光子盒研究院
QUANTUMCHINA

2025

全球量子传感产业发展展望

2025/02

量子科技年度系列报告

序言

融合赋能 产业新程

量子传感作为量子技术三大核心领域之一，正以其卓越的高灵敏度和高精度，重新定义人类感知微观世界的方式。它不仅革新了从磁场、重力到时频、温度等多维度的测量技术，还推动了计量学从传统范式向更精确、更稳定的新体系的转变。然而，目前量子传感的发展仍主要局限于单点应用，传感器通常独立运行，未能形成有效的协同效应，这在一定程度上制约了其整体潜力的发挥。

未来，随着感知层、传输层、平台层和应用层等多层架构的构建，量子传感器将从单点应用迈向网络化协作，形成一个互联互通的量子传感网络。这种网络不仅实现了传感器之间的空间协作，还使数据能够实时共享与远程分析，从而大幅提升复杂系统的全局感知能力和智能化应用水平。

在计量学领域，量子传感器以量子态（如原子、光子等）为参考基准，彻底突破了传统计量链条的精度与稳定性限制。这种变革不仅为国际单位体系（SI）带来了全新的定义标准，还通过量子网络实现了零链条远程溯源，显著提升计量体系的效率与可靠性，为现代科技和工业发展提供了重要支撑。

与此同时，全球主要经济体正加速推进量子传感器网络的研发与应用，努力抢占这一领域的技术与标准制高点。可以预见，未来的竞争将不仅聚焦于技术突破，更在于全球计量体系与标准主导权的争夺。这种竞争将深刻影响国际科技格局与经济体系的未来走向，进一步彰显量子传感领域的战略意义。

展望2025年，量子传感作为未来技术与产业的重要支柱，正在开启全新的时代篇章。

光子盒研究院 院长

顾成建

声明

01 本报告体现的内容和阐明的观点力求独立、客观，本报告中的信息或所表述的观点均不构成投资建议，请谨慎参考。

02 本报告旨在梳理和呈现2024年度内全球与量子细分技术和产业领域发生的重要事件，涉及数据及信息以公开资料为主，以及对公开数据的整理。并且，结合发布之时的全球经济发展状态，对短期未来可能产生的影响进行预判描述。

03 本报告重点关注2024年度量子传感细分行业发生的相关内容，以当地时间报道为准，以事件初次发布之时为准。对同一内容或高度相似内容的再次报道，若跨年度，不视为2024年发生的重要事件。

04 本报告版权归光子盒研究院所有，其他任何形式的使用或传播，包括但不限于刊物、网站、公众号或个人使用本报告内容的，须注明来源（2025全球量子传感产业发展展望[R].光子盒研究院.2025.02）。本报告最终解释权归光子盒研究院所有。

05 任何个人和机构，使用本报告内容时，不得对本报告进行任何有悖原意的引用、删减和篡改。未经书面许可，任何机构和个人不得以任何形式翻版、复制、发表、印刷等。如征得同意进行引用、转载、刊发的，需在允许范围内。违规使用本报告者，承担相应的法律责任。

06 本报告引用数据、事件及观点的目的在于收集和归纳信息，并不代表赞同其全部观点，不对其真实性负责。

07 本报告涉及动态数据，呈现截至统计之时的情况，不代表未来情况，不够成投资建议，请谨慎参考。

研究方法

本研究报告基于系统化、科学化和多元化的研究方法论，通过深度数据挖掘、专家洞见提炼、产业建模分析与多维价值链梳理，全方位评估量子科技的技术前沿、市场潜力及其产业化路径。

01 多源数据收集与验证：本研究采用横跨多维度、多渠道的精细化数据采集策略，涵盖量子科技领域的多元数据源，包括全球量子产业链中的核心企业公开数据、领先科研机构的技术研发成果、政策法规解读、行业市场洞察及学术文献等。为确保数据的广泛代表性与严谨性，我们对采集数据进行了多轮验证与交叉比对，构建高质量的实证数据集，以支持后续分析工作的科学性与精确性。

02 专家网络与深度访谈：通过建立涵盖不同领域的多层次专家网络，本研究与量子科技领域的一线从业人员展开了深度对话。受访专家包括知名量子科技企业的创始团队及技术负责人、行业协会的资深顾问、顶尖高校及科研机构的量子科学家等。访谈以结构化与非结构化相结合的方式进行，围绕技术路径、企业商业模式及未来发展等关键议题展开，从而提炼具有高度前瞻性的洞见。

03 先进建模与数据量化分析：结合全球管理咨询领域的实践经验，研究构建了多层次分析框架与量化模型，以揭示量子科技产业的动态趋势和潜在价值。运用各类统计模型、预测算法及市场模拟技术，对投融资活动、市场规模及产业链分布进行量化分析，力求精准刻画量子科技行业的发展路径及关键驱动因素。

04 产业价值链及场景化洞察：研究采用端到端价值链分析方法，全面梳理量子科技在产业链各环节中的核心要素，从上游关键技术与核心组件研发，到中下游应用场景开发及市场拓展。系统探讨了量子技术在卫星通信、无源导航、金融、化工、材料、能源电力、基础科研、生命科学等多个重点行业的潜在变革性应用，为行业赋能提供战略参考。

05 地区与政策差异化分析：本研究从全球视角出发，开展了区域比较分析，重点评估全球各主要科技国家和地区在量子科技领域的政策扶持、创新生态、人才集聚及技术商业化等能力。基于差异化定位，揭示了区域之间的竞争优势与互补性，为全球量子科技协同发展提供洞见支持。

致谢

本篇报告由量子科技服务平台光子盒下属光子盒研究院撰写和发布。

感谢包括但不限于以下公司给予技术和素材的支持：

AOSense
SANDBOXAQ
iXblue
国盾量子 QuantumCTek
Genetesis
中科酷原 CAS COLD ATOM
山东国耀量子
Infleqtion
国盛量子 CHINAPROSP QUANTUM
M SQUARED
昆迈医疗 QUANMAG HEALTHCARE
Quanta-Well 科微量子
Twinleaf
中微达信
西部超导 WESTERN SUPERCONDUCTING
MICROCHIP
ZL CRYOGENIC
CryoPride 中船鹏力超低温

目录

1. 2024产业发展概览 9

2. 核心组件进展 20

3. 技术商业进展 36

4. 全球主要国家发展现状分析 83

5. 投融资分析 92

6. 供应商评价 98

7. 产业分析与预测 111

8. 产业展望 117

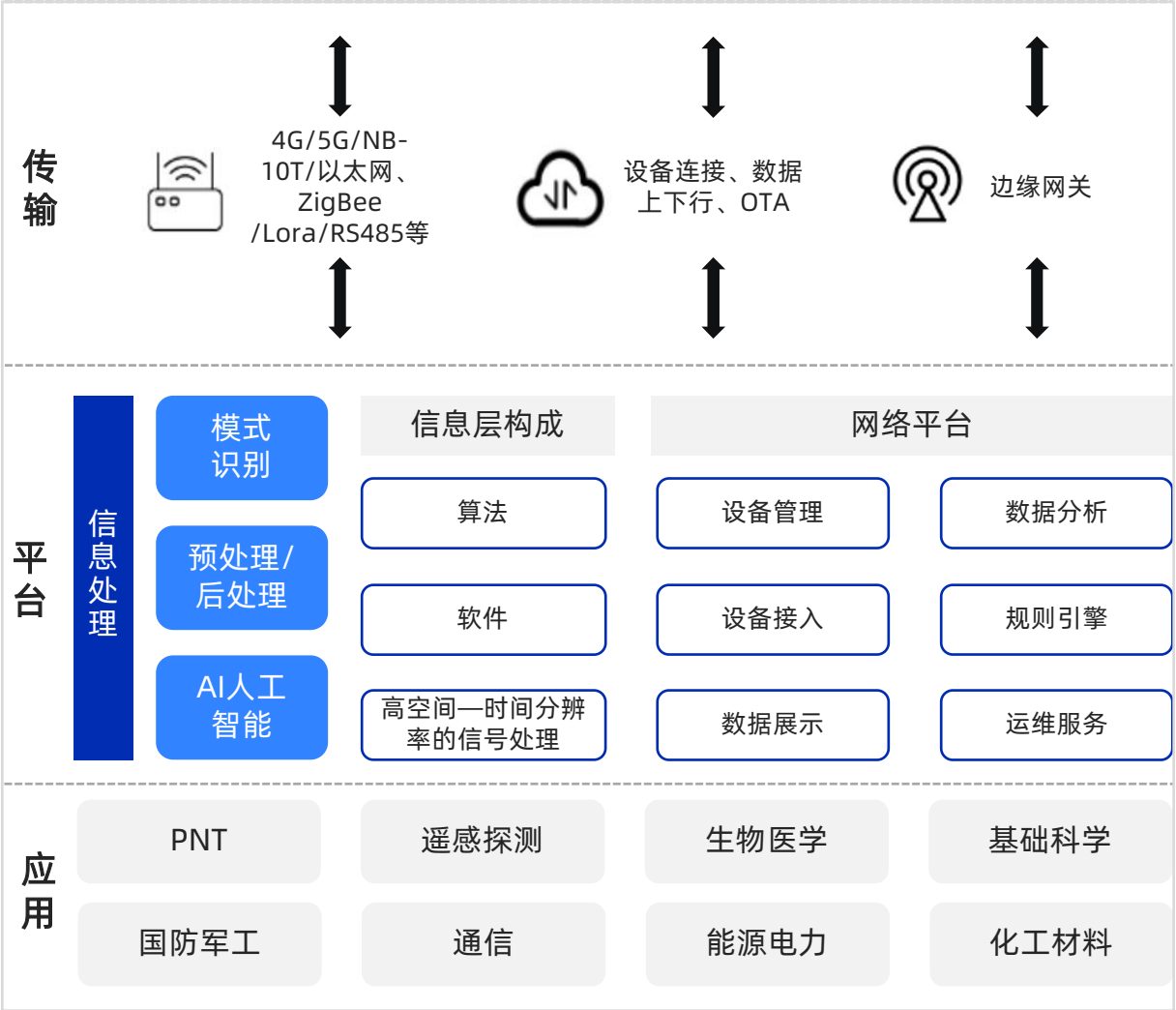
9. 附件 129

研究对象

本报告的研究对象是**量子传感**。量子传感是一个广泛的技术范畴，它不仅包括量子精密测量（含量子传感器）还涵盖了量子传输、量子信息处理以及量子信息感知等多个相关领域按照技术架构划分，量子传感可划分为四层架构，分别为感知层、网络层、平台层、应用层四层。

- **感知层：**即通过量子传感设备对微观世界的变化进行探测和感知，如温度、压力、旋转、位置等，并获取相应的信息和数据。
- **传输层：**作为数据传输通道，主要负责将量子传感设备采集到的信息和数据传输到平台层进行处理和储存。
- **平台层：**主要负责量子传感设备的运行管理、数据处理、分析与存储。通过集中管控量子传感设备，实现统一的网络监控与运维管理；同时结合云计算与人工智能等技术，处理和分析采集的数据，为用户提供决策支持与数据保障。
- **应用层：**将处理后的数据转化为具体的应用和服务。例如，在导航、医疗、电力等领域，数据会根据不同的应用场景被进一步加工和利用，以满足特定领域的需求。

图表 量子传感系统架构图



光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

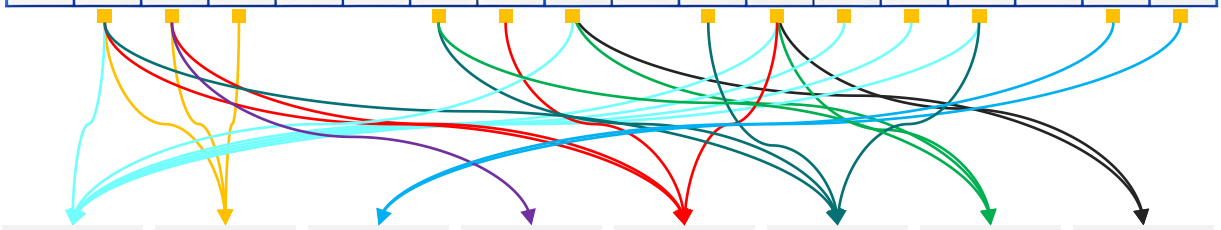
由于量子感知层的设备与传感器部分领域仍处于早期研发阶段，应用也在探索中，量子传感的系统建设尚不成熟。因此，本报告的研究对象选取量子传感，但研究重点仍在量子感知层，即**量子精密测量**。

量子精密测量是利用量子力学特性（如原子能级、基本粒子的自旋等）进行物理量探测和感知的技术，主要通过测量微观粒子在待测物理量作用下的状态变化来实现对物理量的测量，并且依赖于对微观粒子状态的精确操控和读取。

根据实现方式不同，量子精密测量主要分为囚禁原子/离子、固态自旋、超导以及其他传感技术；根据测量的物理量不同，其主要分为磁场、电场、时频、位移/相位、旋转、压力、温度、重力等量子传感器。

图表 量子精密测量的技术与应用图谱

技术路径	中性原子		离子阱			里德堡原子	固态自旋（系综）		固态自旋（单自旋）			超导电路			其他		
物理实现方式	原子蒸汽	冷原子云	-	-	-	-	NMR传感器	系综NV色心	硅基单自旋	半导体量子点	单NV色心	超导量子干涉器件	通量量子位	电荷量子位	单电子晶体管	光力学	干涉仪
可测物理量	B ↺ $t(s)$	B $t(s)$ m	$t(s)$	↺	E σ	E σ	B	B E T σ ↺	B	B E	B E T σ ↺	B	B	E	E	σ m B	Δ



量子磁力仪	量子时钟	量子雷达	量子重力仪 量子梯度仪	量子陀螺仪	量子场强计	量子压力计	量子温度计
光泵磁力计	微波钟	量子增强雷达	绝对重力仪	核磁共振陀螺仪	里德堡原子场强计	NV色心压力计	NV色心温度计
SERF磁力计	光钟	干涉式雷达	绝对重力梯度仪	NV色心陀螺仪	NV色心场强计		
CPT磁力计	核钟	量子照明雷达		SERF陀螺仪			
NV色心磁力计	芯片级原子钟			原子干涉陀螺仪			
SQUID磁力计							

说明			
B 磁场	$t(s)$ 时频	Δ 位移/相位	m 重力
↺ 旋转	E 电场	T 温度	σ 应力应变

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

01

2024产业发展概览

目录

01
2024产业发展概览

01 创新突破应用多元

02 科研引领产业方向

03 技术驱动产业生态

04 政策助力产业融资

05 区域合作生态显现

06 应用广泛潜力巨大

07 多元发展驱动变革

01 创新突破应用多元

从技术原理到传感器性能，精密测量不断实现突破

2024年，精密测量领域取得多项突破性技术进展，包括对原子核能级的精准操控、极弱磁场测量、原子级电场探测等，在高精度和灵敏度等方面，提供了全新的方法和工具。

- 4月，德国维也纳工业大学与德国联邦物理技术研究院**在国际上首次利用激光将原子核推升至更高能态**，并且精确地追踪它恢复到初始状态的过程。
- 4月，中国科学技术大学研究团队**首次利用暗态自旋实现极弱磁场的量子放大**，指出极弱磁场测量技术还具有更高的灵敏度极限。
- 7月，由德国于利希研究中心、于利希-亚琛研究联盟等组成的研究团队开发出一款完全集成的移动量子传感器，成功在原子尺度上实现电场和磁场的精准探测，是**世界首款原子级量子传感器**。
- 9月，美国科罗拉多大学博尔德分校与NIST等团队利用VUV频率梳直接激发**钍-229核钟跃迁**，确定其绝对跃迁频率，与锶-87原子钟频率比测量精度提高六个数量级。

量子精密测量技术不断从实验室走向实际应用

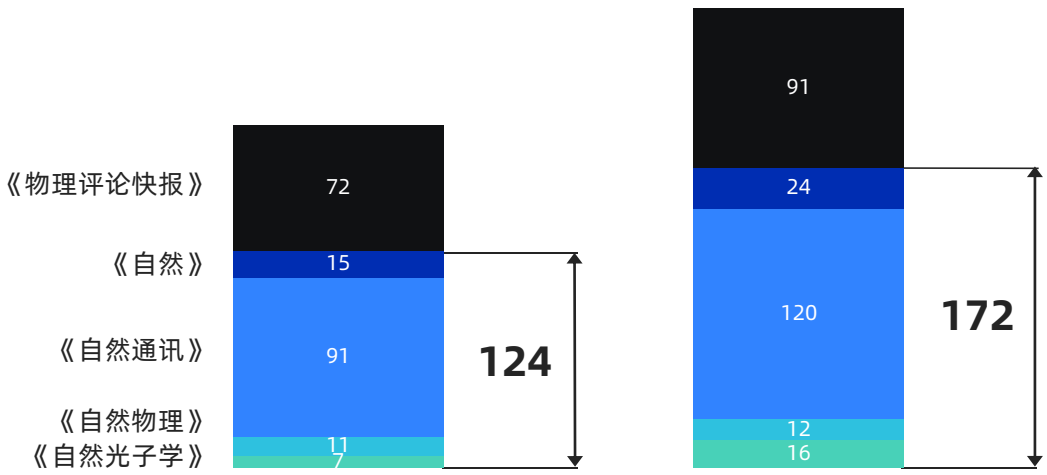
2024年，量子精密测量技术在多个测量领域取得突破性进展，尤其是在实际应用方面实现创新，为未来的自主导航和地球物理研究提供了全新方案。

- 5月，英国DSIT宣布联盟成功演示**全球首次基于量子的惯性导航系统飞行**；8月，美国波音公司完成**全球首个多量子传感器飞行测试**，实现无GPS导航飞行。
- 5月，中国浙江工业大学全省量子精密测量重点实验室携手中国地质大学（北京）、杭州微伽量子科技有限公司，在**国际上首次在-300米深处开展绝对重力测量实验**。
- 8月，美国NASA科研团队和加州理工学院喷气推进实验室研究团队，分别**利用超冷原子探测太空周围环境的变化**。

02 科研引领产业方向

整体来看，2024年量子精密测量领域在中高水平论文的产出量相较2023年实现了显著提升，各类顶级期刊文章数量均呈现增长态势。尤其是《自然通讯》，文章数量从2023年的91篇增加到了2024年的120篇。

图表 2023-2024年量子精密测量领域相关期刊发文量对比图



注释：《物理评论快报》（Physical Review Letters）；《自然》（Nature）；《自然通讯》（Nature Communications）；《自然物理》（Nature Physics）；《自然光子学》（Nature Photonics）

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

这些权威期刊的文章数量显著增长，表明量子精密测量领域正不断取得基础理论与实验方法的突破，涵盖新型量子态操控、噪声抑制技术及精密测量极限的重新定义。

同时，该领域正与其他学科如生物医学、地球科学和材料科学深度融合，其高灵敏度和高精度特性为传统测量难题提供了新解决手段，并开拓了新兴应用场景的可能性。

特别是在光子学领域，量子精密测量的应用研究正逐步升温，基于光学传感的技术有望推动量子雷达、远程成像和精密测绘等领域的发展，形成了应用驱动与基础技术优化的良性循环。

此外，文章数量的增长离不开科研生态系统的完善与政策扶持的强化。从数据可以看出，各国可能已经加强了对量子精密测量领域的科研资助。以美国为例，据不完全统计，2024年该国发布了4项关于量子传感领域的资助项目，资助金额总计约0.48亿美元，促进了量子精密测量领域的进一步发展，激发了研究活力。

03 技术驱动产业生态

量子传感技术正形成全链条布局，涵盖上游的赋能技术、中游的整机制造以及下游的广泛应用领域。近年来，更多企业纷纷涌入量子传感领域，产业链不断壮大，展现出巨大的发展潜力。

上游赋能技术方面，外围保障系统、核心硬件和辅助硬件为量子传感器的研发提供了重要支持，这些要素共同构成了一个紧密协作的技术体系，为量子传感器的研发提供了强大的技术支撑，使其能够在各种应用场景中发挥出卓越的性能。

中游整机方面，量子传感器的集成化和模块化设计使得其在多个测量领域展现出强大的应用潜力。当前，量子传感器在时频、磁场和重力等领域技术相对成熟，在电场、温度、压力等领域优越性尚未完全体现。未来，随着技术的不断进步，量子传感器的整机制造将更加注重小型化和低功耗设计，以适应更广泛的应用需求。

下游应用方面，量子传感技术的潜力已在多个领域显现。例如在导航技术中，原子钟、量子陀螺仪、量子重力仪、量子磁力计等组合能够实现超高精度的定位，提升导航系统的可靠性；在生命科学领域，量子磁力计可以实现对生物信号的精准探测，助力疾病的早期诊断；在军事国防方面，量子增强雷达可为战略监测和侦察提供了支持。

未来，随着各行业对高精度测量需求的增加，量子传感技术的应用前景将更加广阔，推动整个产业链蓬勃发展。

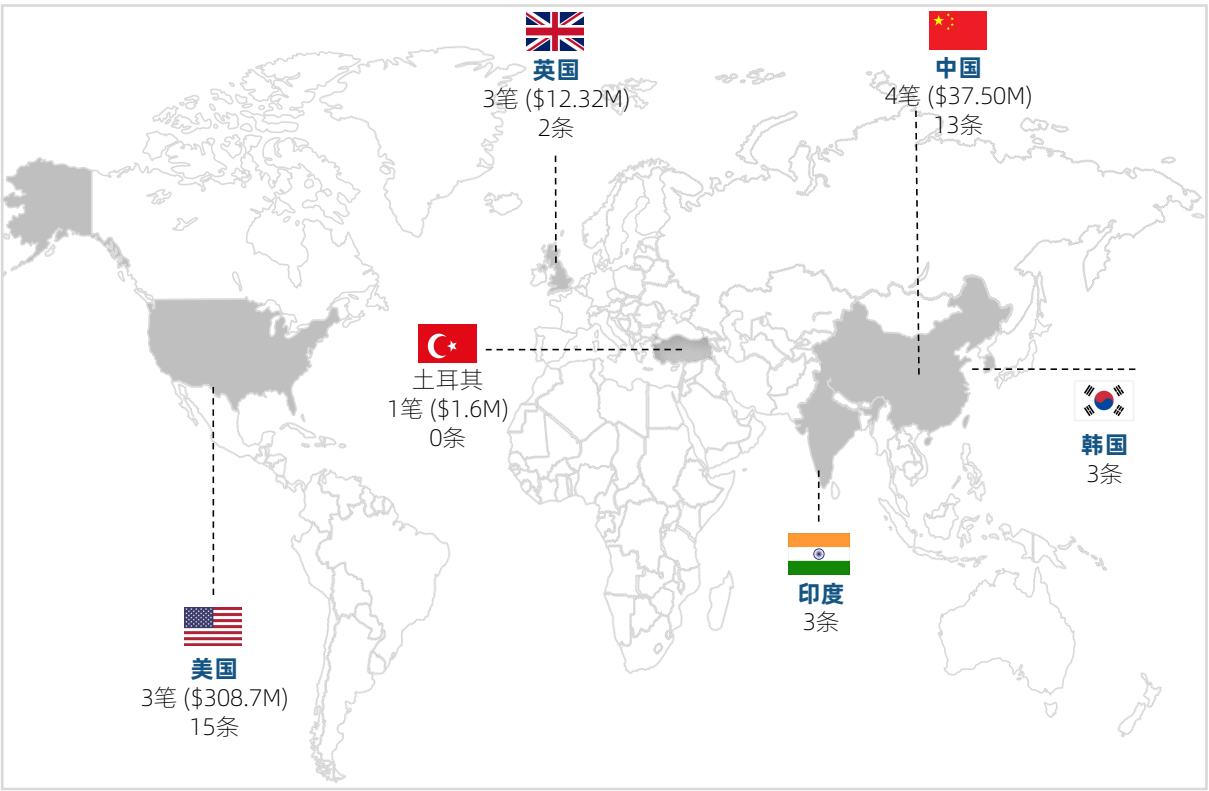
图表 2024全球量子传感产业生态图谱

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

04 政策助力产业融资

近年来，各国政府对量子精密测量领域的重视度持续提高，纷纷出台相关政策支持其技术研发和产业化，推动了该领域的投融资规模快速增长。

图表 2024年各国量子精密测量企业融资情况及发布的国家级量子信息科技政策条数



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

- **美国**出台了15项国家级政策，涵盖技术研发、应用场景拓展和产业链生态建设等多个方面。从社会资本的投融资情况来看，美国在量子精密测量领域共完成3笔融资，总金额约3.09亿美元，全球领先，显现其技术竞争力和资本吸引力。

