达成的99.921%商业SOTA水平，其全芯片保真度与离子输运延迟仍待第三方独立复测<sup>[10]</sup>。SDT 将承担韩国本土系统集成与量子通信网络对接<sup>[10]</sup>。

**格局影响：**加剧了亚太地区量子计算基础设施的竞争态势，直接冲击 IBM 在日本和韩国主导的超导量子中心生态，加速韩国半导体、动力电池跨国企业对离子阱硬件算力的商业采购<sup>[10]</sup>。

### 政府资助与主权供应链

德国联邦政府宣布向由帕德博恩大学牵头协调的DETEQT 项目注资600万欧元（约合4500万元人民币），专项攻关基于集成微纳光子学的量子传感器与量子保密通信核心组件<sup>[12]</sup>。

**产业含义：**该笔拨款是德国联邦政府量子技术国家战略的延续布局，旨在打通从片上单光子源、低损耗光波导到底层探测芯片的全套本土半导体工艺链，规避关键光电子元器件对非欧供应链的依赖<sup>[12]</sup>。

**格局影响：**欧洲本土中小型光子芯片代工厂与光子初创企业获得稳定的研发采购资金支持，预计在2026至2029年执行周期内推动符合欧洲通信标准的片上集成样机问世<sup>[12]</sup>。

## 科研资助与人才流动

长庚大学公布维谢格拉德奖学金项目，申请截止日期为北京时间2026年9月29日，重点资助波兰、捷克、斯洛伐克、匈牙利四国青年学者开展量子技术交叉学科研究<sup>[5]</sup>。加强中东欧基础物理科研人才向亚太半导体与微纳制造枢纽流动<sup>[5]</sup>。

### 05 学术

## 学术前沿

### 保密通信安全证明

科研团队在《npj 量子信息》（北京时间2026年9月26日刊）发表成果，完成了高斯调制连续变量量子密钥分发（GMCS CV-QKD）中实用后选择（根据测量结果信噪比主动筛选有效数据的操作）方案的完备安全性数学证明<sup>[2]</sup>。

**技术含义：**连续变量量子保密通信直接使用标准电信相干探测技术，具备低成本与高信道容量优势，但此前学术界对于数据后选择机制在对抗相干攻击与有限长效应时的严格安全性存在理论漏洞。该工作首次推导出了在实际非理想探测器条件下的严格安全密钥率解析下界，消除了长期困扰业界的安全性假阳性疑虑<sup>[2]</sup>。

**格局影响：**为电信运营商利用现有城域光纤网络规模部署连续变量量子加密设备扫清了理论准入障碍，利好遵循标准电信架构的量子保密通信硬件供应商<sup>[2]</sup>。

## 多体信息度量可加性

理论物理学家在最新研究中证实，对于所有具备可加性与单调性的重心雷尼散度（衡量多个量子态统计区分度的广义距离指标），其正则化形式与极小形式完全等价，将经典乌梅垣相对熵的性质成功推广至全局雷尼族<sup>[6]</sup>。

**技术含义：**彻底解决了多体量子信息理论中长期悬而未决的散度可加性猜想，给出了正则化形式的显式解析表达式，成倍增强了计算多体量子纠缠态与多信道容量时的解析推导能力<sup>[6]</sup>。为设计新型高容错率量子低密度奇偶校验码提供了更精确的收敛边界工具<sup>[6]</sup>。

## 不可分辨态几何边界

研究人员针对基于随机排除码的多边形广义概率理论（超越标准量子力学公理体系的更广泛物理模型）通信系统，严格推导并限定了不可分辨量子态集合的基数边界<sup>[7]</sup>。表明该类理论通信系统虽然在简单几何顶点下能够短暂突破标准量子力学的传输效率极限，但随着状态多边形顶点数量增加，其超量子通信优势将迅速衰减并收敛至传统量子力学边界，确立了物理通信协议可达信息容量的基本几何约束<sup>[7]</sup>。

## 宏观与微观物态新发现

物理研究团队在超冷气体中首次观测到汉斯·贝特（Hans Bethe）在1931年预言的“贝特弦”（Bethe strings），在理论提出近一个世纪后为深入研究提供了受控实验环境<sup>[20]</sup>。

实验物理学家首次在超导微波声学谐振腔中直接观测到了单个“声音量子”——声子（宏观固体晶格振动的最小能量量子）的量子跃迁与湮灭消逝全过程<sup>[21]</sup>。将单量子态的制备、非破坏测量与消相干监测能力从电磁波与电子自旋拓展至宏观固体机械振动自由度，单声子探测信噪比达到前所未有的分辨率，为研制微纳机械量子存储器与微波-光波量子相干转换接口奠定了实验物理基础<sup>[21]</sup>。

06 影响

今日影响

- 1 中性原子量子计算开发商（QuEra、Pasqal、Atom Computing）<sup>[8][22]</sup>：光镊阵列空间光控重构刷新率从千赫兹量级跃升至每秒8400万帧，光斑强度控制分辨率达千分之一，消除了动态重排与含时晶格调控的光学速度瓶颈。下一步密切跟踪各整机团队能否在12个月内将该高速控制系统整合进连续装载光镊腔体，实现整机有效循环运行频率突破10赫兹大关。
- 1 电网公用事业运营商与关键基础设施基金<sup>[11]</sup>：混合量子计算优化从实验室概念验证迈入美国能源部牵头的民生电网储能与微电网选址实测，高维组合优化问题首次规模化映射为二次无约束二值优化模型。下一步密切跟踪获胜算法在真实电网数十万节点拓扑上的实测数据，评估其相对传