- **中国**出台了13项国家级政策，推动了4笔量子精密测量领域的投融资活动。据不完全统计，总融资金额约0.38亿美元，位居全球第二，表明中国在量子精密测量领域的资本动员能力已初具规模。

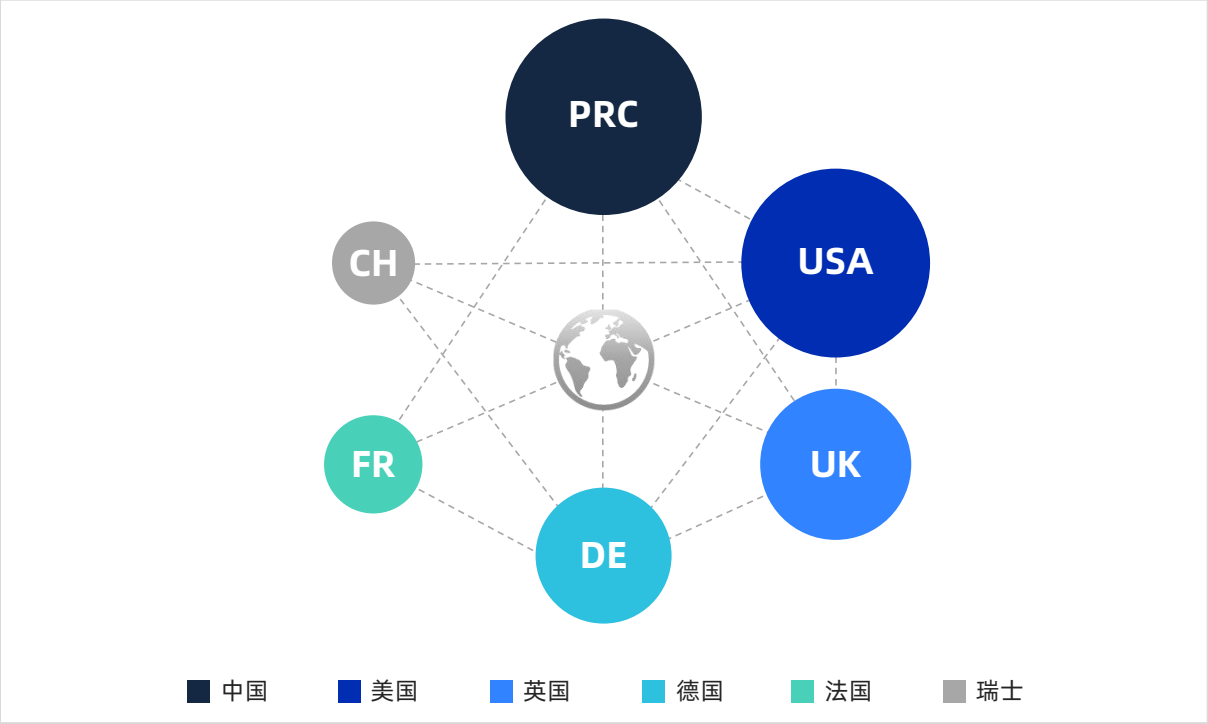
- **英国**出台了2项国家级政策，涵盖支持创新、建立测试平台和加强国际合作等诸多措施，推动量子精密测量技术的产业化发展。尽管政策数量相对较少，但从社会资本的投融资情况来看，英国共完成3笔融资，总金额约0.12亿美元，排名全球第三位。

- **印度**和**韩国**也发布了相关政策，但在社会资本方面尚未有具体投融资活动。

05 区域合作生态显现

2024年，量子精密测量领域的全球合作生态显现出以下区域化特点：美国领先且合作广泛；中国进展显著但合作相对有限；欧洲地区整体协同发展。

图表 2024年全球主要科技国量子精密测量合作生态网络建设情况



光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

- **美国**在整体进展数量上较为领先，合作的国家范围较广，涵盖了欧洲、亚洲和北美等多个关键地区，彰显了美国在推动量子精密测量全球化发展方面的强大资源整合能力和影响力。

- **中国**在进展数量上同样具有显著优势，反映了其作为量子精密测量发展重点国家的地位，但其国际合作次数相对较少，表明在全球竞争加剧、技术封锁日益严峻的背景下，中国在推动相关合作时主要还是依赖于本国的资源。

- **英国**和**德国**作为欧洲地区的两大主要科技国，形成了较为紧密的区域性协作网络，合作国家包括美国、瑞士、法国等。而**法国**、**瑞士**等欧洲国家在量子精密测量这一领域，同样也表现出了较强的合作意愿，通过参与多国间的技术合作、交流与共享，在特定技术领域内找到了各自独特的突破点，推动了欧洲量子精密测量产业整体协同发展。

06 应用广泛潜力巨大

从国防安全到医疗健康，量子精密测量技术的创新应用正不断拓展，为未来发展开辟了新的道路。到2035年，全球量子精密测量行业产业规模有望达到44.97亿美元，其中下游应用规模将达到17.99亿美元，主要细分领域的发展态势如下：

- **原子钟**凭借高精度的数据和解决方案，未来有望在卫星导航、航天交通、金融科技等领域实现大规模应用，预计2035年其应用规模将达到4.62亿美元。

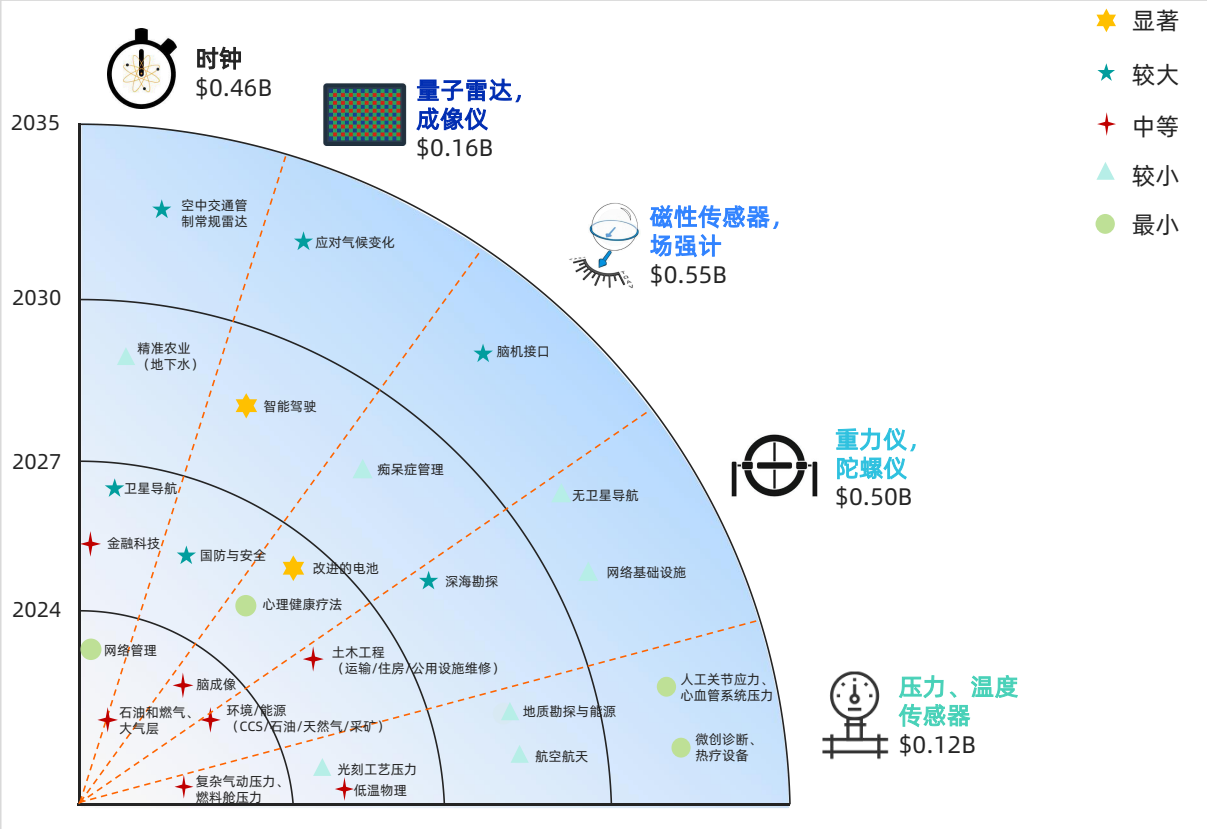
- **量子成像**与**量子雷达**以其高分辨率和高灵敏度，不仅在国防安全领域展现独特优势，还有望推动智能驾驶、虚拟现实和应对气候变化等领域的创新发展，预计2035年其下游应用规模将达1.56亿美元。

- **量子磁力传感器**借高时间分辨率和高空间分辨率特性，有望为老年痴呆症治疗、脑机接口和新能源领域带来新突破；**量子电场强计**通过捕捉微弱电场信号，在生物医学与工业检测领域展现潜力。预计2035年，量子磁力传感器和电场强计下游应用规模将分别达4.75亿美元和0.78亿美元。

- **量子重力仪和陀螺仪**凭借动态场景下的稳定性，可以更精准地探测地下资源（如矿产、石油等）以及基础设施（如地下管道等），因此在能源环保、土木工程等领域具有广阔应用前景。预计2035年，量子重力仪和陀螺仪下游应用规模将分别达4.35亿美元和0.68亿美元。

- **量子压力传感器**在极端工业环境（如高温、强腐蚀）中表现优异，未来可推动生物医学检测与工业自动化升级；**量子温度传感器**精度可达皮开尔文量级，有望在航天航空、微创诊断等领域实现应用。预计2035年，量子压力传感器和温度传感器下游应用规模将分别为0.41亿美元和0.82亿美元。

图表 量子精密测量产业应用时间及2035年应用规模概览



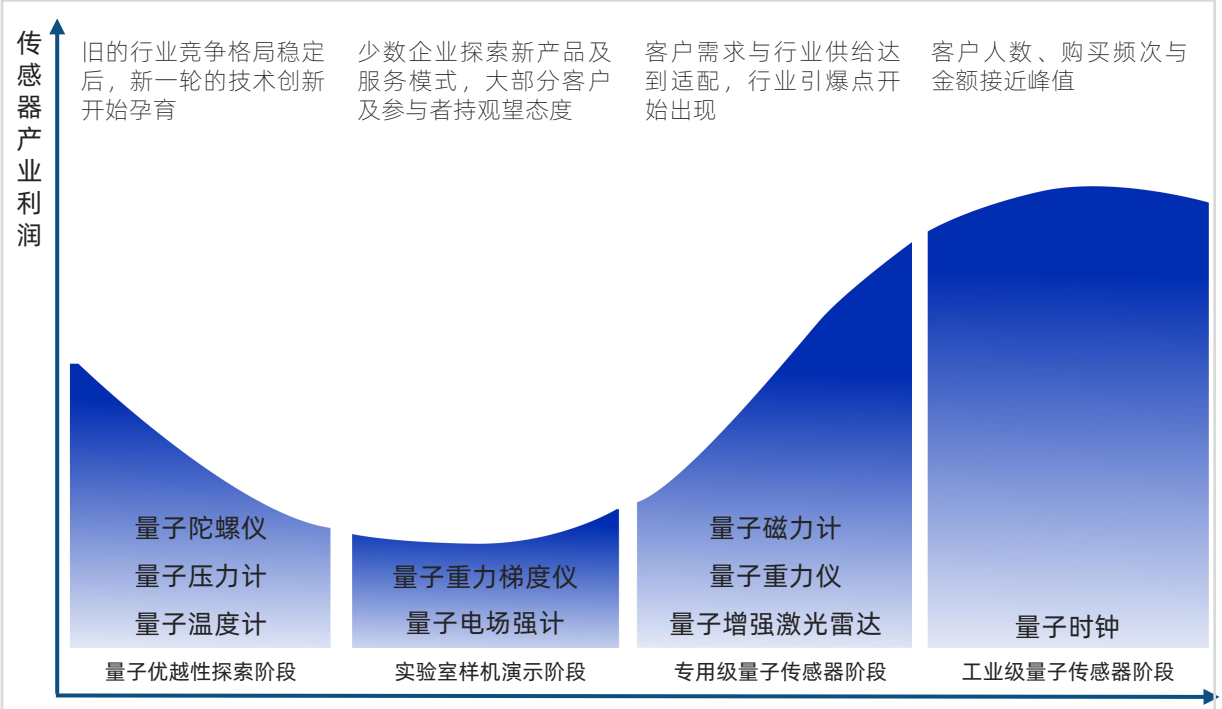
ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

注释：该数据均为2035年下游应用规模（十亿美元）

07 多元发展驱动变革

2024年，量子精密测量领域呈现出多样化的发展阶段，不同物理量的量子传感器在成熟度上存在差异，这种差异既反映了技术层面的挑战，也体现了它们在商业应用上的不同进展情况。

图表 量子精密测量产业发展周期示意图



萌芽期	起步期	成长期	成熟期
• 由传感器领域成熟企业与初创企业共同引导，完成初步概念验证 • 相较于MEMS经典技术，基于量子技术的陀螺仪、压力计和温度计尚未展现出优势 • 代表企业：North Groumman、AOSense、Qnami	• 初创企业及大量科研机构开始加入硬件研发行列，样机尺寸、功率超过经典传感器 • 量子电场强计的相关技术较为成熟，但缺乏相关标准制定 • 代表企业：Exail、科微量子、Rydberg、清远天之衡、中科酷原	• 各技术路线的专用量子传感器不断涌现，并且在某些参数指标上对比经典传感器有较大优势 • 该阶段具有高动态可靠性、高精度、高分辨率等性能优势 • 代表企业：Twinleaf、国盾量子、MEGIN中科酷原、昆迈医疗、国耀量子	• 传感器开始小型化、集成化，在参数指标上对比经典传感器有数量级的优势 • 主要由下游新应用场景的需求驱动产业链进一步细化，产线扩张直至供需平衡 • 代表企业：AccuBeat Ltd、天奥电子、科微量子

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

02

核心组件进展

目录 02 核心组件进展

01 上游发展势头强劲

02 核心硬件为性能提升关键

03 外围保障系统朝向定制化发展

04 辅助硬件向集成化方向发展

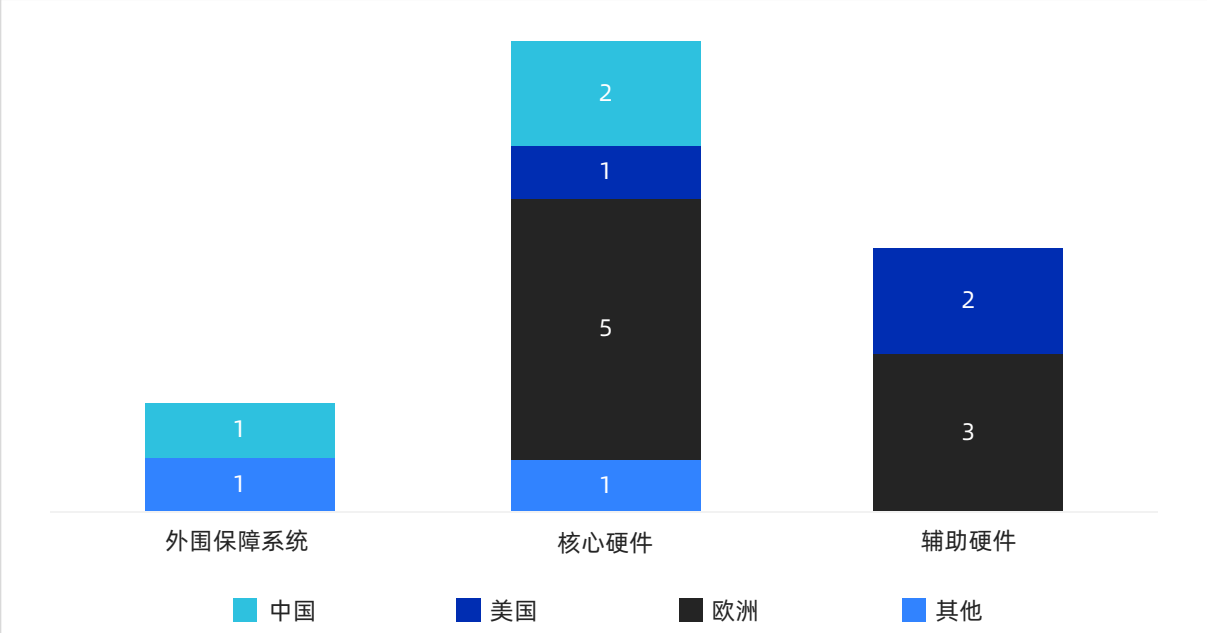
01 上游发展势头强劲

量子精密测量的上游涵盖了外围保障系统、核心硬件以及辅助硬件等多个方面，为高精度测量提供了必要的基础支持。

2024年，全球量子精密测量上游各领域呈现齐头并进，蓬勃发展态势。其中，探测器相关进展最为显著，主要体现在其性能参数提升和运行环境优化等方面。

中美欧地区成为探测器领域的主要突破地，其中欧洲地区又以英国、荷兰、德国和瑞士为主。激光器方面，除中美欧外，新加坡也在其精细度和设计等方面取得了一定成果。

图表 2024年量子精密测量上游核心组件领域的主要进展情况



光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2　　注释：该数据均为各国在量子精密测量上游核心组件领域的主要进展数量

此外，2024年，在射频器件和其他辅助硬件的研发方面，各国均有不同程度的进展。例如，美国在射频器件的设计和应用拓展方面取得了显著成果；欧洲则在功率分析仪、压控振荡器、谐振器等其他硬件设备方面取得了重要进展。

相比之下，虽然2024年的外围保障系统进展相对较少，但中国和日本在低温制冷等领域也取得了一些阶段性成果，为量子精密测量系统的稳定运行提供了有力保障。

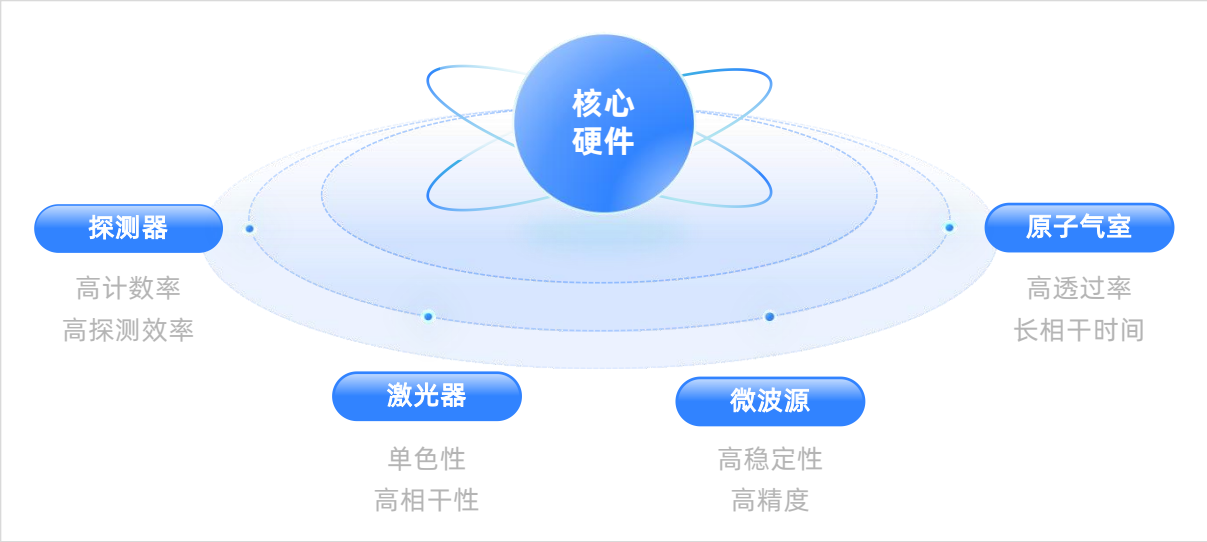
02 核心硬件为性能提升关键

目前，量子精密测量的上游核心硬件行业正处于快速发展阶段，硬件设备主要包括探测器、激光器、微波源、原子气室等。

近年来，随着量子雷达等产品不断落地，单光子探测器在核心硬件中的地位愈发凸显，而随着对单光子探测技术的不断演进，尤其是超导纳米线单光子探测器（SNSPD）展现出的独特优势，该细分领域进展迅速，全球企业竞相布局。

此外，优化激光器性能与探索新型设计，降低微波源相位噪声等，也成了提升量子传感器测量性能的关键。

图表 量子精密测量核心硬件协同架构图



光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

单光子探测器在量子精密测量应用中占据重要地位

单光子探测器作为量子精密测量技术中的关键元件，通过探测光子的存在，实现对量子态的高效、精准测量和计数，主要用于量子增强雷达、光钟等设备。

从分类来看，单光子探测器主要包括基于半导体材料的雪崩光电二极管（APD）、超导纳米线单光子探测器（SNSPD）和单光子光电倍增管（PMT）。

这些技术各自具有不同的优缺点，但随着技术不断演进，基于半导体材料的雪崩光电二极管尤其是超导纳米线单光子探测器逐步在量子精密测量领域中占据了主要地位。

高速、低抖动、低单通道成本是未来主要发展方向

目前，超导纳米线单光子探测器在技术方面已经证明其在高计数率、低暗计数率和高探测效率方面的优势，尤其在要求高性能、低噪声的应用（如雷达等）中表现突出。

此外，超导纳米线单光子探测器的无后脉冲和低时间抖动，在荧光寿命成像、荧光相关光谱等时间相关应用中也具有较为明显的优势。

- 未来，单光子探测器将朝着**高速、低抖动、低单通**道成本等方向发展，并且通过**增大光敏面、小规模阵列、更远工作波段**等方式，进一步拓展其在量子精密测量领域的应用范围。

01 Qumi-2000超导探测激光扫描共聚焦显微镜

赋同量子推出Qumi-2000超导探测激光扫描共聚焦显微镜，用于近红外二区成像，具有更大活体成像深度和更高空间分辨率，适用于多领域生物检测与表征。

赋同量子 PHOTEC

02 世界上最小量子限噪单片电子-光子集成零差探测器

英国布里斯托尔大学的研究人员在硅芯片上集成了世界上最小的量子限噪单片电子-光子集成零差探测器，其占地面积为80微米×220微米，采用250纳米光刻双极CMOS工艺制造。

University of BRISTOL

03 超高速、光子数可分辨光量子探测器

中国科学院上海微系统所研究团队利用三明治结构超导纳米线、多线并行工作的方式实现最大计数率5 GHz、光子数分辨率61的超高速、光子数可分辨光量子探测器。

SIMIT 中国科学院 上海微系统与信息技术研究所

市场需求不断增加

近年来，随着量子雷达和医学成像等领域的快速发展，对超导纳米线单光子探测器的需求也在逐年增加。

目前，全球超导纳米线单光子探测器市场主要集中在北美地区，主要供应商包括俄罗斯的Scontel、瑞士的IDQ和荷兰的Single Quantum等公司。预计2024年全球市场规模将达到4.52亿美元，到2026年有望增长至4.81亿美元，2022年至2024年期间的年复合增长率（CAGR）约为3.21%。

在中国，超导纳米线单光子探测器市场正快速增长。2024年，该产品的市场规模预计为0.10亿美元，到2026年有望增至0.11亿美元，2024年至2026年期间的年复合增长率（CAGR）约为4.16%。中国主要供应商为赋同量子，作为率先产业化的公司，该公司的产品基本可以满足本国的市场需求，2024年在中国的市占率约73%，主要客户群体为高校及科研机构。

01 赋同量子SNSPD系统达国际领先水平

赋同量子SNSPD系统最高探测效率98%，最大计数率 > 50MHz，最低暗计数率0.02cps，达国际领先水平。

赋同量子 —PHOTEC—

02 可实现高性能检测的ID281 Pro SNSPD系统

瑞士ID Quantique推出 ID281 Pro SNSPD系统，一种紧凑、自主的机架式超导纳米线单光子探测器系统，可在量子平台中实现高性能检测。

IDQ FROM VISION TO TECHNOLOGY

激光器性能优化与新型设计探索进一步提升了传感器精度

激光器凭借其高亮度、单色性和高相干性等优势，在量子精密测量中扮演着至关重要的角色。

然而，为了进一步提升测量精度，激光器需具备低噪声、稳定输出的特性。超稳激光器，特别是那些具有极窄光谱线宽的激光器，成为了实现这一目标的关键。

- **以光钟为例，**其利用超稳激光器，能够实现极高精度的时间测量，从而可以在大地测量等领域中，解析厘米尺度的引力红移现象。

与此同时，随着对激光器性能要求的不断提高，研究学者开始探索新型激光器设计，以进一步提升其稳定性和精度。

其中，极低精细度腔体激光器成为重要研究方向。这类激光器通过特殊的设计，能够在保持较高输出功率的同时，实现极窄的光谱线宽，从而在量子传感器中展现出独特的优势。

目前，全球用于量子精密测量的激光器主要供应商为德国Toptica、英国M Squared以及美国的Vixar和Coherent等。中国企业的主要供应商为上海频准、北京优立光态等。上海频准的量子用激光器已有部分指标全球领先，且在价格方面也仅为其他同类产品的三分之一，因此除本国外，也远销美国、瑞士等国家。

01 极差腔激光器输出功率等指标创连续波激光器新低

北京大学等研究团队展示精细度2.01的极差腔激光器，输出功率数十微瓦，光谱线宽1.2kHz，腔体拉力系数0.0148，创连续波激光器新低。

北京大学 PEKING UNIVERSITY

降低微波源的相位噪声是提升量子传感器测量性能的关键

微波源在量子精密测量中扮演着核心角色，它用于产生微波信号，并与量子态系统如原子或分子产生共振相互作用，以实现对这些系统状态的精确控制。

量子传感器，如原子钟、重力仪、量子雷达等，其性能高度依赖于微波源所提供的高稳定性、高精度的微波信号，因此这些设备对微波源技术的集成化、低相位噪声等性能指标提出更高要求。

- **以冷原子干涉重力仪为例，**其主要噪声来源包括探测噪声、拉曼光光强噪声和拉曼光相位噪声等。其中，**拉曼光相位噪声**直接影响干涉的总相位的波动，是冷原子干涉仪系统的主要噪声源。微波源驱动电光相位调制器生成拉曼光，而微波源的相位噪声水平直接决定了两束拉曼光之间的相对相位噪声。

因此，微波源的相位噪声不仅影响自身的性能，还会通过驱动电光相位调制器进而影响拉曼光的相位噪声，最终对整个冷原子干涉重力仪的测量性能产生显著影响。

在全球市场上，德国罗德施瓦茨（收购苏黎世仪器）与美国是德仪器是主要供应商，而中国普源精电也已具备任意波形发生器等产品，能够为本国量子精密测量相关厂商提供支持。

01 微波相位噪声对NV传感器响应的影响

美国新墨西哥大学等研究机构研究了微波相位噪声对NV传感器响应的影响，发现其会导致有效的pT s1/2-范围本底噪声。

THE UNIVERSITY OF NEW MEXICO

微纳技术和冷原子技术助力原子气室实现微型化和高性能化

随着微纳技术的发展，原子气室的尺寸逐渐缩小，甚至可以集成到芯片级别。这种微型化不仅提高了设备的灵活性和便携性，降低了成本，还使得量子传感器在生物医疗检测、小型化导航、便携式光谱分析等场景下更具应用潜力。

- **原子气室的性能对原子钟的灵敏度起着关键作用。**原子钟依赖原子气室中原子的能级跃迁来产生稳定的频率信号，原子气室的温度均匀性、原子密度分布、缓冲气体特性等性能参数，都会影响原子能级跃迁信号的稳定性和强度，进而影响原子钟的灵敏度。

- **中游企业更倾向于选择定制化的原子气室。**由于不同原子钟对原子气室的性能需求各异，例如铷原子钟和铯原子钟在原子种类、气室尺寸、缓冲气体压强等方面要求不同，因此定制化原子气室成为中游企业满足特定研发和生产需求的更优选择，以满足特定原子钟的研发和生产需求。

此外，气室中原子的全球供应商有俄罗斯国家原子能集团以及美国的American Elements等；中国在气体充制方面多为科研院所，如北京量子院等。

03 外围保障系统朝向定制化发展

外围保障系统是量子精密测量实验得以顺利进行的基础，其性能直接关系到测量结果的稳定性、准确性和可靠性。该系统主要涵盖低温系统、磁屏蔽系统、真空系统和隔振系统等。

尽管外围保障系统对于量子精密测量意义重大，但目前仍面临成本和性能等方面的挑战。

- **在成本方面**，构建和维护这些系统的费用高昂；
- **在系统性能方面**，随着量子精密测量精度要求的不断提高，对各保障系统的性能指标也提出了更严苛的要求。

此外，系统集成和兼容性也是难点之一。不同的外围保障系统在运行过程中可能会相互影响，如真空系统中的电磁干扰可能会影响磁屏蔽系统的性能，这就需要在系统设计和集成过程中充分考虑兼容性问题，研发有效的解决方案。

图表 量子精密测量外围保障系统协同架构图

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

未来，随着量子精密测量技术在通信、导航、生物医学检测、地质勘探等领域的广泛应用，为了满足市场日益增长的定制化需求，外围保障系统需要持续创新，在技术、材料和系统设计等方面不断突破，以推动量子精密测量技术的进一步发展和应用。

低温系统的长期稳定性、低温环境下的精度控制等将成为研究重点

随着量子精密测量技术的快速发展，低温系统在确保量子态稳定性和减少热噪声方面的作用愈加凸显。磁力计、加速度计、原子钟等量子传感器，部分技术路线需要将温度控制在特定的低温范围内运行。

近些年，低温系统的技术突破不仅体现在冷却效率和系统集成化方面，也包括降低成本、提高稳定性以及延长系统寿命等关键因素。

未来，为了满足下游应用的高精度要求，低温系统的**长期稳定性、低温环境下的精度控制、量子系统的优化**等方向将成为研究的重点。同时，在系统设计时需要综合考量**系统体积与成本效益**的关系，体积较大的低温系统往往能容纳更多测量通道，从而有效降低每条通道的成本。

01 最新、容量最高的4K低温冷却器

日本住友研制的低温冷却器是最新、容量最高的4K低温冷却器，在4.2K（50/60Hz）时容量高达9.0W。

SHI Cryogenics Group

此外，脉管制冷机和GM制冷机作为预制冷系统的关键组成部分，为需要低温环境的各种应用提供了稳定、可靠的制冷解决方案。

目前，全球脉管制冷机的主要供应商为日本住友以及Cryomech（被Bluefors收购）。中国GM制冷机和脉管制冷机的供应商有中船鹏力超低温、氢合科技、中电科等。

磁屏蔽系统正朝着高效、集成、低成本的方向发展

在量子精密测量领域，由于被测系统的量子态极易受到周围环境的影响，外界磁场的干扰会导致量子态的不稳定，进而降低测量精度、使得系统稳定性变差。

因此，磁屏蔽系统成为保障量子精密测量系统正常运行的关键组件之一，主要为有效隔离外界磁场，保护量子系统免受干扰。

近年来，低噪声材料、磁化控制等新型技术不断涌现，为提升磁屏蔽性能开辟了新道路，也为磁屏蔽技术的持续创新和发展提供了新的思路与方法。

- **新型低噪声材料**具有特殊的磁导率和极低的本底噪声，能够更有效地衰减外界磁场；
- **磁化控制技术**则通过精确调控材料的磁化状态，优化磁屏蔽结构，进一步提升屏蔽效果。

01 低噪声材料对降低磁噪声具有重要意义

北京航空航天大学研究发现，低噪声材料如尖晶石铁氧体、非晶和纳米晶对降低磁噪声具有重要意义。

北京航空航天大学 BEIHANG UNIVERSITY

在技术进步、市场需求推动以及材料创新的多重驱动下，磁屏蔽系统正朝着高效、集成、低成本的方向发展。通过这些发展方向的实现，有望达成更理想的动态磁屏蔽效果，满足量子精密测量等领域日益严苛的应用需求。

当前，全球主要科技国在磁屏蔽产品供应方面均有布局。美国Twinleaf、英国牛津仪器等公司的磁体相关产品在高精度科研领域均拥有广泛的客户群体。

真空系统将朝定制化与小型化方向发展

真空系统在量子精密测量领域扮演着举足轻重的角色。作为真空系统的核心组件，分子泵能够以高效的方式抽取气体分子，将真空腔内的压强降至极低水平，从而创造出满足量子技术需求的极高真空环境。

而随着量子精密测量技术的飞速发展，对真空系统的性能提出了更为严苛的要求。未来，真空系统将呈现出定制化和小型化的发展趋势。

- **在定制化方面**，针对不同类型的量子传感设备，量身设计真空系统，不仅能优化系统性能，还能在较大程度上实现能源的节约，以满足多样化的实验需求；
- **在小型化方面**，随着技术的持续进步，真空系统的设计越来越趋向于更小的体积和更高的集成度，不仅大幅减少了空间占用，还有效提升了系统的运行效率和可靠性。

01 极限压力、定制化真空解决方案

德国莱宝的超高真空泵系统，能够实现最佳极限压力，即< 1 x 10^-11 mbar，泵速可达0.2-1200升/秒，并且可为高精密测量领域提供定制化真空解决方案。

Leybold

在这一发展趋势下，高性能分子泵和真空计作为真空系统的核心组件，未来市场需求将显著增加。

目前，全球范围内提供高性能分子泵的供应商主要集中在欧美地区，例如英国的Edwards、美国的安捷伦等。在高精度真空计市场，同样主要由欧美企业主导，如瑞士的英福康、美国的MKS Instruments、德国的莱宝真空等。

而中国在高性能分子泵领域，虽然近年来取得了一定的发展，但与欧美企业相比，本土企业数量较少，技术水平仍有提升空间，尚未出现性能最优、市场占比较高的企业，仍需加大研发投入，突破技术瓶颈，提升在国际市场上的竞争力。

04 辅助硬件向集成化方向发展

量子精密测量的上游辅助硬件包括射频器件、高频线缆、光电信号放大器、光电/声光调制器等，它们共同确保着量子态信息的准确传输、灵活处理与高效分析。

其中，射频器件凭借其在信号调制、频率控制和量子态操控中的核心功能，在量子精密测量领域中占据重要地位，未来将向着高频化与集成化方向发展；通过新材料研发低温线缆未来将进一步提高信噪比，以满足极低温测量需求；调制器未来发展重点在新材料、低噪声设计等方面。

图表 量子精密测量辅助硬件协同架构图

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

射频技术将围绕提高频率范围、降低噪声、增强稳定性、集成化等方向发展

射频技术作为量子精密测量领域的关键支撑技术，基于量子与射频场相互作用的物理原理，在信号调制、频率控制以及量子态操控过程中发挥着举足轻重的作用。

在量子精密测量体系里，射频器件通过精准地产生和调控射频场，利用射频场与原子或离子的相互作用，驱动其运动状态改变，进而辅助达成高精度测量。

以原子钟为例，射频场需精确匹配原子的特定能级跃迁频率，实现对量子态的高精度驱动以及能级的精细控制，从而确保原子钟的超高精度计时。

- 未来，基于量子精密测量不断迈向更高精度和更快速度的发展需求，射频技术将围绕**提高频率范围、降低噪声、增强稳定性、集成化**等方向发展。

当前，全球射频器件供应商有美国Mini-Circuits、英国Teledyne e2v以及德国attocube，中国的中微达信、普源精电等。

01 射频感知分析优化5G-Advanced功率放大器的EVM

美国是德科技提供射频感知分析，助力设计人员在考虑电磁封装寄生效应的情况下优化5G-Advanced功率放大器的EVM。

KEYSIGHT TECHNOLOGIES

新材料与提高信噪比是低温线缆未来发展方向

在量子精密测量领域，低温线缆的主要任务是在维持超低温度的严苛环境下，稳定且准确地传输信号。在低温环境下，传统线缆内部微观结构会发生变化，电子散射现象加剧，导致散射噪声大幅增加。

这种高噪声严重降低了针对量子态的控制信号的信噪比，使得信号容易受到干扰，进而影响测量结果的准确性与可靠性。

为进一步提升量子精密测量的性能，低温线缆的未来研究方向将主要围绕开发新材料与提高信噪比展开。

- **在新材料开发方面**，将集中在探索具有特殊电子结构和物理性质的材料，如某些低温下具有极低电阻温度系数和良好电磁屏蔽性能的超导材料或复合材料；
- **在提高信噪比方面，**不仅依赖于新材料的应用及线缆结构设计的优化，如采用特殊的屏蔽层结构、改进信号传输线的几何形状等，还涵盖基于先进算法的实时降噪处理技术研发，以减少外界电磁干扰对信号的影响。

目前，全球已有如日本Keycom公司、法国Radiall公司等供应商。中国西部超导公司等为本国主要低温线缆的供应商。

01 超导磁共振成像仪通过NbTi线材填补中国市场空白

西部超导专注于超导磁共振成像仪（MRI）等高端医疗装备所使用的超导线材的技术攻关，成功在较短时间内实现了单根万米级铌钛（NbTi）超导线材的量产和批量应用。

西部超导 WESTERN SUPERCONDUCTING

电光调制器将围绕探索新材料、降低噪声、多功能集成等方向发展

在传感技术范畴，光信号凭借其高带宽、低损耗、抗电磁干扰等独特优势，在诸多高精度测量与复杂环境控制应用中展现出不可替代的作用。

因此，将电信号高效、准确地转化为光信号成为此类应用中的关键环节，而电光调制器正是达成这一转化的核心器件。

凭借先进的材料工艺和结构设计，电光调制器能够在高精度、低噪声的环境中确保信号的稳定传输，极大地满足了量子传感对高精度测量的严苛要求。

01 高性能的硅光子抑制载波单边带（SC-SSB）调制器

美国桑迪亚国家实验室开发的高性能硅光子抑制载波单边带调制器，在1560纳米波长下能够实现光脉冲原子干涉仪（LPAI）中的动态频率转换。

Sandia National Laboratories

随着传感技术不断向高精度、低噪声和小型化方向迈进，未来电光调制器的发展将聚焦于多个关键领域。

- **在新材料探索方面，**新型电光材料的研发是提升调制器性能的关键。研究人员致力于寻找具有更高电光系数、更宽带宽响应以及更低损耗的材料，如新型有机聚合物、铁电晶体等。

- **在低噪声设计方面，**极小的噪声都可能对测量结果产生显著影响。未来需通过优化调制器的电路布局、采用先进的屏蔽技术以及低温制冷等手段，降低热噪声、散粒噪声和1/f噪声等，确保调制器在极低噪声水平下工作，提升量子测量的精度。

- **在多功能集成方面，**除了基本的电-光调制功能，未来调制器将集成更多功能，如信号处理、波长转换、光开关等。通过多功能集成，调制器能够在单一器件内完成复杂的光学信号处理任务，为量子精密测量系统提供更灵活、高效的解决方案。

当前，除电光调制器外，全球各主要科技国都在积极研发并供应各种调制器，例如中国电科的声光电调制器、法国AA Opto Electronic公司的高光功率声光调制器（AOM）等。

03

技术商业进展

目录 03 技术商业进展

01 磁场测量

02 时频测量

03 位移/相位测量

04 重力测量

05 旋转测量

06 电场测量

07 应力应变测量

08 温度测量

09 软件算法平台

01 磁场测量：技术多点突破，商业化进程加速

在磁场测量领域，量子精密测量技术借助量子物理的独特特性，开辟了高精度与高灵敏度测量的全新范式。

与传统磁场测量手段相比，量子磁力计基于这些量子特性，能够探测到极其微弱的磁场变化，例如在皮特斯拉（pT）量级的磁场测量中表现出卓越的性能，大幅提升了测量精确度，突破了传统磁场测量的极限。

量子磁力计领域涵盖了超导、固态、囚禁原子/离子等多个技术分支，进而催生出诸如超导量子干涉仪（SQUID）、原子磁力计、基于氮-空位（NV）色心的磁场传感器等多种类型的应用产品。

近年来，量子磁力计的市场规模持续增长，在科研、医疗、地质勘探、国防安全等多个领域得到了广泛应用。然而，商业化过程中也面临着一些挑战，如成本较高、技术集成难度大、市场认知度有待提高等。

技术：多路径技术方案并进发展

SQUID磁力计持续追求性能提升

超导量子干涉器件（SQUID）磁力计作为量子磁力计家族中的重要成员，尽管依托相对传统的超导技术，但在技术创新方面仍有较大突破。

SQUID磁力计的发展紧紧围绕提升关键性能指标，包括灵敏度、效率、检测距离和精度等展开。从物理原理来讲，SQUID磁力计利用超导约瑟夫森结的量子特性，对极其微弱的磁场变化产生响应。

新型远程两点磁梯度张量定位方法

- 中北大学与中国科学院提出新型远程两点磁梯度张量定位方法，利用自研SQUID磁强计和MGT不变量，结合准牛顿优化算法，将磁定位检测距离提升至500米，定位误差远小于1%，优于现有方法，且在10米等效实验中表现良好。

为实现性能的进一步飞跃，2024年，科研人员运用了**多种创新性设计与方法**。例如，采用八边形垫片优化SQUID传感器的磁通汇聚结构。

同时，**结合自研设备和先进的新算法**，如基于机器学习的自适应滤波算法，通过对采集到的磁信号进行智能分析和处理，能够有效去除噪声干扰，进一步提升了磁定位的精度。

固态自旋技术优势不断显现

在磁场测量领域，固态自旋技术正凭借其**高灵敏度、低噪声、高稳定性等独特的物理特性**迅速崛起。其中，金刚石NV色心作为固态自旋技术中的理想材料，展现出诸多优异特性，如长相干时间、无需低温冷却、生物亲和性和较高的空间分辨率等。

- **相干时间**可达毫秒量级，这意味着在较长时间内能够保持量子态的稳定性，为高精度测量提供了保障；
- **无需低温冷却**特点使其应用场景更加广泛，避免了复杂且昂贵的低温设备需求；
- **生物亲和性**良好，使其能够与生物样本兼容，在生物医学检测中具有独特优势；
- **空间分辨率**较高，能够达到纳米尺度，可用于对微观结构的磁场成像。

便携式、高度集成的金刚石磁力计模块

- 中北大学等开发出便携式、高度集成的金刚石磁力计模块（PHIDMM），灵敏度达0.54 nT/√Hz，敏感探头体积仅为8.8 cm^3。

高空间分辨能力和宽量程优势

- 南邮通信与信息工程学院研制出金刚石NV色心量子磁强计，实现0.01T-1.5T磁场范围的量子精密测量，具有高空间分辨能力和宽量程优势。

利用自旋制冷技术和cQED传感器建模

- 美国麻省理工学院等结合自旋制冷技术和cQED传感器建模，提升金刚石NV中心磁力计灵敏度，在15 kHz附近达到576 ± 6 fT/Hz的水平。

金刚石氮空位（NV）色心集成化磁力仪，突破百pT灵敏度

- 国盛量子研究团队采用金刚石氮 - 空位（NV）色心量子磁力测量与光探测磁共振技术，实现高灵敏度矢量磁场测量。该技术具备灵敏度高、动态范围大、采样率高等优势，适应多种测磁需求。基于此技术，国盛量子研制的量子金刚石磁力仪QDM-100产品现已突破百pT灵敏度，主要参数达到国际领先水平。

5至100Hz频率范围内实现显著灵敏度

- 日本东京工业大学、东京大学提出基于金刚石氮空位色心的灵敏量子传感器，在5至100Hz频率范围内具有显著灵敏度，兼容实际应用，最小测量距离约为1mm。

除了NV色心技术路线，其他固态体系也逐渐成为研究热点，推动量子磁力测量技术的进步。

- **以碳化硅半导体材料为例，**其具有宽禁带、高电子迁移率等特性，在量子磁传感器中应用时，能够有效提升传感器的响应速度和抗干扰能力。通过优化材料制备工艺和器件结构设计，基于碳化硅的量子磁传感器在灵敏度和稳定性方面取得了显著进展，同时也注重其在实际应用中的适配性，如在高温、强辐射等恶劣环境下的磁场测量应用。

六方氮化硼色心用于高灵敏度量子传感

- 美国佐治亚理工学院利用六方氮化硼（hBN）中的色心开发高灵敏度量子传感器，有望改变导航、医学成像等多种应用，实现原子尺度上的检测。

SERF磁力计具有显著优势，正从实验室走向实际应用

近几年，量子磁场探测技术在弱磁场中的灵敏度、精度和带宽等关键性能指标得到了显著提升。

特别是通过巧妙利用原子体系的特性，如优化原子组合和精细设计原子室，量子磁力计在极弱磁场测量中的表现得到了显著突破。

其中，光泵磁力计（OPM）因其无零点漂移、响应快速等优势而备受关注，而在此基础上发展出的SERF磁力计则具有非低温操作、易于小型化以及高空间分辨率等特性，目前已逐步从实验室阶段走到实际应用。

带宽1.1kHz的紧凑型三轴无SERF磁力计

北京大学 PEKING UNIVERSITY

- 北京大学团队开发紧凑型三轴无SERF磁力计，带宽拓宽至1.1kHz，保持高灵敏度，体积小巧，成功应用于脑磁测量。

单光束混合光泵无SERF原子磁力计

西安交通大学 XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

- 西安交通大学团队展示基于微加工原子蒸气室的小型化单光束混合光泵无SERF原子磁力计，达到20fT/√Hz的最佳磁灵敏度，在生物磁测量领域展现出显著优势。

利用大规模样本进行MEG系统验证

三博 Sanbo 首都医科大学三博脑科医院 Sanbo Brain Hospital, Capital Medical University

昆迈医疗 QUANMAG HEALTHCARE

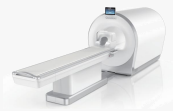
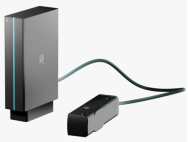
- 首都医科大学三博脑科医院栾国明团队利用大规模样本，成功验证了昆迈医疗自主研发的PyraMag Epoch 64脑磁图系统，该系统采用的OPM-MEG性能与国际领先的SQUID-MEG系统性能相媲美。

产品：量子磁力计的产业化进程近年来发展迅猛，全球范围内形成了激烈竞争格局

近年来，量子磁力计的产业化进程展现出强劲势头，各国团队纷纷积极开发高性能的量子磁力仪，形成了激烈的竞争格局。

其中，Biomagnetic Park、Compumedics Limited、CTF MEG、MEGIN等公司专注于SQUID脑磁图仪领域，而Cerca Magnetics Limited、FieldLine、未磁科技、昕磁科技、昆迈医疗等公司则专注于OPM脑磁、心磁图仪等领域，国仪量子则专注于NV色心磁力计在电网、电池检测等领域的应用。

图表 2024全球量子磁场测量领域部分代表性企业产品及参数

机构	产品分类	产品参数	应用领域	产品外观
昆迈医疗 QUANMAG HEALTHCARE 中国	OPM（SERF）	型号：PyraMag Epoch 系列 灵敏度：10-20fT	脑疾病临床诊断和脑科学研究	
未磁科技 X-MAGTECH 中国	OPM（SERF）	型号：Marvel MEG 灵敏度：10fT	脑科学 脑机接口 脑疾病研究	
Q.ANT 美国	NV色心	型号：Q.DM 10 灵敏度：10 pT/√Hz 动态范围：2.7μT	用于研究和工业的高精度磁场测量	
国盛量子 CHINAPROSP QUANTUM 中国	NV色心	型号：QDM-100 测磁灵敏度：百pt量级 采样率：100 Hz	地面、海洋、航空和空间矢量磁场探测	