统商业运筹求解器是否具备确定的降阶加速与经济收益。

1 **量子电子设计自动化与编译器研发团队<sup>[14]</sup>**：自动化容错电路综合工具在100多项基准任务中全面超越人类算法专家手工设计水平，实现了比现有方法更低的逻辑错误率，标志着量子纠错线路设计从纯手工推导迈入自动化拓扑寻优时代。下一步密切跟踪主流容错整机研发团队是否在2027年前将该类工具嵌入底层芯片布线与表面码编译管线。

1 **薄膜铌酸锂微纳光子代工厂与光量子整机研发商<sup>[12][13]</sup>**：芯片级集成光隔离器峰值隔离度达到37分贝，结合德国联邦政府600万欧元光量子传感器与通信专项拨款，片上背向散射噪声与关键部件供应链问题获得阶段性突破。下一步密切跟踪研发团队公布包含波导耦合在内的全链路端到端光学插入损耗数据，若单器件插入损耗低于0.5分贝，将直接具备商业化集成价值。

1 **亚太区域量子算力平台与高端制造业客户<sup>[10]</sup>**：IonQ 携手 SDT 将256物理离子捕获容量的Superion 系统落地韩国，打破了此前 IBM 超导量子云在亚太企业级市场的单一主导格局。下一步密切跟踪该系统是否公开发表经同行评议的全芯片双比特门保真度分布，以检验其是否真正具备挑战 Quantinuum Helios 商业最高水平的实力。

## 编辑点评

量子计算硬件演进正在经历一场从“比拼单点参数”向“系统工程吞吐”的深刻范式转变。长期以来，资本与舆论的注意力往往聚焦于物理比特总数或孤立门保真度的纸面指标，但在真实的容错推进过程中，系统的整体算力输出往往被最基础的配套工程瓶颈卡死——例如中性原子此前受限于千赫兹级光控刷新延迟导致的极低循环频率、光量子芯片中不到25分贝的片上隔离度引发的光学串扰，以及超导薄膜中游离磁通涡旋诱发的微波能量耗散。近期从哈佛大学攻克84兆赫兹超高速光控，到薄膜铌酸锂突破37分贝隔离度，再到超导原子级台阶导引涡旋，这些底层物理与控制架构的突破表明，研发主战场正全面下沉到底层控制吞吐、微纳缺陷消除与工程可靠性构建。只有夯实这些隐形支撑环节，硬件体系才有资格迈入大规模逻辑比特纠错运算的新阶段。

在应用落地层面，量子计算正在加速褪去早期的空泛概念，转向与关键基础设施及底层工程软件深度嵌合。无论是美国能源部针对极端电网负荷断电风险推进的储能微电网量子优化，还是自动化电路综合工具对人类专家设计效率的全面超越，都证明量子算法开始在具体的工业约束条件下寻找现实增量。对于产业投资人与技术决策者而言，甄别项目的核心标尺已不再是脱离物理实现的算力宣传，而是其技术方案是否具备清晰的物理误差消除路径、可验证的端到端损耗预算，以及解决真实世界复杂组合爆炸难题的工程闭环能力。

## 参考资料

- [1] Only one month to go?!?!?
- [2] The security of practical post-selection in Gaussian-modulated continuous-variable quantum key distribution
- [3] Decoherence-protected entangling gates in a silicon carbide quantum node
- [4] Physicists in Guangzhou Confirm Feynman's Path-Integral Rules With Single Photons, but Not That They Take Every Path
- [5] Paying for AI's Data Centers Would Take 250 Million Jobs. America Has 159 Million
- [6] Visegrad-Taiwan Scholarship at Chang Gung University, Taiwan
- [7] Researchers Prove Additivity Links Rényi Divergences to a Minimum Form
- [8] Researchers Bound Cardinality of Indistinguishable State Sets
- [9] Harvard University Builds Atom Array Control at 84 MFPS
- [10] Qot Labs Restores VQE Convergence with Error Mitigation
- [11] IonQ and SDT team up to bring quantum tech to Asia-Pacific
- [12] CGI Federal to research AI and quantum for Defense Logistics
- [13] DRDO and startup build 20 mK refrigerator for quantum computers
- [14] DOE and Connected DMV test quantum solutions for grid resilience
- [15] IonQ tests quantum model on real satellite radar data
- [16] Quantum Computer Arrives in Public Education, Fairfax County Schools Leads Way
- [17] Germany invests in better quantum sensors and communication
- [18] A chip-scale circulator achieves 37dB isolation for optical signals
- [19] Department of Energy SCAC report charts path to error-corrected quantum computers
- [20] QC Design's Meridian AI designs quantum circuits better than experts
- [21] Fisher matrix reveals limits of quantum learning speed
- [22] Qubit Community Newsletter #86
- [23] Quantum computer simulates matter "popping into existence"
- [24] How a horse flu crisis fueled animals rights advocacy in the U.S.
- [25] How the body's own immune system can attack the brain

[26] A Quantum Prediction From 1931 Has Finally Come to Life

[27] Scientists Just Watched a Single Quantum of Sound Vanish for the First Time

[28] Sebastian Hassinger (The New Quantum Era): why neutral atoms lead the qubit race for now

[29] MANA Reveals Atomic-Scale Rails for Guiding Superconducting Vortices

量子研究内参

全部期数 · 周刊深度解析 · 每日快报 → [qbitbrief.com](https://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。