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

应用：生物医学与电力能源是量子精密测量技术在磁场领域的重要应用方向

生物医学领域作为量子磁力计的重要应用方向之一，对高精度、无损、高分辨率的磁场检测设备提出了持续增长的需求。特别是心磁、脑磁图仪等高端设备，其在神经科学研究、临床诊断等领域展现出巨大的应用潜力。例如英国伯明翰大学团队实现非线性磁光旋转本征光学泵浦磁梯度仪，适用于生物磁学应用，如人脑听觉诱发反应记录。

电力能源领域是量子精密测量在磁场应用的重要方向。由于电流流动产生磁场，因此可以通过测量磁场来测量电压和电流。电流量子传感器利用这一原理，将磁场测量转化为频率测量，提高准确性，并且采用非接触式测量方式，避免电路干扰。目前，远程溯源、远程校准等已经成为探索性研究的方向。例如，量子电压电流传感器可以通过频率的远程校准来保障量值的准确性，这种方法为计量领域的发展带来了新的可能性。

除了生物医学和电力能源的应用领域外，量子精密测量技术在磁场的应用领域还包括科学研究、军事国防、工业检测等。

科学研究领域，金刚石NV色心磁力计能够深入研究蛋白质以及DNA等微观结构，实现单分子识别。

美国马里兰大学　美国空军

美国马里兰大学获美国空军资助，建造量子生物传感测试平台，研究神经网络信息处理，为医疗健康行业的神经科学研究和新方法开发提供支持。

加拿大SBQuantum公司　欧洲航天局　加拿大航天局

加拿大SBQuantum与欧洲航天局（ESA）、加拿大航天局（CSA）签订新合同，探索量子金刚石磁力计在太空应用的可行性。

英国思克莱德大学　英国地质调查局

英国思克莱德大学与英国地质调查局等研究人员表明，可以通过添加将高灵敏度与本征校准相结合的远程量子磁力计来增强现有的地面基磁力计网络。

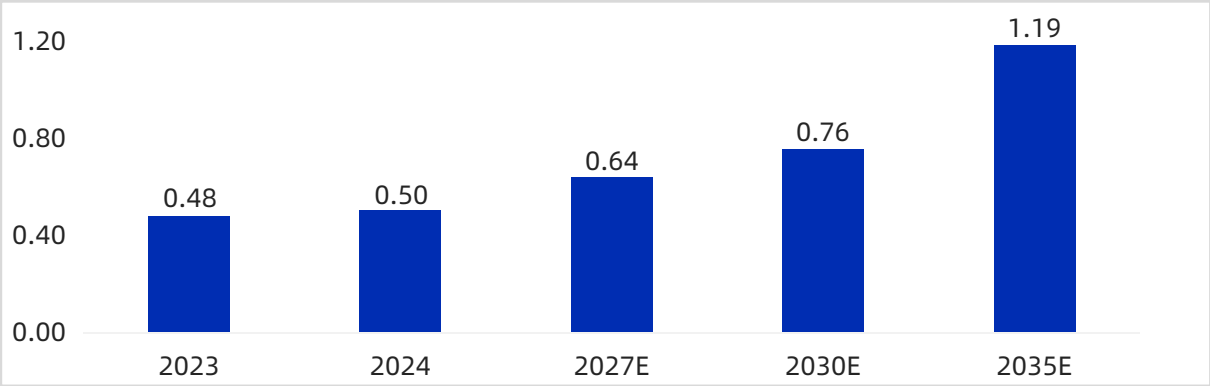
军事技术领域，量子磁力计已被应用于磁异常地图测绘与水上反潜技术。通过生成高精度的磁力地图，量子磁力计能够帮助显著提高反潜作战的效率和准确性。

工业检测领域，金刚石NV色心磁力计可用于金属探测、材料分析、无损探伤以及电池缺陷检测等方面，为工业生产提供了高效、准确的检测手段。

市场：欧美地区占据重要地位，市场竞争较为激烈

未来，量子磁场测量产业规模将逐年增长，预计2035年将达到11.9亿美元。

图表 全球量子磁场测量领域产业规模（2023-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

由于欧美地区在量子技术发展上的领先地位和产业化进程的较快推进，2024年两个地区共占据市场份额的2/3以上。预计到2035年，受到亚太市场竞争的影响，欧美地区的市场份额将缩减约11%。这一趋势反映了亚太地区在量子磁力计技术研究和应用推广方面的潜力和增长动力。

图表 全球各地区量子磁场测量产业规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

2024年，量子磁力计的应用主要集中在科研领域。随着技术的不断成熟和成本的逐步降低，量子磁力计的应用领域正逐渐拓展至医疗诊断、地质勘探等多个行业。预计2035年，民用领域的应用规模将有所上升，规模将达到1.5亿美元。

图表 全球量子磁场测量下游应用规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

02 时频测量：时间同步的精度革命

量子时频测量利用量子态的高度稳定性和精确性，在多个重要领域实现高精度的时间同步。常见的原子钟包括铷原子钟、铯原子钟、氢原子钟、芯片级原子钟（CPT原子钟）、冷原子钟和光钟、核钟等。

其中，核钟作为一种基于原子核中能量微小变化的新型时间计时器，其工作原理是利用特定频率的光波来诱发原子核的能量跃迁，通过精确测量和计算这些能量跃迁来计时。由于原子核的能量跃迁频率比电子跃迁频率更高，所以核钟在理论上具有比原子钟更高的精度。

此外，在原子钟的发展历程中，性能的不断提升是一个核心趋势。例如，美国科罗拉多大学研究团队打破了原子钟精度的纪录，研制的设备超过了之前所有光晶格钟的精度，时间测量误差在396亿年内不到一秒钟。

对于光学原子钟而言，研究重点集中在进一步提高频率稳定性以及延长其保持时间。这样的性能升级旨在满足各应用领域对时间同步更高精度和更长久稳定性的需求，从而为用户提供更为可靠的时间参考基准。

技术：驱动原子钟精度新高度

传统微波钟性能的进一步提高

铷钟和铯钟，作为当今最成熟且广泛应用的原子钟技术，在卫星导航、军事、通信等关键领域扮演着至关重要的角色。

然而，随着科学技术的飞速发展和对极端环境应用需求的日益增长，这两种原子钟在频率稳定性和准确度方面所遭遇的物理极限约束愈发显著，难以满足未来对更高精度计时需求的迫切追求。

为了突破这一技术瓶颈，各研究团队正积极投身于原子钟技术的深度研发与创新，致力于提升其频率稳定度和精度。

E-14量级的新型铷原子钟

- 中国科学院精密测量科学与技术创新研究院团队研制出新型铷原子钟，秒级频率稳定度达E-14量级，优于商用铷原子钟的E-11到E-12量级。

E-16量级的铯原子喷泉钟

- 中国科学院国家授时中心研制的铯原子喷泉钟获国际计量局认可参与校准UTC，频率不确定度为4.3×10^-16。

研制的微波钟接近光钟水平

- 北京大学与北京邮电大学团队实现205.86公里商用光纤链路上微波钟的飞秒级时间同步，接近光钟水平。

便携式、低成本是CPT原子钟未来重点发展方向

在便携式通信设备、小型卫星等应用场景中，体积小且性能高的原子钟成为迫切的需求。

为了满足这一需求，全球研究团队致力于提升CPT原子钟的性能。在研究过程中，科研人员普遍将关注点集中在CPT原子钟的关键性能指标上，这些指标包括短期频率稳定度、信噪比、鲁棒性、线宽以及分数频率稳定性等。

值得一提的是，小体积和低成本作为未来CPT原子钟技术的重要创新方向，正引领着研究团队们不断探索新的技术路径和解决方案。

椭圆偏振光方法能显著提高CPT共振信号的性能

- 北京无线电计量测试研究所与国防科技大学电子科学学院团队通过实验发现，椭圆偏振光方法能显著提高CPT共振信号的信噪比、减小线宽，预期能优化微型CPT原子钟的短期频率稳定度。

实现冷原子CPT时钟的高精度闭环锁定

深圳大学 SHENZHEN UNIVERSITY

中山大學 SUN YAT-SEN UNIVERSITY

- 深圳大学、中山大学等高校团队设计了一种自适应贝叶斯量子频率估计协议，通过实验验证其有效性，实现冷原子CPT时钟的高精度闭环锁定，分数频率稳定性提升了5.1（4）dB，对技术噪声具有更好的鲁棒性。

从实验室到市场化，冷原子钟的应用价值日益突出

冷原子钟作为量子时频领域的关键技术，凭借其卓越的精度性能，在计量、授时、基础科研等诸多领域扮演着不可或缺的角色。然而，冷原子钟在发展过程中也面临一些技术难题。

- 在设备结构方面，它需要**复杂的激光冷却系统**，包括多台高功率激光器、精密的光学元件和复杂的光路系统，用于产生特定频率和强度的激光束来冷却和囚禁原子。
- 同时，还需要**超高真空系统**，以减少原子与残余气体分子的碰撞，维持原子的相干态，这使得设备体积庞大、结构复杂。
- 此外，由于包含众多精密且体积较大的组件，导致冷原子钟的**便携性欠佳**，难以满足一些对设备便携性要求较高的应用场景。

高性能商业化冷原子钟

AQUARK TECHNOLOGIES

- 英国Aquark Technologies公司开发的高性能商用冷原子钟AQlock，采用“超级糖蜜”激光冷却技术，具有更高的便携性、坚固性和商业化潜力。

空间冷原子钟实现超高稳定性

中国科学院 CHINESE ACADEMY OF SCIENCES

- 中国科学院提出新型空间冷原子钟，基于腔内冷却方案，在微重力环境下延长冷原子与微波相互作用时间，地面测试达1.1×10^-12 τ^-1/2分数频率稳定性，200,000秒时达2.5×10^-15高稳定性水平。

目前，随着科研技术的不断进步，冷原子钟已逐步从实验室研究阶段迈向市场化应用阶段。

- **在商用方面**，研发重点在于优化设备结构，降低成本，提高设备的可靠性和稳定性，以适应不同商业环境的需求；
- **在科研领域**，则侧重于探索新的技术方法，进一步提升冷原子钟的精度和稳定性，挖掘原子钟技术的科学原理与极限性能，致力于实现技术与应用的深度融合与协同发展。

光钟超越传统原子钟成为精准授时的未来基础

光钟的高精度源于其对特定原子跃迁能级的精准利用以及先进的激光频率锁定技术，代表了当前时间频率测量技术的极致水平。

相较于传统的铷、铯原子钟，光钟在频率稳定性和准确度方面具有显著优势。这种巨大的性能优势使得光钟有望成为未来重新定义秒的基础，为全球时间计量体系带来革命性的变革。

中国科大锶光钟精度破5×10^-18

- 中国科学技术大学研究人员成功研制了万秒稳定度和不确定度均优于5×10^-18的锶原子光晶格钟，该系统不仅是当前中国综合指标最好的光钟，也标志着中国成为第二个达到该精度水平的国家。

E-19量级的锶原子光晶格钟

- 美国天体物理联合实验室（JLA）研究团队使用基于中性锶原子的光晶格钟，测得锶原子跃迁频率的系统不确定性达8.1×10^-19，较前期工作提高两倍多。

薛定谔猫态提升光钟精度

- 美国科罗拉多大学博尔德分校、NIST团队实现光学时钟中最多九个量子比特的GHZ型薛定谔猫态，并展示接近光学原子钟精度海森堡极限缩放的关键构建模块。

在光镊光钟中执行量子计算，以实现精度优化

Caltech

Stanford

- 加州理工学院与斯坦福大学研究人员在基于光镊的光钟中执行量子计算，构建可扩展的通用量子处理器以提高时钟精确度。

核钟研究推动时间计量迈向新精度

传统原子钟依赖原子外层电子跃迁计时，而核钟利用原子核内部量子跃迁。

以钍-229为例，因其独特的核性质成为光学核钟领域的潜在理想候选材料。研究人员利用前沿激光技术，对特定核素钍-229的核跃迁进行精细探究，通过精准调控激发光源，力求创造最优的实验条件，以稳步推动光学核钟的研发进程。

然而，钍-229稀缺且获取困难，实验成本高昂，放射性防护要求严格，限制了其大规模应用。

未来，核钟将向小型化、便携化发展，提升精度与稳定性，降低放射性风险与成本，以拓展应用范围。

激发了钍-229的8.4电子伏特核同质异能态

PTB Physikalisch-Technische Bundesanstalt National Metrology Institute

TU WIEN TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN Vienna | Austria

- 德国联邦物理技术研究院和维也纳科技大学团队成功共振激发了钍-229的8.4电子伏特核同质异能态，测得核共振波长为148.3821纳米，为光学核钟的实现奠定了基础。

利用VUV频率梳直接激发钍-229核钟跃迁

NIST National Institute of Standards and Technology

- 美国科罗拉多大学博尔德分校与NIST等团队利用VUV频率梳直接激发钍-229核钟跃迁，确定其绝对跃迁频率，与锶-87原子钟频率比测量精度提高六个数量级。

产品：铷钟和铯钟是最成熟且广泛应用的原子钟，光钟精度最高，核钟仍处于实验室研发阶段，尚未产品化

铷钟和铯钟是目前最成熟、应用最广泛的原子钟，光钟则是当前最先进、精度最高的原子钟，而核钟尚处于实验室研发阶段，仅有原型机存在，尚未实现产品化。

当前，在全球范围内，涉及该技术领域的企业众多，在不同的产品领域均有布局和发展。在CPT原子钟领域，主要包括北京科微量子科技有限公司、北景国测（上海）量子科技有限公司等，在铷原子钟领域，主要包括AccuBeat Ltd、Frequency Electronics、OROLIA等，在氢原子钟领域，主要包括Symmetricom、T4 Science、VREMYA-CH等。

这些企业的技术竞争和合作，共同推动了量子传感技术在时频测量领域的创新与发展。

图表 2024全球量子时频测量领域部分代表性企业产品及参数

机构	产品分类	产品参数	应用领域	产品外观
AccuBeat Ltd. Accurate Frequency & Time 以色列	铷钟	型号：AR133-3 稳定度： < 1E-11 @ 1s	航空领域 保密通信领域 电子情报领域	
OSCILLOQUARTZ A division of Adtran 瑞士	铯钟	型号：OSA 3235B 稳定度： < 1.2E-11 @ 1s	5G 数据中心 金融网络	
μQUANS iXblue 法国	冷原子钟	型号：MuClock 稳定度： ≤ 4E-13 @ 1s	全球导航 卫星系统 无线电导航 高性能网络同步	
UTokyo SHIMADZU Excellence in Science 日本	光钟	型号：250 L超高精度光晶格钟器件 稳定度： *E-18 @ 1s	先进的科学研究 相对论大地测量学	
Quanta-Well 科微量子 中国	CPT原子钟	型号：QA45 稳定度： 3E-10 @ 1s	水下导航 仪表仪器 卫星通信 无人系统设备	

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

注释：*为预估值，数据来源见参考链接；Muquans于2025年月被iXblue收购

应用：助力通信国防、通信、导航等多领域发展

量子精密测量在时频方面的下游应用主要聚焦在同步通信、国防军工等领域。

在同步通信领域，5G及未来6G技术对网络同步精度要求极高，量子精密测量技术以其高精度特性填补了传统技术的空白，成为确保通信网络可靠、高效运行的关键技术。

在国防军工领域，量子时钟可以提供极高的时间精度，确保战场中各节点能在准确且统一的时间基准下开展行动。

此外，高精度的时间频率在导航定位等应用领域发挥着不可替代的作用。例如，美国Infleqtion公司的光学原子钟Tiqker™具有较高的稳定性和坚固性，飞行试验证明其将改变导航和精确计时，树立定位、导航与授时（PNT）技术新标准。

Adtran 美国 Adtran

vodafone 土耳其 沃达丰

美国Adtran宣布沃达丰土耳其公司部署其Oscilloquartz光学铯原子钟技术，提供防GNSS信号中断的保护，确保5G服务期间的可靠连接，采用ePRTC+™解决方案。

Adtran 美国 Adtran

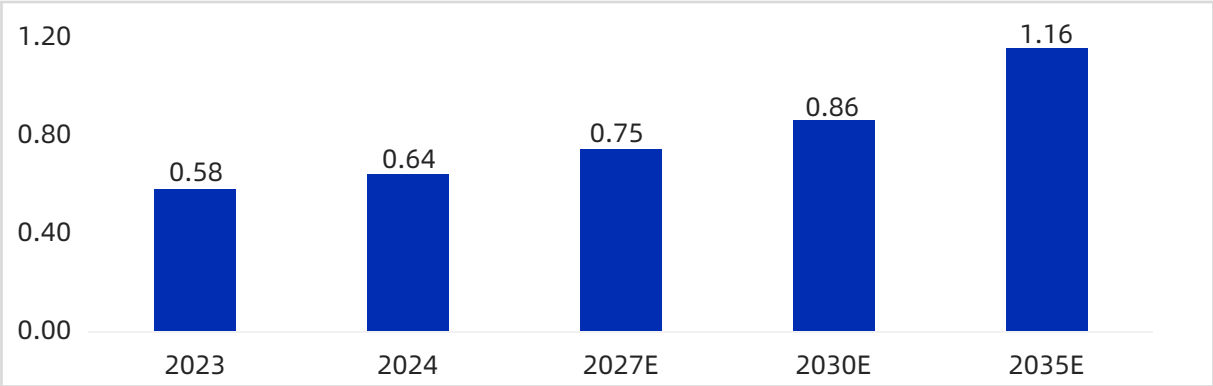
NETNOD 瑞典 Netnod

美国Adtran宣布Netnod利用其光泵铯原子钟技术为瑞典关键国家基础设施提供精确计时，通过coreSync™ OSA 3300-HP升级提高同步服务准确性、稳定性和使用寿命。

市场：市场化较为成熟，主要集中在军事领域

未来，量子时频测量产业规模将逐年增长，预计在2035年将达到11.6亿美元。

图表 全球量子时频测量领域产业规模（2023-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

北美地区量子时钟可能因为发展相对较早，市场成熟，是量子时钟最大的应用地区；欧洲与中国市场份额相近，也是目前主要的使用地区；亚太地区（除中国以外）约占9%及其他地区5%，相对较少，有一定的发展潜力。

图表 全球各地区量子时频测量产业规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

2024年，量子时钟的应用主要集中在军事领域，占据了约64%的应用规模。然而，随着光钟和分子钟等技术的进一步研究，以及5G和信息社会基础设施建设的推进，量子时钟在民用领域的应用将会快速增长。预计到2035年，民用领域的应用规模将达到1.4亿美元。

图表 全球量子时频测量下游应用规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

03 位移/相位测量：突破传统极限提升测量精度

在位移测量领域，量子精密测量技术凭借其量子态的高度敏感性，能够精确感知微小位移。与传统方法相比，它显著提高了测量精度和灵敏度，实现了超越衍射极限的成像分辨率，提高了成像灵敏度和信噪比，拓展了成像维度，在更广泛、更复杂的环境中保持稳定性能。

在相位测量方面，量子精密测量技术同样展现出巨大潜力。利用量子态携带的相位信息，能够实现光波、声波等波动现象的极高精度测量。其超越经典极限的相位灵敏度，为光学干涉仪、量子计量学等领域带来了革命性变革。

除了直接以位移或相位为测量对象的研究外，还有许多研究虽然并未直接将位移或相位作为测量目标，但其研究内容却与位移、相位等物理量或相关技术紧密相关。

- 例如，在量子成像领域，位移和相位测量在决定成像分辨率和对微小物体的成像能力方面起着关键作用。在基于量子关联成像的实验中，通过精确测量光子对之间的相位差和位移信息，能够重建出物体的高分辨率图像。

技术：技术创新与精确控制显著提升成像与测距水平

创新方案推动性能指标全面提升

在量子领域，研究微观粒子（如原子和光子）的行为及其相互作用，通常依赖于高精度的位移和相位测量。精准确定原子在晶格中的位置，以及光子在干涉过程中经历的位移和相位变化，是理解量子现象和量子态演化等基础物理问题的关键。

得益于持续的技术创新，高精度的量子成像设备以及量子雷达等满足了科研、能源、环保等多个领域对高精度、高分辨率位移与相位测量日益增长的需求。

开创量子干涉与增强空间灵敏度研究

UNIVERSITY OF PORTSMOUTH

- 英国朴茨茅斯大学提出了一种基于横向动量采样测量的量子传感方案，实现了对干涉光子横向位移的终极量子灵敏度估算，开创了量子干涉与增强空间灵敏度研究的新范式。

基于非线性量子Sagnac干涉仪的光学相位传感器

- 法国国家科学研究中心发现一种基于非线性量子Sagnac干涉仪的高精度光学相位传感器，通过测量二阶色散（即色散）展示了其高精度和准确性，降低了统计误差，使三阶色散测量误差小于5%。

显著提高相位测量的采样密度和角分辨率

- 香港城市大学与清华大学深圳国际研究生院提出了基于超表面透镜阵列的夏克-哈特曼波前传感器，显著提高了相位测量的采样密度和角分辨率，为光学相位测量带来革新。

精确控制量子相位与位移显著提升成像分辨率

量子成像技术通过精确控制量子相位，利用干涉效应来显著提升成像的分辨率和灵敏度。其中，量子相位是决定干涉图样形态的关键因素，而精确的相位测量则能有效增强图像的细节表现，尤其是在对微小物体进行成像时显得尤为重要。

在低信噪比条件下，经典成像技术因噪声影响而图像模糊，而量子成像利用量子态的相干叠加特性，通过干涉图样分析，能准确提取物体信息。

未来，量子成像技术的研究方向将不断拓展。量子鬼成像、量子干涉成像、量子传感与成像融合以及量子计算辅助成像等方向将成为未来研究的重点。

实现84Sr玻色子量子气体的位点分辨成像

- 西班牙巴塞罗那科学技术研究所研究人员在哈伯德体系光学晶格中实现84Sr玻色子量子气体的位点分辨成像，并观察到玻色-哈伯德态下84Sr超流体的干涉图样。

使用结构照明的SAXS方法实现高空间分辨率成像

- 中国科学院上海高等研究院等提出使用结构照明的SAXS方法，实现高空间分辨率成像，通过同步辐射X射线验证，该方法与压缩传感兼容，显著减少测量次数。

量子位移测量技术的发展推动量子雷达技术的进步

在量子雷达系统中，精确测量目标物体与雷达设备之间的距离依赖于对光波传播相位变化的精准探测。量子雷达根据发射和接收类型不同，主要分为量子照明雷达、量子增强激光雷达以及干涉式量子雷达三类。

- 未来，量子雷达在中短期将以**“经典-量子双通道”系统形态**呈现；
- 同时，**AI技术**在量子雷达中的应用将实现对大量复杂数据的快速处理和智能分析。

然而，量子雷达与量子激光雷达技术发展面临挑战，核心在于微弱信号检测与复杂环境适应。量子信号易受热噪声、宇宙射线等干扰，需突破信号提取技术瓶颈；而暴雨、沙尘等恶劣天气、电磁干扰及目标差异则影响系统稳定性。为此，需综合环境隔离、先进材料和自适应算法来提升实用性能。

提出量子安全激光雷达协议

- 中国科学院空天信息创新研究院等提出量子安全激光雷达协议（QS-LiDAR），能准确测定目标距离并检测欺骗攻击，数值模拟显示在低误报率下高效检测欺骗攻击。

无损情形下估计精度达海森堡极限

- 西班牙巴斯克大学等研究团队提出量子激光雷达协议，能联合估计目标距离和速度，无损情形下估计精度达海森堡极限，均方误差与信号光子数的平方成反比。

实现0-13km/s速度动态探测范围，7倍探测灵敏度

- 中国科学技术大学薛向辉教授团队研发出基于上转换量子干涉原理的测风激光雷达系统，实现0-13km/s速度动态探测范围，7倍探测灵敏度提升，并在外场实验中用70微焦能量探测到水平16km距离的风场。

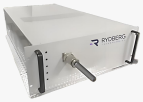
产品：位移与相位测量领域产品聚焦量子成像仪与量子雷达

当前，市场上专注于位移或相位测量领域产品研发与生产的公司，多数聚焦于量子成像、量子测距等与位移和相位测量紧密相关的技术领域。

- 国耀量子公司位于量子精密测量产业链的中游，提供高分辨测风激光雷达等量子测距产品，2024年全球市场份额约30.04%。
- QLM是一家提供基于光子学技术的公司，研发了一种新型气体成像相机，2024年全球市场份额约61.33%。

值得注意的是，相较于中国企业量子雷达产品，欧美企业的产品定价普遍高出三分之一。

图表 2024全球量子位移/相位测量领域部分代表性企业产品及参数

机构	产品分类	产品参数	应用领域	产品外观
山东国耀量子 中国	基于单光子探测器	型号：颗粒物光量子雷达 探测距离：6-15km 距离分辨率：≤30m,可调 时间分辨率：1s,可调	大气环保检测	
QLM 英国	基于单光子探测器	型号：Quantum Gas 探测距离：200 米 可探测甲烷泄漏率：0.012 g/s	探测甲烷泄漏	
QCi 美国	基于单光子探测器	型号：Quantum Photonic Vibrometer 精度：110 nm 频率范围：30-25,000 Hz	远程监控检测	
RYDBERG TECHNOLOGIES 美国	基于原子天线的量子增强雷达	型号：RFMS 测量不确定性：比传统天线标准低一个数量级	用于测量和表征宽范围频率和强度的射频场	

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

应用：量子雷达与量子成像技术助力医学、国防、航空航天等领域位移相位测量产业化

量子精密测量技术在量子雷达、量子成像领域的产业化进程中，通过与其他多元技术的深度融合，依据不同应用场景的独特需求，充分展现其巨大的应用价值。

- **在生物医学领域**，该技术被用于细胞显微成像、生物分子检测等高端应用；
- **在国防军工领域**，该技术被用于微弱目标和隐身军事目标的探测；
- **在环保领域**，该技术能够实时监测大气中的颗粒物排放，实现污染源的精准定位，为监管部门制定有效的治理措施；
- **在交通领域**，该技术能够实时监测交通要道的风速、风向、能见度等气象参数，为交通部门提供可靠的决策支持，保障交通的安全和顺畅。

未来，量子雷达将与人工智能、大数据、物联网等技术深度融合，构建更加智能化、自动化的检测体系。

- 通过与**人工智能技术**结合，量子雷达采集的数据能够被快速分析和处理，实现对目标的自动识别、分类和跟踪。

美国 QCi	美国 国家航空航天局

美国QCi获NASA第四个项目，提供新方法消除低地球轨道激光雷达光谱测绘中的阳光噪声，以经济实惠的方式测量云层和气溶胶特性。

印度 塔塔咨询服务公司	印度 印度理工学院孟买分校

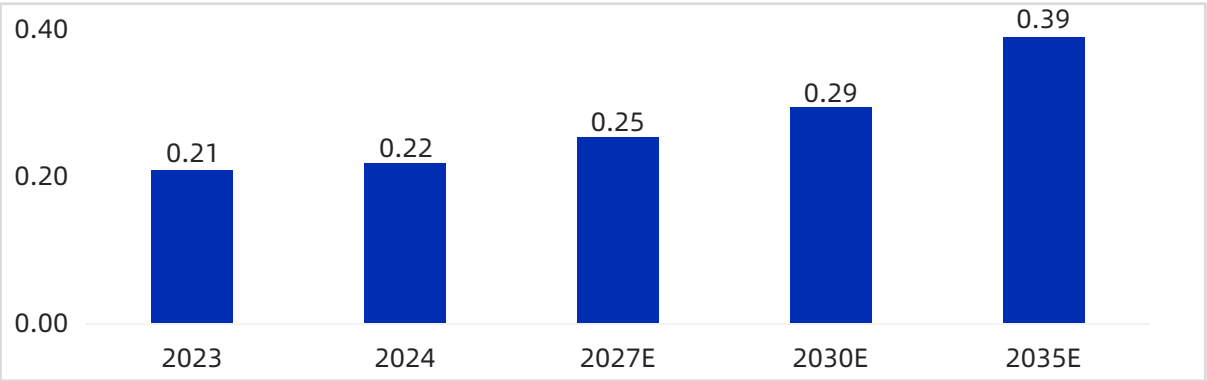
印度最大的IT服务公司塔塔咨询服务公司（TCS）与印度理工学院孟买分校（IIT-Bombay）建立战略合作伙伴关系，共同开发印度首台量子钻石微芯片成像仪。

- 利用**大数据技术**，对海量的量子雷达监测数据进行挖掘和分析，可以建立更准确的目标特征库和环境模型，进一步提升量子雷达的检测性能。
- 与**物联网技术**融合后，量子雷达可以与各类交通设施、环境监测设备等实现互联互通，构建全方位监测网络，提供更全面智能的服务。

市场：北美和中国是主要市场，军事国防领域占据主导地位

预计未来量子位移/相位测量产业规模将逐年增长，2035年将达到3.9亿美元。

图表 全球量子位移/相位测量领域产业规模（2023-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

在地区分布方面，北美是应用市场的主要地区，2024年至2035年其份额从32%上升至34%。与此同时，中国的份额从26%上升至28%，彰显了亚太地区在市场上的增长潜力。

图表 全球各地区量子位移/相位测量产业规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

从应用市场角度来看，军事国防领域占据绝对主导地位。2024年和2035年的军事国防应用规模分别为0.5亿美元和0.9亿美元，这表明量子精密测量技术在位移/相位领域的应用在军事领域具有极高的应用需求和优势。而民用领域也占据了较大的应用规模，由2024年的0.3亿美元增长至2035年的0.6亿美元，其变化主要由于医学成像、航天航空等领域的广泛应用。

图表 全球量子位移/相位测量下游应用规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

03 重力测量：高精度与抗干扰优势下实现应用突破

重力加速度是描述重力场作用强度的物理量，其量值直接反映了地球与周围环境的质量分布及变化。通过精确测量重力加速度，可以获取地球内部的质量分布信息，进而对地球动力学过程、地壳形变、地震预测等进行深入研究。而量子精密测量技术凭借其卓越的性能，正逐渐成为重力测量领域的关键技术。

- **量子重力仪**方面目前已经具备很高的成熟度，在静态和动态场景下全面展现出与经典仪器相当甚至超越的性能，是国际地球物理探测装备的重点发展方向，被公认是下一代绝对重力仪。

- **量子重力梯度仪**具有测量精度高、长期稳定性好等特点，尤其是对振动噪声具有良好的抑制效果，用于检测更微小的重力波动，如飞机在飞行中的姿态变化。同时，量子重力梯度仪可以测量绝对重力梯度，是进行长航时高精度惯性导航以及重力匹配辅助导航的最优可选技术方式。

此外，由于量子重力仪的主要噪声源是拉曼光相位噪声，对干涉的总相位波动产生直接影响。因此，低噪声高功率拉曼激光制备、低噪声原子干涉信号探测等方面是量子重力仪未来重要攻克方向。

技术：发展面临小型集成化、成本效益及应用拓展等多重挑战

当前，量子精密测量技术在重力领域的发展正处于蓬勃发展的阶段，重力仪的商业化进程已相对成熟，愈发注重实际应用的落地与拓展，未来将朝着小型化、低成本、与软件和AI等结合的方向不断迈进。

便携性领先，具响应快、寿命长、高分辨率特点

中科酷原 CAS COLD ATOM

- 中科酷原的量子重力梯度仪测量精度处于国际先进水平，便携性处于国际领先水平，具有响应快、寿命长、高分辨率等特点。

实现实地应用，达到7.7微伽精度

NUS National University of Singapore

- 新加坡国立大学量子技术中心结合相对弹簧重力仪，实现原子重力仪实地应用，达到7.7微伽的精度。

目前，量子重力梯度仪技术成熟度相对较低，主要面临着复杂的光学系统集成难度大、量子态操控稳定性有待提高等技术瓶颈。

- 未来，一方面要**持续追求系统优化**，提升量子态的稳定性和测量精度；
- 另一方面要**降低成本**，通过改进制造工艺和选用更合适的材料来实现。此外，还需积极探索更多合适的应用场景。

产品：研发加速，精度与应用拓展并进

虽然量子重力仪的商业化进程逐渐加快，但目前仍存在体积较大、占用空间大的问题，需要进一步优化设计，以便能够广泛应用于各类飞行器、车辆等平台。

当前，全球专注于量子重力仪的企业主要有AOSense、Exail、Msquared等。其中，中国的供应商主要有国盾量子、微伽量子、中科酷原、航空工业集团等。部分高校和科研机构也在积极投入研发，如美国的斯坦福大学、法国的巴黎天文台、中国的长沙量子测量产业技术研究院等。

图表 2024全球量子重力测量领域部分代表性企业产品及参数

机构	产品分类	产品参数	应用领域	产品外观
中科酷原 CAS COLD ATOM 中国	量子绝对重力仪	型号：WAG-H5-2 灵敏度：15 μGal/√Hz 稳定性：＜1 μGal 准确度：＜10 μGal	惯性导航 地震研究 大地测量学	
国盾量子 QuantumCTek 中国	量子绝对重力仪	型号：A-Grav 短期灵敏度：＜20 μGal/√Hz(安静台站环境) 准确度：＜5μGal 精度：＜5μGal	重力基准值 无漂移的连续重力监测 无漂移的流动重力勘测	
AOSense 美国	量子绝对重力仪	型号：Compact gravimeter 采样率：20Hz	大地测量 精准导航 自然资源勘探 地体监测	
exail 法国	量子重力梯度仪	型号：Absolute Quantum Gravimeter 灵敏度：50μGal/√Hz 稳定性：2μGal 准确度：≤10 μGal	地球物理学 土木工程	

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

应用：短期将在矿产、石油、天然气等资源探测中发挥重要作用

在矿产、石油、天然气等资源探测方面，量子重力仪凭借其高精度的测量技术，将在短期内发挥重要作用。

例如，物理学院黄璞合作团队利用室温磁悬浮技术观测到地球重力潮汐，其关键指标达到甚至超过了国际先进水平。该成果不仅展示了量子重力测量技术的高精度，而且其测量原理和技术方法也能为资源探测中的重力测量提供借鉴。

通过对地球重力潮汐的精确测量，能够更深入了解地球内部的质量分布和动力学过程，这对于分析矿产、石油、天然气等资源的形成和分布规律具有重要意义。

中国 微伽量子　中国 浙江工业大学　中国 中国地质大学

微伽量子联合浙江工业大学与中国地质大学（北京）在国际上首次实现-300米深处的绝对重力测量，量子重力仪具备微伽级观测能力。

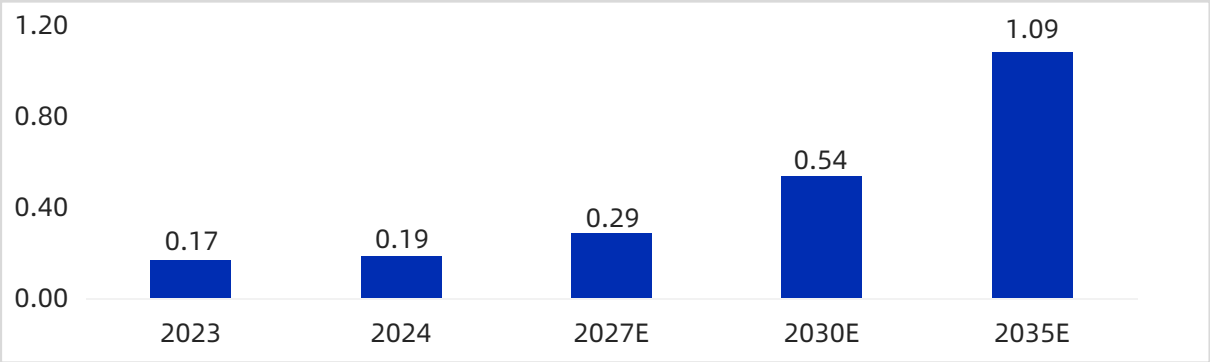
在卫星轨道维持方面，量子重力仪利用其高精度测量地球重力场的能力，实时监测卫星所处位置的重力变化。

在深空探测导航中，利用量子重力仪等设备，可为探测器提供高精度的姿态和位置信息。

市场：有望加速替代经典重力仪，市场份额逐年增加

预计未来量子重力测量产业规模将逐年增长，2035年将达到10.9亿美元。

图表 全球量子重力测量领域产业规模（2023-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

目前，在量子重力仪技术进展方面，美国与中国在技术指标上较为领先。2024年，中、美两国的产业规模分别为0.4亿美元和0.8亿美元，用途主要包括地质勘探和科学研究等领域。预计到2035年，中国的份额将上升至2.9亿美元。

图表 全球各地区量子重力测量产业规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

量子重力仪与梯度仪主要被用于军事领域，2024年占据了45%的应用规模，研究领域占据了35%。这表明在早期阶段，量子重力测量仪器主要集中应用于军事和科研领域，而民用领域的份额相对较小。但随着技术的成熟以及下游应用市场的拓展，产品的价格和性能将在民用领域发挥关键作用，未来将占据35%的应用规模。

图表 全球量子重力测量下游应用规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

05 旋转测量：尚未充分展现量子优越性

随着量子技术的不断发展，研究人员通过利用量子纠缠、量子参数估计等量子特性，显著提升了量子陀螺仪的精度和效率。然而，尽管取得了这些进展，量子陀螺仪目前仍未充分体现出量子优越性，仍面临一些挑战，如小型化、测量不连续性以及精度稳定性不如激光陀螺仪等问题。

因此，相较于其他量子传感器，量子陀螺仪的市场化进程较为缓慢。目前，根据不同的技术路径，量子陀螺仪可分为核磁共振陀螺仪、金刚石NV色心陀螺仪、SERF陀螺仪以及原子干涉陀螺仪等。

技术：优化零偏稳定与动态拓展的性能

当前，各研究团队正致力于全面提升量子陀螺仪性能，重点拓展动态范围、增强相干性，并提高测量精度和长期稳定性，以确保其在不同环境下均能保持稳定精准的表现。

然而，在连续测量过程中，量子陀螺仪存在一个显著的技术难点。由于量子测量的特性，每次测量完毕后，系统需要回到初始状态以保证下一次测量的准确性。这是因为量子态在测量后会发生塌缩，只有重置至初始状态，才能重新建立起可用于测量的量子态。同时，待测物体运动速度越快，测量偏差越大。

研究人员正灵活运用闭环控制和实时补偿等先进手段，尝试解决上述问题。

- **闭环控制**通过实时监测测量结果与预期值的偏差，反馈调整系统参数，确保测量过程的稳定性；
- **实时补偿**则根据测量过程中的动态变化，及时对测量信号进行修正，弥补因物体运动速度过快等因素导致的测量偏差。

闭环控制可提升核磁共振陀螺仪的动态范围

国防科技大学 National University of Defense Technology

华冠科技 HIGRAND TECHNOLOGY 华发集团旗下企业

- 国防科技大学、华冠科技组成的研究团队，通过闭环控制方案有效提升核磁共振陀螺仪的动态范围，数值结果与实验验证高度一致，对实际应用具有重要意义。

NV中心提升陀螺仪相干性

- 美国麻省理工学院研究人员利用NV中心的氮-15核自旋和相干性保护协议，成功提升陀螺仪相干性，实现退相干时间增长15倍，灵敏度显著提升一个数量级。

突破量子极限，实现高精度测量

- 上海交通大学研究团队利用不定时间方向演化策略，突破标准量子极限，在实验上实现了12.9纳弧度量精度的轴向转动角度测量。

实现700 ppm的长期稳定性

- 法国巴黎萨克雷大学与法航研院提出基于冷原子干涉仪的量子陀螺仪系统，实现了长达一天的700 ppm（百万分之七百）稳定性。

量子纠缠提高地转测量精度

- 德国维也纳大学团队将量子纠缠应用于地球旋转测量，突破传统光学仪器精度，提高约1000倍。

产品：产业化进程面临技术突破与市场拓展的双重挑战

量子陀螺仪与原子钟、重力仪和磁力计相结合，构成了量子惯性导航系统，该系统在航空航天、长距离导航等领域展现出巨大的应用潜力。然而，尽管量子精密测量技术在旋转领域展现出广阔的前景，但其产业化目前仍处于技术探索阶段。

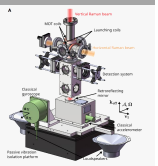
- **以小型化的核磁共振陀螺仪为例**，虽然已有相关产品，但是市场上仍广泛使用MEMS陀螺仪，其原因之一在于核磁共振陀螺仪的成本较高。

- **MEMS陀螺仪**的制造工艺相对成熟，生产成本较低，且可以通过大规模生产实现高效制造。而小型化的核磁共振陀螺仪的制造工艺复杂，导致其成本较高，难以在价格敏感的市场中广泛应用。

欧美地区的顶尖团队如斯坦福大学、巴黎天文台以及Sandia国家实验室等都在积极推进相关研究。中国的北京航空航天大学、东南大学以及中国科学院精密测量院等科研机构也在该领域取得了重要进展。不过，与国际先进水平相比，中国的产品在整体性能指标上仍存在一定的差距，大约低2-3个数量级。

在产品方面，中国主要由国家主导，航天科技、航空工业等大型国有企业在这方面发挥了重要作用。而全球其他国家主要由企业主导，如AOSense、Berkeley、Q-Sensorix等公司凭借其在技术研发和市场拓展方面的优势，推出了多款具有竞争力的量子陀螺仪产品，如原子干涉陀螺仪、NV色心陀螺仪等。

图表 2024全球量子旋转测量领域部分代表性企业产品及参数

机构	产品类型	产品参数	应用领域	产品外观
universite PARIS-SACLAY 法国	冷原子加速度计-陀螺仪	形态：实验室样机 短期灵敏度为1.8 × 10–6 rad/s per √Hz	全球导航卫星系统 地球物理测量	
NORTHROP GRUMMAN 美国	核磁共振陀螺仪	形态：工程样机 零偏稳定性：10^-2 ° / h	军事应用 精确导航 无人驾驶	

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

应用：量子陀螺仪助力军用、民用无源导航精度升级

量子陀螺仪因其高灵敏度、零篇稳定度以及可测量微小的角速度等特性，在导航和惯性测量系统中发挥重要作用。

它们能够提供精确的角速度信息，这对于飞行器、船只和其他移动体在复杂环境中的导航至关重要。

在军事领域，量子陀螺仪用于提高导航系统的精度和可靠性，尤其是在GPS信号可能被干扰的环境中，它们能够减少由于加速度计和陀螺仪的漂移引起的累积误差，从而增强军事资产的导航能力。

Department for Science, Innovation & Technology
英国
政府科学、创新和技术部

Infleqtion
英国
Infleqtion

BAE SYSTEMS
英国
英国宇航系统公司

QINETIQ
英国
QinetiQ

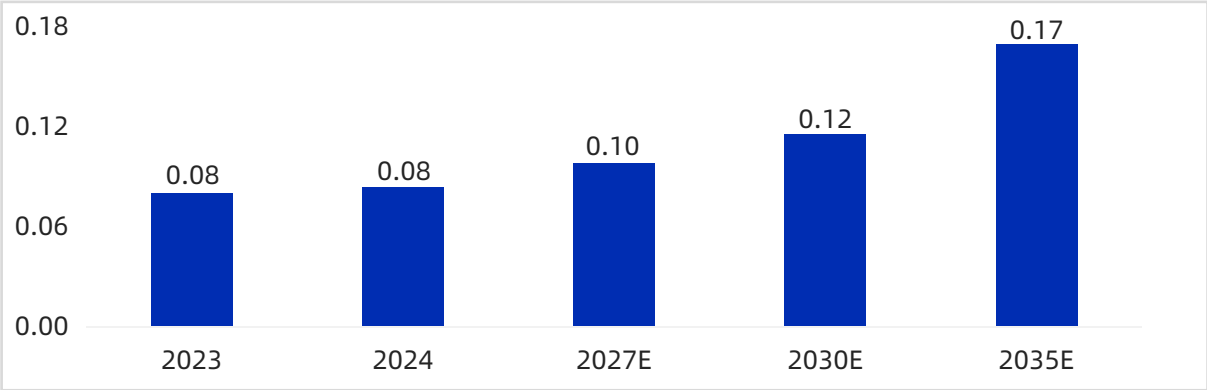
英国DSIT宣布由Infleqtion、BAE Systems和QinetiQ组成的联盟在飞机上成功演示了全球首次基于量子的惯性导航系统飞行演示。

在民用领域，量子陀螺仪可被用于手机的姿态感应、汽车的辅助驾驶、相机的防抖动设计等。

市场：北美地区占据主导地位，军事国防领域成为主要应用场域

预计未来量子旋转测量产业规模将逐年增长，2035年将达到1.7亿美元。

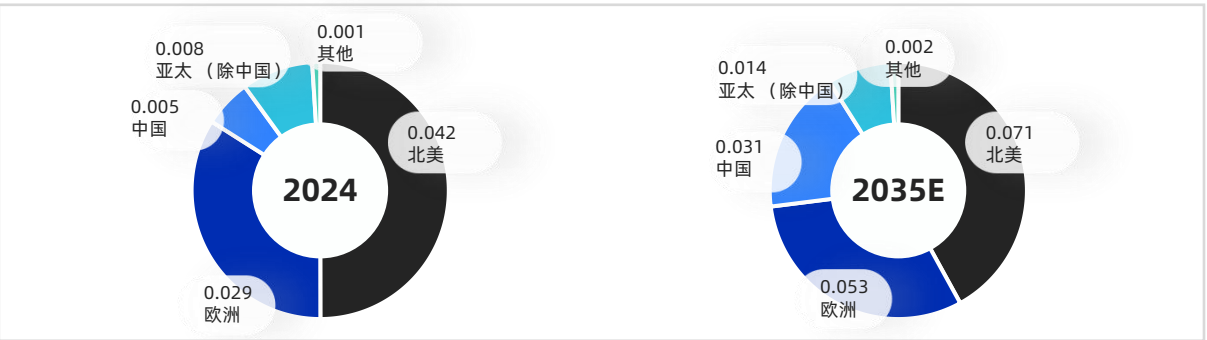
图表 全球量子旋转测量领域产业规模（2023-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

在地区分布上，北美一直是最主要的市场，其市场份额在2024年为0.42亿美元，反映了北美地区在高技术产业和国防科技领域的领先地位。欧洲紧随其后，其市场份额为0.29亿美元。中国在这一领域的市场份额逐渐增长，从2024年的0.05亿美元上升到0.31亿美元，显示出中国在量子技术应用上的迅速崛起。

图表 全球各地区量子旋转测量产业规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

从应用领域来看，军事国防一直是主要应用领域之一，其应用规模在2024年达到了0.13亿美元，预计2035年将达到0.28亿美元。同时，民用领域和科学领域分别为0.11亿美元和0.10亿美元，预计2035年的应用规模将达0.16亿美元和0.24亿美元。

图表 全球量子旋转测量下游应用规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

06 电场测量：量子电场强计推动电场测量进入新纪元

随着科学技术的不断发展，对电场测量的精度和灵敏度要求日益提高，传统测量方法逐渐难以满足需求。而量子精密测量技术凭借其独特的量子效应和优越的性能，为电场测量提供了新的解决方案。

2024年，量子电场测量技术取得了显著进展，推动了新型电场传感器的研发和应用。基于里德堡原子和金刚石NV色心的电场测量技术，凭借其高灵敏度、宽频带和低噪声等优势，逐渐成为研究热点，并在国防军工、科学研究、能源电力等关键领域展现出广阔的应用前景。随着技术的不断成熟和商业化产品的推出，量子电场测量技术有望在未来十年内实现快速增长，成为量子精密测量领域的重要增长点。

近年来，基于固态自旋、囚禁原子/离子等技术的研究持续取得突破，推动量子传感器在电场测量中的应用。例如，华南师范大学研究团队使用5.2×10^5个激光冷却原子实现微波检测，优化后电场计灵敏度超量子极限2.6倍。

技术：凭借超高灵敏度和宽频带优势，实现微波电场的高精度测量

基于里德堡原子的微波电场测量技术，有望突破标准量子噪声极限

传统基于金属偶极子天线的微波传感技术受限于约翰逊-奈奎斯特噪声和天线尺寸效应，难以实现高灵敏度、宽频带和精确测量。随着量子精密测量技术的发展，基于里德堡原子的微波电场测量技术因其超高灵敏度、超宽频带和良好的可溯源性，逐渐成为研究热点。

里德堡原子微波电场计实现了可溯源至普朗克常数的微波电场精密测量，探测灵敏度达到nV（cm^-1·√Hz）量级。

- 例如，基于缀饰里德堡原子的微波超外差接收机实现了55nV·cm^-1·Hz^-1/2的灵敏度，最小可探测微波场强达到了780pV·cm^-1。

此外，利用超冷原子体系的多普勒效应减弱、相干作用时间增加和碰撞概率显著降低等特性，微波电场测量的精度和灵敏度被进一步提高。同时，通过精确操控超冷里德堡原子的量子态，实现了基于纠缠态的微波电场测量，未来有望突破电场测量的标准量子噪声极限。

短波谐振器提升测量灵敏度

国防科技大学 National University of Defense Technology

- 国防科技大学引入电气尺寸极小的短波谐振器，使里德堡原子电场传感器在短波频段的测量灵敏度实现了8633倍的提升。

里德堡原子提高微波电场灵敏度

- 中国科学院空间应用工程与技术中心等单位通过基于里德堡原子DC Stark效应的方法，在特定条件下获得了较高的微波电场灵敏度，最高达到538.89μV/cm/√Hz。

基于金刚石NV色心的电场测量在常温常压下具备高灵敏度

传统电场测量方法受仪器固有噪声和分辨率的局限，难以精准捕捉与解析超弱电场信号。

早在2011年，NV色心就被应用于电信号量子传感，且在室温大气环境下被证实具备探测单个电荷的灵敏度。

通过监测NV色心的量子态在与周围环境相互作用下的相干演化，NV色心可作为高灵敏度探针，对其周围环境中各类极其微弱的电磁信号进行定量探测。

NV色心展示新量子传感范式

中国科学技术大学 University of Science and Technology of China

- 中国科学技术大学团队利用了三个相距仅200纳米的NV色心作为量子传感系统，通过对随机电场探测展示了一种新的量子传感范式。

对压电和非铁电材料的电场实现精确测量

ETH zürich

- 瑞士苏黎世联邦理工学院的Christian L. Degen研究组通过基于NV色心的超分辨量子磁学显微镜QSM，对压电和非铁电（YMnO3）材料的电场进行了精确测量，对其畴图案进行了清晰的成像。

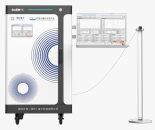
产品：注重小型化、集成化和定制化发展

未来，量子电场强计在性能方面，其灵敏度有望进一步提升，从现有的毫伏每米量级迈向纳伏每米甚至皮伏每米量级，实现对更为微弱电场信号的精准捕捉。测量不确定度方面也将持续降低，向着趋近于零的方向发展，为科研和工业应用提供更精确的数据支撑。而在功能拓展方面，产品将朝着多功能集成化发展，不仅能够测量电场强度，还可集成磁场测量、频谱分析等功能，满足复杂电磁环境下多样化的测量需求。

同时，随着应用场景的不断挖掘，未来量子电场强计将更加注重适应性和兼容性，开发出针对不同行业、不同环境条件的定制化版本，如适应极端温度、强辐射等特殊环境的量子电场测量产品。

此外，在技术创新驱动下，产品的小型化、便携化进程也将加快，便于在野外勘探、现场检测等场景中使用，推动量子电场测量技术在更多领域落地生根，提升各应用行业的对电场检测与研究水平。

图表 2024全球量子电场测量领域部分代表性企业产品及参数

机构	产品分类	产品参数	应用领域	产品外观
Quanta-Well 科微量子 中国	里德堡原子电场强计	型号：里德堡原子电场强度测量系统 测量灵敏度：≤0.1mV/m 测量不确定度：≤5%	基站建设科学研究环境监测	
国仪量子 CIQTEK 中国	里德堡原子电场强计	型号：QuEM-I 频率范围：0.2GHz - 40GHz（可扩展） 幅度范围：1μV/cm - 0.1V/cm 测量不确定度：≤5%	微波计量测试 电磁兼容 电磁环境监测 频谱分析 无线通信	

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

应用：量子场强计助力高精度电场测量与频谱分析

量子场强计在多个领域展现出了重要的应用价值。在无线电计量领域，它可基于量子相干效应将微波电场直接溯源至基本物理常数普朗克常数和国际单位制基本单位频率，实现高精度的电场测量校准，为多模式里德堡原子制备泵浦激光组合等提供准确的计量保障。

中国
安徽电科院

中国
中国科学技术大学

安徽电科院联合中国科学技术大学院士团队研制的世界首台量子电流互感器样机，并在合肥110千伏潜水路变电站挂网运行，取得量子精密测量在电力行业的首个落地应用。

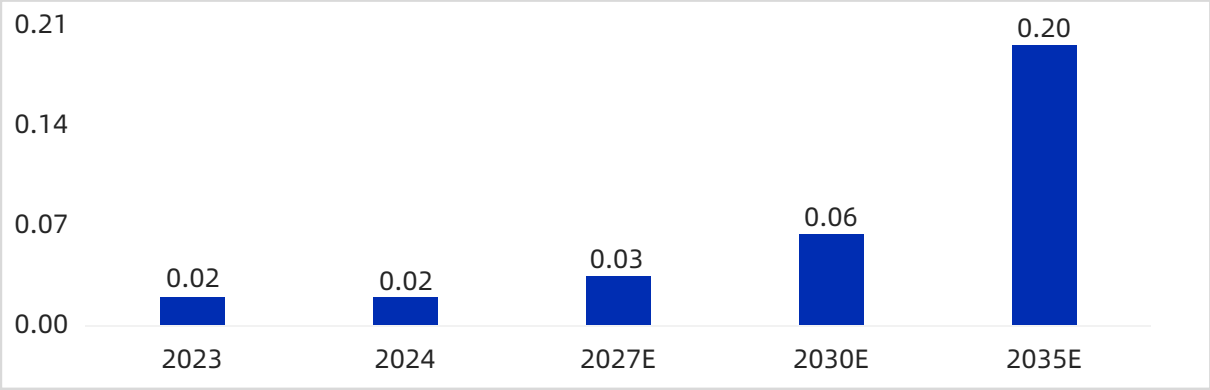
在电磁环境监测方面，量子场强计凭借高灵敏度能够精确探测环境中的微弱电场变化，对于评估电磁污染、保障电磁环境安全意义重大。例如在通信基站周边、高压输电线路附近等电磁环境复杂区域，可利用量子场强计进行长期实时监测，为电磁环境管理提供科学依据。

在频谱分析领域，它能对不同频率的电场信号进行精准测量和分析，帮助识别和定位频谱中的干扰信号，优化频谱资源分配，提高无线通信系统的效率和质量。

市场：未来受里德堡原子场强计技术创新推动，有望在多领域广泛应用

预计未来量子电场测量产业规模将逐年增长，2035年将达到2.0亿美元。

图表 全球量子电场测量领域产业规模（2023-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

从地区分布来看，北美和欧洲一直保持着较大的市场份额，其占比在2024年分别为45%和37%，到2035年其占比分别略有下降至43%和33%，表明北美和欧洲地区对于量子电场强计的市场需求仍然旺盛，但受到其他地区竞争，例如中国市场的一定冲击，其规模占比略微下降。

图表 全球各地区量子电场测量产业规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

从应用领域来看，在军事国防方面，2024年应用规模约0.02亿美元，到2035年将增长至0.2亿美元，整体增速相对稳健；量子电场强计的高带宽和高灵敏度等性能使其在民用领域更易被接受，预计该领域在同一时期内从0.04亿美元增长至0.44亿美元；科学领域在这一时期的应用规模将从0.02亿美元增长至0.15亿美元。

图表 全球量子电场测量下游应用规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

07 应力应变测量：新一代压力测量标准

应力应变测量在材料力学、流体力学等领域具有重要意义，其中应力测量是通过特定方法和技术来测定材料受外力作用时内部产生的应力大小和方向，常借助压力传感器实现。

压力传感器一般将应力转化为压力，通过测量压力变化获取材料所受应力。它具有响应速度快、测量精度较高等优点，灵敏度通常在几十帕到几百帕，部分高精度应用可达0.1Pa，常用于动态应力测量，如振动、冲击等高速变化应力场的测量，以及声学、生物医学等领域的应力检测。

随着科技进步，基于量子的光子压力测量新技术涌现。该技术主要有固定长度光学腔（FLOC）和可变长度光学腔（VLOC）两类。其利用从头算（ab-initio）量子化学计算方法精确计算气体的摩尔折射率，从而为压力测量提供极高的精度和准确性。理论上，其灵敏度可达纳帕（nPa）甚至皮帕（pPa）量级，实际产品应用中部分受工艺等因素限制可达1μPa。

相较于传统压力测量技术，基于量子的光子压力测量技术具有诸多优势，如测量精度更高、分辨率更高、响应速度更快等。虽然目前在便携性方面可能还存在一定挑战，但随着技术的发展，未来该技术有望成为新一代压力测量标准。

技术：新材料研发推动压力测量精度突破

当前，研究人员在传感器结构设计上不断创新，并探索使用具有独特性能的新材料，以增强传感器的响应能力、环境适应性、宽检测范围等性能。同时，各团队还注重优化传感器在不同应用场景下的性能，以满足复杂多样的测量需求。

- 例如，研究人员发现通过将具有明亮荧光的碳量子点作为能量转移受体引入力诱导发光水性聚氨酯中，可以显著提高其在水性环境下的力诱导发光强度和灵敏度。
- 不仅能够在**时间和空间**两个维度上高灵敏地监测机械拉伸诱导的材料损伤情况，还能在含水状态下保持良好的机械性能和发光性能，为应力精密测量领域提供了新的技术路径和解决方案。

除此之外，基于金刚石NV色心的量子压力传感器也成为研究热点。由于NV色心对周围环境具有敏感性，通过测量NV色心在激光和微波激发下发出的荧光信号变化，便可实现对压力大小的测量。

目前，华中科技大学的研究人员已经发明一种金刚石氮空位色心的量子压力传感器及制备方法，该传感器具备高灵敏度、非接触测量、可适应恶劣环境等优势。

高灵敏度和可逆性的应变传感器

Cornell University

- 美国康奈尔大学研究人员利用自组装的硫化镉（CdS）量子点魔术大小团簇制备了电纺同手性微纤维，制成高灵敏度和可逆性的应变传感器，通过纤维的圆二色性和线二色性变化实现应变测量。

量子材料在应变检测方面的优势

南京大学 NANJING UNIVERSITY

- 南京大学研究团队利用单晶氧化钒材料在相转变时的工作原理，检测出比之前设备弱一个数量级以上的机械应变，显示出量子材料在应变检测方面的巨大潜力。

利用金刚石氮空位色心测量压力大小

華中科技大學 HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

- 华中科技大学利用532nm激光和微波作用使金刚石氮空位色心能级跃迁并自旋翻转，发出调制荧光信号，通过处理信号变化得到压力大小。

产品：仍处于实验室探索阶段，商业化面临挑战

目前，量子压力传感器在实验室环境中成效显著，但向商业化产品转化时仍遭遇诸多挑战，例如怎样降低生产成本以契合市场需求以及寻找合适的应用场景等等。另外，作为新型传感器，量子压力传感器的性能优势和潜在应用尚未得到市场的广泛了解。

当前，全球专注于生产和研发量子压力传感器的供应商屈指可数，产品也主要处于实验室与初步商业化阶段。

图表 2024全球量子应变应力测量领域部分代表性企业产品及参数

机构	产品分类	产品参数	应用领域	产品外观
Qnami 瑞士	量子压力传感器	从外部压力容器获得0.5毫巴的精度	工业过程监控	-

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

应用：降低成本后，应用潜力广泛

量子压力传感器凭借高灵敏度、宽动态范围和低噪声水平等卓越优势，在航空航天、地质勘探与能源、工业自动化、生物医学工程等众多领域具有极为广阔的应用前景。

在航空航天领域，量子压力传感器能够实时、准确地测量飞行器在飞行过程中受到的各种压力变化，为飞行控制系统及时提供精确数据，助力其对飞行器的姿态和航向进行精准调整。

在地质勘探与能源领域，量子压力传感器可以深入地下或海底，进行石油和天然气的勘探，精确测量钻井过程中遇到的地层压力，为地质勘探和开采工作提供关键数据支持。

在工业自动化领域，量子压力传感器可以实时监测光刻工艺中的压力变化，确保光刻工艺的稳定性和一致性。

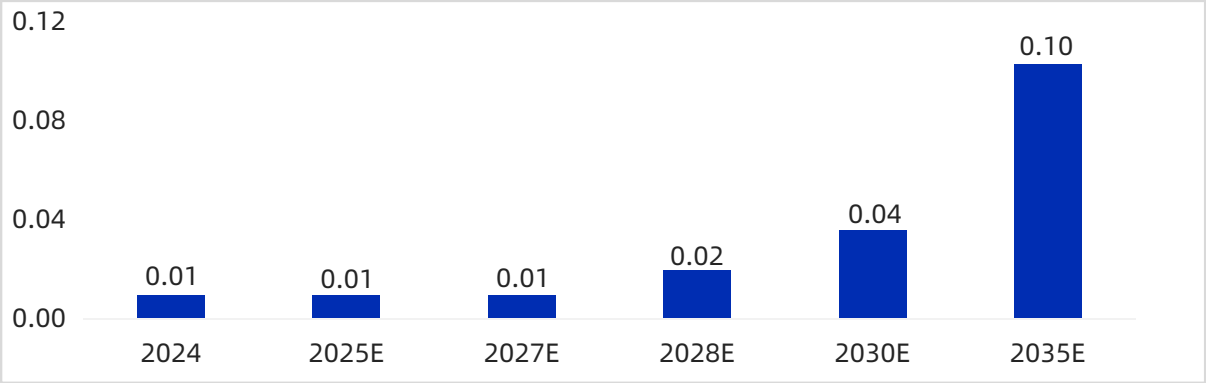
在生物医学工程领域，量子压力传感器可用于监测人体内部多种生理压力变化，如人工关节应力、心血管系统压力等，为疾病诊断、治疗以及康复过程提供重要的压力数据参考，有助于提升医疗诊断的准确性和治疗方案的有效性。

市场：虽具备理论上的量子优势，但市场规模尚待拓展

目前，在压力、应力领域中，基于微机电系统（MEMS）技术的MEMS压阻式传感器具有显著的应用趋势。此类传感器体积小巧、质量轻便、成本经济、功耗低廉、可靠性卓越、适宜批量化制造，并且易于集成与实现智能化，是当前的主流选择。

相比之下，量子压力传感器虽理论上具有量子优势，但在实际应用中量子特性尚未充分展现，未形成市场规模化。这表明量子精密测量技术在应力应变领域应用仍处探索阶段，未来需挖掘量子传感器优势以推动应用。预计未来量子应力应变测量产业规模将逐年增长，2035年将达到1亿美元。

图表 全球量子应力应变测量领域产业规模（2024-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

在地区分布上，目前仅有瑞士的Qnami公司拥有商用的量子压力传感器。从应用领域的角度审视，量子压力传感器因其具备在极端条件下实现高灵敏度测量的独特优势，有望在航空航天领域获得广泛应用，成为该领域中的重要技术支撑。

而在生物医学领域，受生物相容性等多重因素的制约，量子压力传感器的市场化进程预计将面临较长时期的实验室研发阶段。尽管如此，随着技术的不断突破与完善，其产业规模有望在2035年达到2.33%的份额。

图表 全球量子应力应变测量下游应用规模（2030E & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

08 温度测量：突破传统测量困境

传统的温度测量技术，如热电偶、热敏电阻等，虽在一定程度上满足大部分应用需求，但在高精度、高灵敏度、远程实时监测等方面存在局限性。特别是在高压、强电磁场等恶劣环境下，传统传感器的性能易受影响。

在此背景下，新兴的温度精密测量技术不断涌现，利用量子点、金刚石氮-空位色心等新型材料，实现了高精度、高灵敏度的温度测量。

目前，基于NV色心和量子点的传感器，凭借高精度、非接触式测量和高灵敏度等特点，为生命科学、材料科学等领域的微米甚至纳米级温度测量提供了新手段。

技术：现阶段量子温度传感尚以科研为主

基于NV色心的高精度非接触式测量、适应性强等优势，能够实现毫开甚至微开级别的温度测量

NV色心温度精密测量基于其电子自旋态的跃迁概率受温度影响，从而导致其光致发光（PL）信号的强度和寿命随温度变化而变化的原理。

该技术因其高精度、非接触式测量、适应性强、生物相容性等优势，在温度精密测量领域展现出巨大的应用潜力。特别是在生命科学、材料科学等领域，NV色心温度传感器能够实现微米甚至纳米级别的温度测量，为科学研究和技术应用提供了新的手段。

此外，NV色心温度精密测量技术覆盖宽温度范围，从接近绝对零度的低温到室温甚至更高温度都能进行精确测量。并且，这种非侵入性的测量方式不会对被测系统造成干扰，特别适合对敏感样品，如生物活体组织、易受干扰的量子器件等的温度测量。

基于金刚石NV中心实现了室温测量

고려대학교 KOREA UNIVERSITY

- 韩国高丽大学研究人员基于金刚石NV中心实现了90K范围内0.2K精度的室温测量。

一种基于NV色心的温度传感器

- 南京邮电大学展示了一种基于NV色心的温度传感器，能够在集成电路（IC）应用中实现20微米的空间分辨率和22.9 mK/√Hz的温度灵敏度。

基于量子点的温度计在制备成本和环境适应性方面仍面临挑战

量子点凭借其独特的量子限域效应展现出在温度测量领域的显著优势。当量子点尺寸达到纳米量级时，电子的运动在三个维度上都受到限制，导致其电子能级从连续态变为离散的能级结构。这种特殊的能级结构使得量子点的光学性质对温度极为敏感，成为温度测量的基础。随着温度变化，量子点内部电子与晶格振动的相互作用改变，导致电子能级的微小移动，进而表现为荧光光谱的红移和荧光强度的变化。通过精确监测这些光学参数的变化，即可实现对温度的精准测量。

量子点具有高量子效率，能够高效地将吸收的光能转化为荧光。在温度测量过程中，这一特性有效提高了测量信号的强度，降低了噪声的影响，从而提升了温度测量的信噪比。同时，量子点对温度变化极为敏感，这使得量子点温度测量技术具备极高的灵敏度。

尽管量子点温度测量技术在多种复杂环境应用中展现出良好的适用性，但其发展仍面临一些挑战。在制备方面，量子点的合成需要精确控制反应条件，如温度、时间、反应物浓度等，且常使用昂贵的原材料和复杂的合成工艺，导致制备成本居高不下。在表征环节，需要使用高分辨率的显微镜、光谱仪等精密设备，进一步增加了成本。此外，环境因素对量子点荧光光谱影响显著。

基于双光子聚合技术制造的量子点光纤温度传感器

- 宁波大学等展示了一种基于双光子聚合（TPP）技术制造的量子点光纤温度传感器，能够在26℃至70℃温度范围内实现135 pm/℃的温度灵敏度。

优异长期稳定性的PMMA基温度传感器

- 印度科学研究所合成高质量InP/ZnS核壳量子点，并基于此设计制备了具有优异长期稳定性的PMMA基温度传感器。

产品：技术优势显著，但仍处于实验室阶段

目前，量子温度计仍处于实验室研究阶段，尚未实现商业化应用。尽管量子传感器在提高空间分辨率方面优势显著，能够实现比传统传感器更精确的微观尺度温度测量，但市面上采用量子精密测量技术进行温度测量的产品极为稀少，专注于该领域的研发和生产企业也相对较少。

- **传统温度传感器**种类丰富，商业化程度高，已经能够成熟的集成到微电子设备中，成为性能稳定的上游器件。
- **基于量子精密测量技术的温度测量方式**虽然在精度和空间分辨率上表现卓越，但由于其内部结构复杂，包含精密的量子态调控装置，导致整体体积较大，并且小尺寸量子温度计的研发工艺尚不成熟，在缩小体积的同时难以保证测量性能的稳定性，这在很大程度上阻碍了其市场化进程。

当前，除基于金刚石NV色心以及基于量子点的技术路线外，基于微腔的温度测量技术以其高灵敏度和精确性在传感领域展现出巨大潜力。

- **利用“耳语回廊”模式（WGM）的光学微腔**，其独特的结构能将谐振光子长时间限制在微米尺度内。

当外界温度变化时，微腔内的物质热胀冷缩，导致微腔的光学特性发生改变，谐振光子与物质多次相互作用，这种相互作用使得光子携带的温度信息更加丰富，从而极大地提高了温度传感灵敏度。此外，凭借WGM微腔传感器的高灵敏度和多功能性，能够显著提升无线传感器的能力和灵活性。

2018年，杨兰团队将回音壁（WGM）微芯圆环腔及其耦合装置与可调谐单模激光器、光电探测器、光电处理单元和Wi-Fi单元封装集成为芯片，研制出具有物联网控制功能的高灵敏度温度传感器。

该传感器在航空测绘领域发挥了重要作用，能够精确测量飞机飞行过程中不同部位的温度变化，为飞机的飞行安全和性能优化提供关键数据。同时，团队开发了定制的iOS应用程序，实现了远程系统控制以及传感信号的收集和分析，极大地提高了温度监测的便捷性和实时性。

应用：量子温度测量在边缘应用领域展现巨大潜力

量子温度传感器凭借其小型化、低功耗、高空间分辨率以及生物亲和性等显著优势，在能源受限、空间有限的边缘应用场景中展现出巨大的应用潜力。

在生命科学领域，如在细胞内的温度微环境研究中，NV色心温度传感器能够实现纳米级别的温度测量，帮助科研人员深入了解细胞代谢过程中的温度变化对生物化学反应的影响。

在材料科学中，对于纳米材料的热特性研究，该传感器可精确测量材料在不同制备工艺和使用条件下的温度分布，为优化材料性能提供关键数据。

- 中国科学技术大学研究人员将**NV色心的纳米金刚石与温度响应磁性纳米颗粒相结合**，制备出新型纳米尺度复合型量子温度传感器，将灵敏度从5 mK/√Hz提高到了76 μK/√Hz。

- 这一提升使得在对微观结构温度变化极其敏感的量子计算芯片热管理研究中，能够更精准地监测芯片运行时的温度波动，保障芯片性能的稳定性。

具有物联网控制功能的高灵敏度温度传感器

- 美国华盛顿大学圣路易斯分校团队利用回音壁（WGM）微芯圆环腔做成了具有物联网控制功能的高灵敏度温度传感器，并将之成功用于航空测绘领域。

纳米量子传感器对哺乳动物体内细胞温度等参数的精确测量

- 日本国立研究机构量子科学技术研究开发机构（QST）宣布，使用纳米量子传感器实现对哺乳动物体内细胞温度等参数的精确测量。

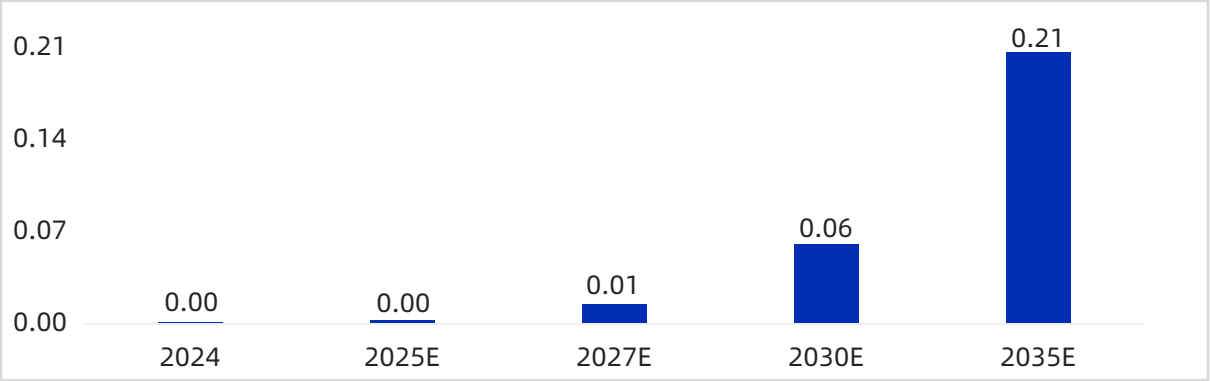
市场：市场尚处于初步探索阶段，发展潜力有待挖掘

量子温度测量领域目前正处于市场初步探索的萌芽阶段，中短期内难以实现显著的市场规模扩张。

然而，随着量子技术的迅猛进步与下游应用领域需求的日益增长，量子温度传感器的性能将得到显著提升。

预计未来量子温度测量产业规模将迎来快速增长，有望于2030年达到0.6亿美元的规模。

图表 全球量子温度测量领域产业规模（2024-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

在地区分布上，当前尚未有国家的企业专注于量子温度传感器的研发与规模化生产。然而，从技术发展的视角来看，中国、日本、韩国等亚太地区国家在此领域已展现出一定的研究进展，目前均处于实验室研发阶段，尚未形成市场化规模。

从应用领域来看，量子温度传感器在科学研究、工业及医疗等领域展现出广阔的应用前景。其中，科学研究领域预计将成为其最大的应用市场，2030年与2035年的应用规模有望分别达到0.16亿美元与0.52亿美元。

尽管如此，由于量子温度传感器技术成本高昂，其在医疗领域的商业化进程预计将较为缓慢，2030年与2035年的应用规模预计仅能达到0.01亿美元与0.04亿美元。

图表 全球量子温度测量下游应用规模（2030E & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

09 软件算法平台：构建更完善更高效的量子测量系统

AI与量子传感器深度融合，显著提升测量系统性能

2024年，量子精密测量在软件、算法和平台方面取得显著进展。尤其是AI与量子传感器的深度融合，极大地提升了系统的灵活性与适应性，同时显著提高了传感器的灵敏度和精度。

- **在航空航天领域**，如英国成功展示的基于量子技术的惯性导航系统，能大幅提升成像精度和灵敏度；
- **在医学成像方面**，量子磁力计可无创且无辐射地获取心脏和脑部的磁场信号，实现了更高精度的检测；
- **在环境监测领域**，量子传感技术也能够凭借其高灵敏度以更高的精度和速度检测微小变化，为各领域的科学研究和实际应用提供了强大工具；
- **在导航系统中**，量子技术与AI的结合利用量子传感器的高精度特性以及AI的数据处理能力，显著增强了导航的可靠性和准确性，即使在GPS信号受限的情况下依然能够保障可靠的定位服务。

超灵敏量子传感平台

KING'S College LONDON

Science Card

- 英国伦敦国王学院与电子货币活期账户初创公司Science Card合作开发超灵敏量子传感平台，将以无与伦比的精度、速度和准确性检测最微小的运动，推动航空航天、医学成像、环境监测、GPS跟踪以及基础研究等领域的发展。

精准监测助力污染源治理

山东国耀量子

- 国耀量子电脑客户端和数据分析平台，主要负责控制雷达设备及点式探头的运行参数、数据回收和计算、数据可视化、高精度污染源AI自动识别等功能，为用户在污染源传输监测和相关决策上提供预警支持和数据保障。

平台化发展助推量子传感产业应用迭代升级

当前量子传感技术正加速向平台化方向发展，各类平台的涌现为科研创新和产业应用提供了系统性支撑。

对于量子精密测量产品，面向工程化开发和测试验证时，测试平台建设极为关键。目前，量子场强计、量子磁传感器等产品开发加速，而功能性能、环境适应性、可靠性等多维度测试试验系统，是确保其成功应用的核心。

- 未来，随着量子技术的持续进步，量子传感器的发展将着重于**软件、算法和平台的深度融合**，致力于构建更为完善、高效的量子测量系统。
- 与此同时，**安全性和稳定性**也将成为重点关注的方向，云端服务的应用会进一步加强，从而为用户提供更高级的数据分析、管理以及安全保障功能。

AI和量子驱动的商业实时导航系统

- 美国量子人工智能公司SandboxAQ正式宣布推出世界首个由AI和量子驱动的商业实时导航系统AQNav，这是一项突破性的技术，可在全球定位卫星（GPS）系统受阻或不可用时进行空中、陆地和海上导航。

量子生物传感测试平台

- 美国马里兰大学获美国空军科学研究办公室200万美元资助以建造量子生物传感测试平台，以研究神经网络如何处理信息，并开发受生物启发的量子计算和传感新方法脑。

高效精准解决心脏疾病诊断的心磁图平台

- Biomagnetik Park公司计划于2027年提供心磁图（MCG）平台，该平台通过整合量子传感技术与先进的软件系统，旨在为心脏疾病的诊断和研究提供更高效、更精准的解决方案。

04

全球主要国家发展现状分析

目录

04 全球主要国家发展现状分析

01 美国：保持领先地位，持续加强战略规划

02 中国：技术突破不断，国际合作需进一步加强

03 英国：跨领域合作，以技术创新推动实际应用

04 法国：注重国际合作发展，量子生态系统较强

05 德国：政策大力支持，间接促进量子传感领域发展

01 美国：保持领先地位，持续加强战略规划

美国在量子精密测量领域保持领先地位，并持续加大战略规划和研发投入。

自2018年美国发布国家量子倡议（NOI）法案以来，量子精密测量作为重要发展领域，在美国的量子技术报告中占据核心位置。

2022年，美国官方颁布了首份针对该领域的战略计划报告《将量子传感器付诸实践》

该报告基于《量子信息科学国家战略概览》和《国家量子倡议（NQI）》法案，为量子测量研发和应用领域提出了短、中、长期建议，进一步强化了美国量子信息科学（QIS）国家战略，体现出美国对量子测量领域的高度重视。

随着量子精密测量技术不断成熟，其战略意义愈发凸显

2024年，美国参议员Maggie Hassan 和 Marsha Blackburn敦促美国国防部（DOD）加强在量子精密测量技术领域的领导地位，特别是在先进导航、雷达和声呐技术等方面，以更好地保障美国国家安全。

目前，美国在量子精密测量领域优势明显

合作生态方面，2024年美国参与了二十多项合作项目，展现出强大的资源整合能力和影响力。政策层面，美国发布了十多项相关政策，例如《美国能源部量子领导法案》《国家量子倡议重新授权法案》等，彰显其发展该领域的坚定决心。投融资方面，美国在量子精密测量领域的融资笔数和金额分别占总融资规模的27.27%和85.72%，具有显著优势。

技术层面，美国的量子精密测量技术处于领先，如科罗拉多大学博尔德分校与NIST等团队开发出一种新型的光学原子钟，利用锶原子之间的量子纠缠，实现了超越极限的时间精度，可检测海拔几分之一毫米变化带来的地球引力细微变化。

在研究机构方面，美国国家科学基金会致力于推进美国QIS研究所的发展，美国国防高级研究计划局（DARPA）、天体物理学联合实验研究所（JILA）、下一代量子科学与工程中心（Q-NEXT）等也发挥着重要作用。这些机构的共同努力，为美国在全球量子传感领域的领先地位奠定了坚实基础。

02 中国：技术突破不断，国际合作需进一步加强

近年来，中国在量子精密测量领域取得了显著进展，技术不断实现突破，但同时也面临着国际合作方面的挑战与机遇。

2022年，明确提出加强计量基础和前沿技术的研究

2022年，北京大学作为科学总体单位合作研制的超冷原子柜随梦天实验舱成功升空入轨，这是中国在该领域的一项重要举措，为在太空环境下深入研究冷原子创造了条件。

2023年，在量子精密测量领域持续发力

中国实现了量子磁力仪的首次飞行，CPT原子磁力仪随中国科学院“力箭一号”火箭和“空间新技术试验卫星SATech”成功发射升空，标志着中国自主研发的量子磁力仪首次应用于空间探测领域。

2024年，在量子精密测量领域出台了多项政策

例如《信息化标准建设行动计划（2024—2027年）》《关于发布高精度量子操控与探测重大研究计划2024年度项目指南的通告》等多项政策，支持产业的快速发展。

在政策的大力支持下，中国在技术进展方面获多项成果。例如，中国科学技术大学的研究团队首次利用暗态自旋实现了极弱磁场的量子放大，展示了更高的灵敏度极限，为该领域的深入研究开辟了新方向。然而，中国在国际合作方面相对较少，发展主要依赖本国内部资源。

整体来看，目前中国在传感领域的发展，体现了中国国家科技战略的前瞻性与执行力，彰显了其在高科技领域自立自强的决心和成果。从“量子度量衡”计划的推进到超冷原子柜进入太空，从量子磁力仪的首飞再到极弱磁场量子放大技术的突破，中国正稳步迈向科技前沿。

03 英国：跨领域合作，以技术创新推动实际应用

英国在量子精密测量领域通过跨领域合作与技术创新推动实际应用，成果显著。

较早布局量子精密测量领域

早在2014年，英国国家量子技术计划（NQTP）就整合了政府科研机构、国家实验室、商业部门、能源和产业战略部以及国防和安全机构等多方资源，构建起紧密的跨领域合作关系，为量子精密测量等量子技术的发展筑牢根基、提供全方位支持。

2020年，英国发布的《NOTP策略意图》报告明确了国家量子技术中心的四大分支，其中英国量子传感和计时技术中心（UK Quantum Technology Hub Sensors and Timing）以及英国量子成像技术中心（The UK Quantum Technology Hub in Quantum Imaging）与量子精密测量紧密相关，在推动该技术的研发与应用方面作用重大。

英国连年取得重大进展

2023年，英国伯明翰大学的研究人员研制出世界上首台可在非实验室条件下工作的量子重力梯度仪，这一突破标志着量子精密测量技术在实际应用方面取得重要进展。

2024年，英国政府发布了《监管量子技术应用：政府对RHC的回应》的政策文件，表示将全面监管量子技术的应用。同年，在应用层面，英国国防科学技术实验室宣布的联盟成功进行了全球首次基于量子的惯性导航系统飞行演示。

这一成就彰显了英国的政策成效，并且体现了英国在量子精密测量领域的深厚积累，也预示着量子技术在导航领域应用前景广阔，有望引领未来导航技术发展。

未来，英国有望持续巩固其在量子传感领域的优势地位，为全球量子技术发展贡献更多力量。

04 法国：注重国际合作发展，较强的量子生态系统

法国在量子传感领域积极布局，其发展策略更注重以国际合作方式实现。

侧重以投资方式助力量子领域的发展进步

2020年，法国签署并通过了国防创新基金（FID），该基金投资总额高达4亿欧元，旨在资助包括量子技术、能源技术、人工智能技术、电子和组件技术在内的多个领域。

次年，法国进一步加大了对量子技术的投入，启动了量子优先研究与设备计划（PEPR），计划在未来五年内投资1.5亿欧元用于上游的基础研究，如冷原子技术等。

同时，法国还宣布了一项为期五年、总额18亿欧元的量子技术投资计划，将量子资金的年度投入从6000万欧元提高至约2亿欧元，其中特别为量子传感器拨款2.5亿欧元。

在发展策略上迈出了新的一步

2022年，法国在量子领域的发展策略上迈出了新的一步，主要通过与其他国家联合声明的方式，建立了量子创新生态系统。该生态系统通过协同合作，共同构建了吸引最优秀国际人才所需的环境，为量子技术的持续发展和创新奠定了坚实基础。同时，这一举措也促进了研究和工业领域的进一步合作。

值得注意的是，自量子创新生态系统建立以来，法国在量子领域的国家级政策出台数量相对较少，尤其是量子传感领域。

相反，法国更倾向于通过与欧盟其他国家以及美国、中国等科技强国合作的方式，来推动量子领域的发展。以量子传感领域为例，合作方式在该领域所有进展中的占比接近70%，这充分展示了法国量子生态系统的较强合作力量和协同效应。

05 德国：政策大力支持，间接促进量子传感领域发展

近年来，德国政府高度重视量子技术的发展，并持续加大在该领域的投资力度。

德国量子技术的初步规划与投资

2020年，德国发布了《量子技术：从基础到市场》报告，明确表示政府将在当前立法期内投入6.5亿欧元支持量子技术的研发。同年，为刺激经济，德国联邦政府还同意了一项1300亿欧元的刺激计划，其中包括500亿欧元的基金，专门用于投资量子技术等前沿领域。

发展推进与十年规划

随后，在2021年，德国进一步推进量子技术的发展，启动了“慕尼黑量子谷”项目，该项目总预算资金约20亿欧元，旨在为量子技术的研发和应用提供有力支持。同年，德国还发布了《国家量子系统议程（Agenda Quantensysteme 2030）》十年计划，该计划不仅涵盖了量子技术的整个领域，还确定了包括量子测量和传感器系统在内的5大优先发展领域，并提出了教育、培训、科普、合作等一系列配套措施，以推动量子技术从基础研究到市场应用的整个创新链的发展。

投资升级与行动计划

2023年，德国政府对量子技术的投资力度再次升级，提出了《量子技术行动计划》。该计划明确将在2026年前投资30亿欧元用于量子技术的研发和应用，并确定了三个重点行动领域：推动量子技术走向应用、有针对性地促进技术发展以及创造强大的量子技术生态。

投资重点调整与量子技术的整体发展

然而，在2024年，德国并没有发布针对量子传感领域的专门政策及规划。德国政府的量子项目主要集中在量子计算和量子通信领域，反映出其在量子技术领域的投资重点有所调整，但并未忽视量子传感作为量子技术重要组成部分的潜力和价值。

总的来说，尽管德国在量子传感领域发布的专项政策及规划较少，但近年来通过持续加大对量子技术的投资和支持力度，明确了量子技术的整体发展方向和重点领域，对量子传感领域的发展具有促进作用。

05

投融资分析

目录 05 投融资分析

01 融资呈现少数大额且高度集中的趋势

02 美国投融资领先优势明显

03 融资类型以种子轮投资为主

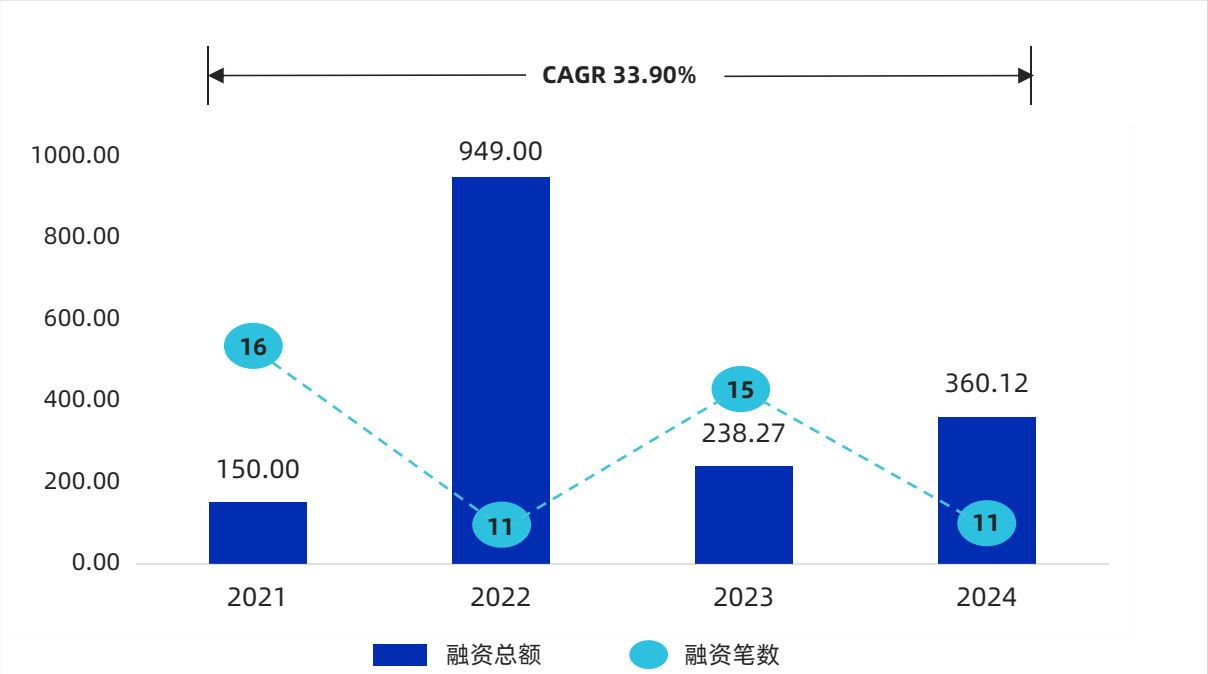
04 囚禁离子/原子路径的融资方向占比较大

01 融资呈现少数大额且高度集中的趋势

从2021年至2024年，全球量子精密测量领域的融资活动呈现出一定的波动性与增长潜力，年复合增长率（CAGR）约33.90%。

总体来看，尽管融资数量在不同年份有所变化，但大额融资事件的增加，显示出融资活动正从较为分散的小额投资向少数大额投资集中，意味着具备明确商业化前景或规模化能力的项目将更容易获得资本市场的青睐，尤其是在高技术投资的背景下，资金涌入逐渐加速。

图表 2021-2024年全球量子传感领域融资总额与笔数（单位：百万美元，笔）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2　　注释：本次统计对未公开具体融资金额的公司进行了数额估计。

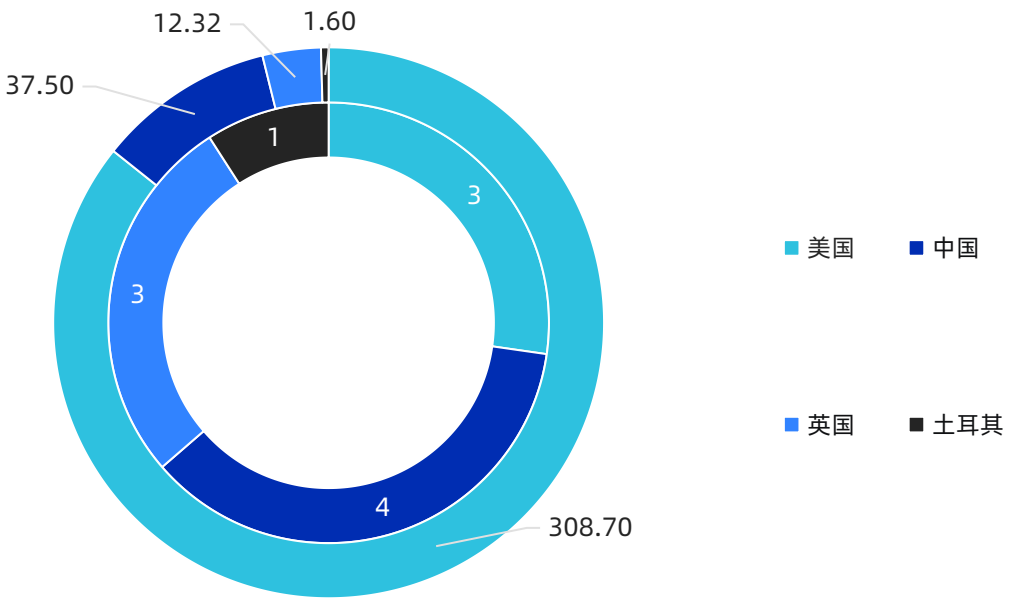
2021年至2024年间，全球量子精密测量领域的融资活动呈现出明显的波动性和集中化趋势。融资金额在这几年间整体呈现增长态势，特别是在2021年至2022年期间，市场出现了显著的资金注入，这充分表明了资本市场对量子精密测量技术的认可度和兴趣在不断提升。同时，融资笔数有所波动，并整体呈现出减少的趋势，这意味着融资活动正逐渐从众多的小额投资向少数大额投资集中。

2024年，尽管融资数量有所下降，但融资规模却继续保持增长，这进一步体现了资本市场对量子精密测量技术未来发展前景的坚定信心。

02 美国投融资领先优势明显

全球量子精密测量领域的投融资活动展现出多元化特征，并且投资呈现出集中化的趋势。2024年度，全球共有11家量子精密测量相关企业参与了投融资活动，预计融资总额高达3.6亿美元。

图表 2024年各国量子传感领域企业融资情况（单位：百万美元，笔）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

注释：本次统计对未公开具体融资金额的公司进行了数额估计；内圈代表融资笔数，外圈代表融资金额。

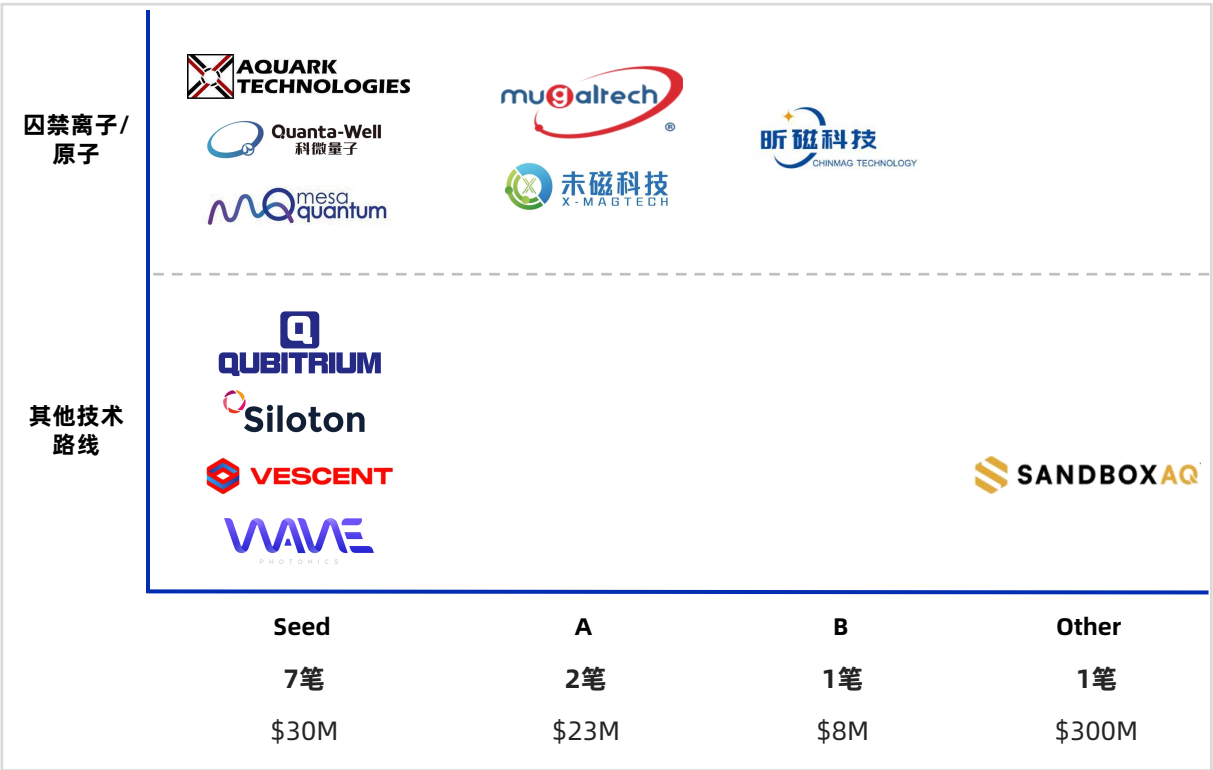
总体来看，美国在量子精密测量领域的资金投向依然领跑全球，其企业投融资活动共计3笔，融资总额高达3.09亿美元，金额远超其他国家。与此同时，中国企业也表现出高度的投资活跃度，尽管总金额约为0.38亿美元，与美国相比存在差距，但投融资笔数达到4笔，这无疑体现了中国在量子精密测量领域的积极战略布局和持续投入。

相比之下，英国量子精密测量领域企业的投资规模与欧美国家相比仍有一定提升空间。据不完全统计，英国企业在该领域的投融资笔数为3笔，估计总金额为0.12亿美元，虽然已展现出一定的投资活跃度，但仍需进一步加大投入力度，以期缩小与中美国家在量子精密测量技术领域的差距。此外，土耳其在量子精密测量领域的投融资笔数仅为一笔，投资金额约160万美元，揭示了土耳其对量子精密测量领域的浓厚兴趣和初步探索。

03 融资类型以种子轮投资为主

2024年量子精密测量领域获得融资企业按技术路径主要分为两大类：囚禁离子/原子以及其他。此外，本次数据统计，将A+合并至A轮；天使轮、前种子轮合并至种子轮；Pre-IPO与风险投资等融资类别合并为其他。

图表 2024年全球量子精密测量领域公司融资概览



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

2024年全球融资活动在各轮次中呈现显著的不均衡分布，显示出资金集中于后期轮次的趋势。总体来看，种子轮、A轮和B轮的融资笔数合计达到10笔，总金额仅约0.6亿美元，而其他的融资笔数为1笔，但总金额却达到了约3.0亿美元。这种资金分布格局表明，尽管初期轮次的融资活动较为活跃，但资本市场的资金更倾向于流向成熟阶段的项目或大额战略投资。

具体而言，种子轮的融资笔数最多，达到7笔，但单笔金额较小，显示出资本市场对早期项目的试探性布局。A轮和B轮相较于其他融资类别，融资笔数和金额较少，反映出投资者在进入发展阶段时更加谨慎。而其他类别的高额融资则包括风险投资、Pre-IPO等融资形式，表明资本更集中于具备明确商业化前景或规模化能力的项目。

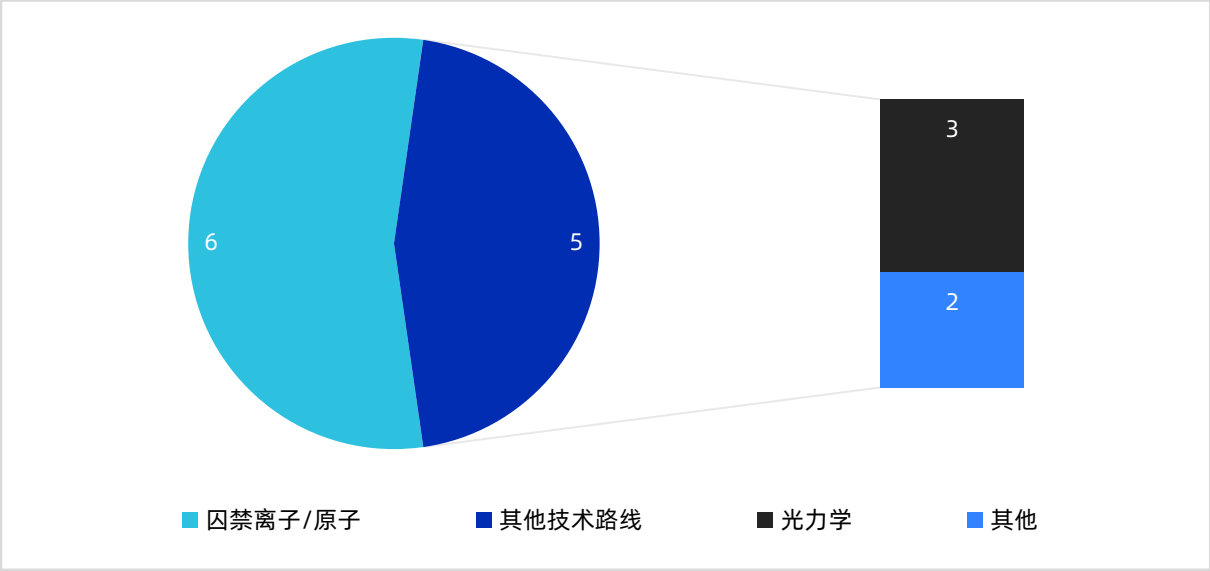
04 囚禁离子/原子路径的融资方向占比较大

2024年量子精密测量领域获得融资企业按技术路径主要分为两大类：囚禁原子/离子以及其他技术路线。

2024年共有6家企业获得融资以推进囚禁原子/离子的发展，具体包括Aquark Technologies、Mesa Quantum、北京未磁科技有限公司、杭州微伽量子科技有限公司、杭州昕磁科技有限公司、北京科微量子科技有限公司，共获得融资金额约0.47亿美元。

其他技术领域共有5家企业获得融资，具体包括Qubitrium、Siloton、SandboxAQ、Vescent Photonics 、Wave Photonics，共获得融资金额约3.13亿美元。其中，在其他技术路径中光力学（Optomechanics）技术的融资占比最大，共计融资金额约0.12亿美元。

图表 2024年全球量子精密测量各技术路线融资笔数分布



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

06

供应商评价

目录

06
供应商评价

01 磁场测量：未来SERF与NV色心将会占据更多市场份额

02 时频测量：技术成熟度普遍较高，商业化较为成熟

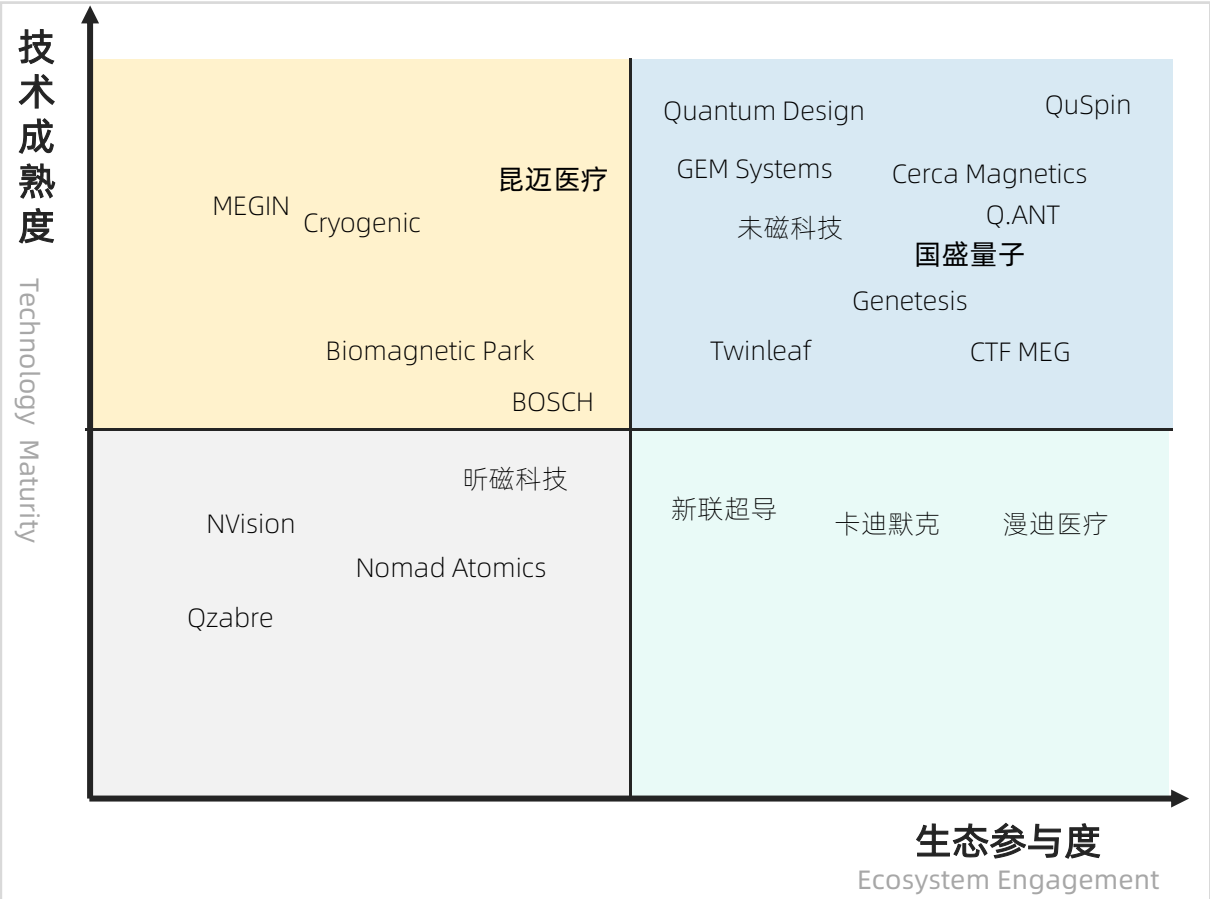
03 重力测量：行业内企业呈现技术与合作均衡发展态势

04 量子精密测量代表性厂商分析

01 磁场测量：未来SERF与NV色心将会占据更多市场份额

目前，量子磁场测量的技术路径较多，市场上主要还是早期的光泵磁力计与SQUID为主，未来SERF与NV色心磁力计可能会占据更多市场份额，并通过成本优势进一步推广量子商业化。

图表 量子磁场领域 Q-EMC 模型



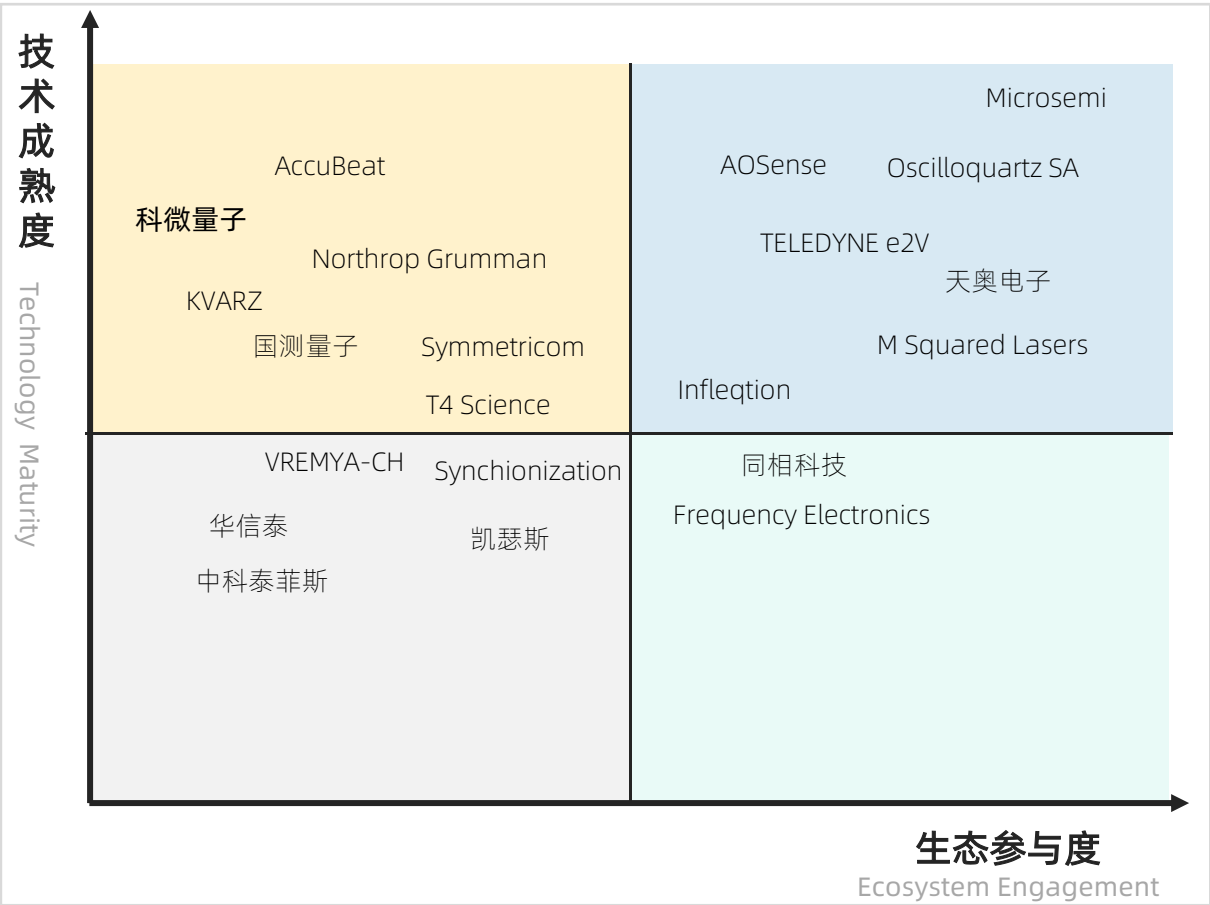
光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

- 生态核心企业：位于右上象限，如国盛量子、Cerca Magnetics展现出高度的生态参与度与卓越的技术成熟度。
- 独立探索者：位于左上象限，如昆迈医疗、MEGIN等企业的技术应用较为成熟，有一定的产品化成果或商业化进展，但在合作参与度上相对独立，未形成较大规模的生态协作关系。
- 成长新星：位于左下象限，如NVision、昕磁科技的技术成熟度和生态参与度均有较大提升空间。
- 生态追随者：位于右下象限，如新联超导、漫迪医疗等企业显示出较高的生态参与度，技术成熟度有待提升。

02 时频测量：技术成熟度普遍较高，商业化较为成熟

量子精密测量技术在时频测量领域的主要参与者包括：Symmetricom（美国）、Microsemi（美国）、AccuBeat（以色列）、TELEDYNE e2V（英国）、Infleqtion（英国）、国盛量子（中国）、科微量子（中国）等。

图表 量子时频领域 Q-EMC 模型



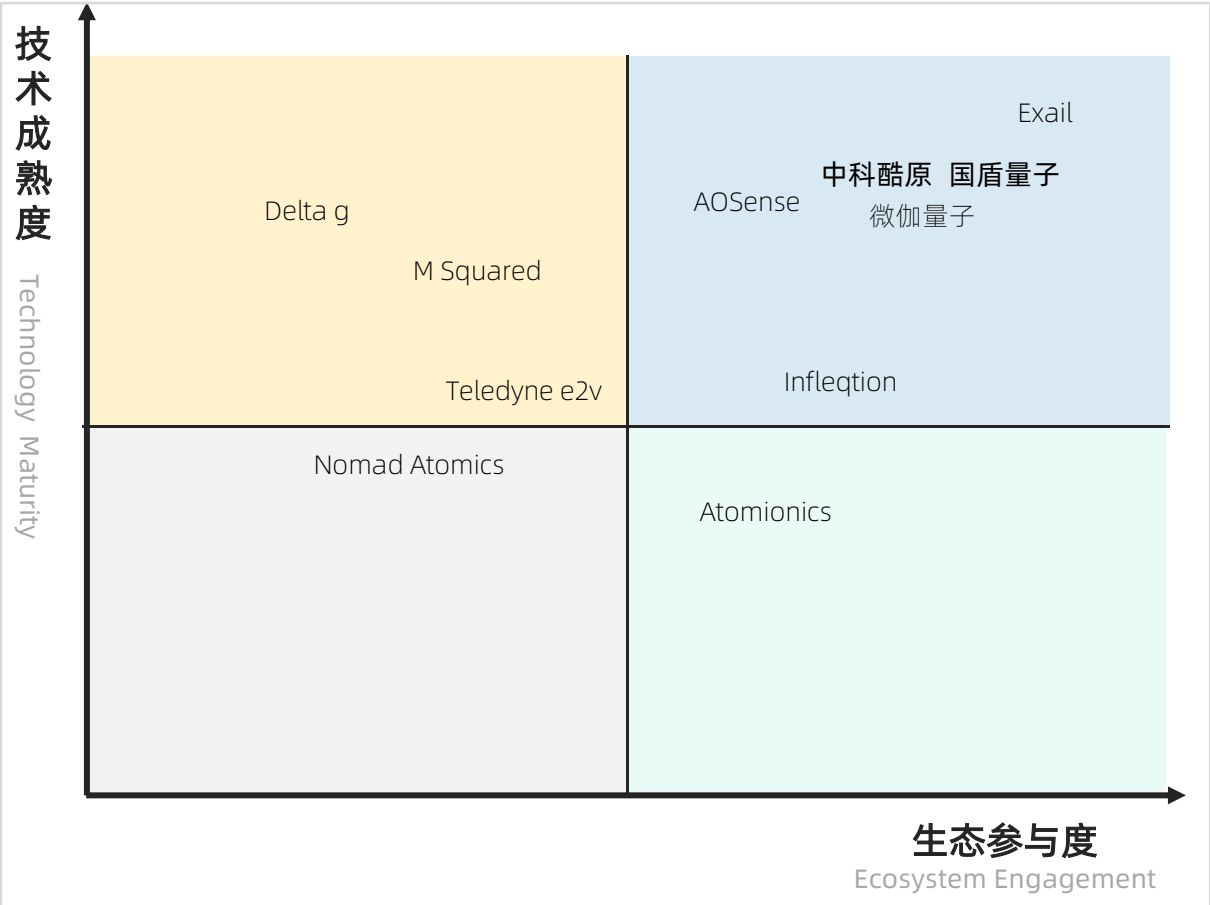
光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

- 生态核心企业：位于右上象限，如Microsemi和天奥电子，作为生态核心企业，它们不仅有成熟的技术和产品，而且通过广泛的合作形成了强大的生态影响力。
- 独立探索者：位于左上象限，如AccuBeat和科微量子，这类公司技术应用较成熟，已有一定的产品化成果或商业化进展，但未形成较大规模的生态协作关系。
- 成长新星：位于左下象限，如华信泰技术成熟度和生态参与度均有较大提升空间。
- 生态追随者：位于右下象限，如同相科技，显示出较高的生态参与度，技术成熟度有待提升。

03 重力测量：行业内企业呈现技术与合作均衡发展态势

量子重力仪市场尚未完全成熟，下游用户对量子重力仪优势了解较少，需加强试用推广。量子重力仪相比经典重力仪中的高端产品在精度、灵敏度等指标上并未表现出绝对优势，加上高昂的价格，导致采购较少。

图表 量子重力领域 Q-EMC 模型



光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

- 生态核心企业：位于右上象限的国盾量子和中科酷原，在技术应用和生态参与方面均表现突出，是量子重力生态系统的关键组成部分。
- 独立探索者：位于左上象限，如M Squared，该类公司技术应用较成熟，已有一定的产品化成果或商业化进展，但在合作参与度上相对独立，有较大的成长空间。
- 成长新星：位于左下象限的公司包括Nomad Atomics，技术和生态影响力均处于发展阶段，尚未形成明显的应用能力或广泛的合作关系。
- 生态追随者：位于右下象限，如Atomionics，虽具有较高的生态体系，但在技术水平层面仍有待提升。

04 量子精密测量代表性厂商分析

图表 美国量子精密测量代表性厂商

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

美国代表性厂商

Infleqtion公司是一家全球领先的量子技术系统开发商，业务领域涉及量子组件、量子计算机、量子软件和量子传感器等。

2024年，公司开创性的光学原子钟Tiqker™ 在英国首次商业交付给斯特拉斯克莱德大学。同年，Infleqtion与航空航天公司BAE Systems和QinetiQ合作，在飞机上成功演示了基于量子的惯性导航系统。这是全球首次公开展示此类技术的飞行演示，标志着量子导航技术向实际应用迈出了重要一步。

SandboxAQ专注于为客户提供融合量子技术与人工智能的创新解决方案，研究领域前沿且高度专业化。

2024年，SandboxAQ成功完成了超3亿美元的新一轮融资，成立仅两年估值就突破56亿美元大关。此外，公司还与美国空军及多家飞机制造商达成多项重大合作，并携手波音完成了全球首次多量子传感器飞行测试，使飞机能够在无需GPS的情况下实现自主导航。

Genetesis是一家美国医疗技术服务商，专注于重新定义心肌缺血和冠状动脉疾病检测方式的医学影像。

公司拥有领先的高科技成像技术，其心脏成像平台于2019年成功获得FDA 510（k）认证，成为全球首个获得监管批准并投入商业应用的基于OPM的MCG系统。同时，Genetesis积极构建开放的量子生态体系，与众多研究机构及企业展开深度合作，共同推动量子技术的创新发展。

公司成立于2004年，深耕于精密导航、时间和频率标准、重力测量领域，是原子光学传感器的领先开发商和制造商。

公司所提供的产品主要包括陀螺仪、加速度计、惯性测量单元（IMU）、重力仪、重力梯度仪和原子频率标准等，产品体系丰富。公司为美国国防部、DARPA、空军、陆军、海军、NASA、NSF、DTRA等的众多政府资助项目研发了最先进的冷原子技术。

公司成立于1989年，是智能、互联和安全嵌入式控制解决方案的领先供应商，产品体系丰富，其中，时钟和计时（Clock &Timing）领域产品——芯片级原子钟（CASC）于2011年推出，是世界上第一个商用芯片级原子钟。

2023年6月公司推出了5071B铯原子钟，作为5071A的下一代商用铯钟。该铯钟为多个行业提供长期、精确的定时和频率解决方案，可在全球导航卫星系统（GNSS）信号被拒绝时保持系统同步达两个多月。

图表 中国量子精密测量代表性厂商

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

中国代表性厂商

国盾量子主要从事量子通信、量子计算、量子精密测量产品的研发、生产和销售，并提供相关技术服务，是中国量子信息产业化的开拓者、实践者和引领者。

2024年，国盾量子积极推进量子精密测量领域成果转化，满足科研、工业、能源、地质等领域对高精度测量技术的需求。公司参与制定了首批量子测量领域国家标准。标准重点解决了量子产业中基础共性标准缺失问题，为我国量子精密测量领域科技、产业、标准化协同发展奠定基础。此外，冷原子重力仪等产品目前也已实现销售，成为其新的业务增长点。

国盛量子是中国首家专注量子工业测量的国家级高新技术企业，专注于常温固态量子传感产品的研发应用，核心团队来自中科院量子信息重点实验室，具有15年专业技术积累，拥有发明专利30余件，海外发明专利2件，编制发布了中国首个量子测量地方技术标准。

基于量子金刚石传感技术，公司开发了量子磁力仪、量子电流测量装置、量子无损检测装置、量子半导体检测装置等产品，为能源电力、精密加工、半导体检测等领域提供了优质的解决方案，产品性能达到中国领先水平。

2024 年 1 月，在中国首座量子应用示范变电站，公司团队与国网安徽电科院联合对 “220kv 三相交流量子电流互感器” 等产品进行试运行前的联调联试。12 月，公司与安徽省特种设备检测院联合研制的量子裂纹检测设备在安徽亮相，为淮南新能源研究中心的热等静压设备开展检测，标志着量子精密测量技术进入特种设备无损检测领域。

中科酷原是同时具备原子量子计算和量子精密测量研发和产业化能力的公司，是中国最早开始中性原子量子技术研究的团队之一。2010年，公司团队研制出了中国首台原子重力仪；2017年，公司研制的可搬运重力仪参加了第十届全球绝对重力仪国际比对（ICAG2017），比对结果受到国际计量局组织认可；2019年，公司研制的小型化原子重力仪入选了中科院自主研制产品名录，其在体积、重量、功耗、重力测量精度等指标上均达到了国际先进水平。

2024年，在国际比对中，公司的量子重力仪产品指标已达到全球领先水平，具有较高的紧凑性和稳定性，以及超高的重力测量灵敏度。

昆迈医疗以超灵敏弱磁探测与成像为核心技术，专注于无液氦量子脑磁图的自主研发与生产，已完成了5例商业化装机订单，并已获得全球首个无液氦脑磁图系统的NMPA认证。

2024年5月，昆迈医疗自主研发和生产的创新医疗器械产品“脑磁图系统”在北京获批上市，是全球首个临床获批的无液氦脑磁图系统。该产品采用量子弱磁传感技术，通过操控光与碱金属原子的相互作用来实现脑部神经组织电活动产生的极弱磁场信号检测，系统工作不再需要使用液氦，检测过程无创伤、无辐射，也解决了进口超导脑磁图成本高、临床应用受限的难题。

科微量子成立于2024年，是由北京量子信息科学研究院原子系综精密测量团队核心成员，依托北京市科技成果转化政策与科研人员创新创业机制，在职创办并全面运营的量子科技企业。作为首批入驻北京市量子信息产业孵化器的企业，公司现有研发团队50%具有博士及以上学历。

公司以自主可控的量子精密测量技术为根基，构建了微型原子钟与里德堡原子传感双轮技术驱动体系，持续推动量子传感技术的工程化突破，致力于成为量子精密测量领域标杆企业，为客户提供具有世界领先水平的量子时频基准、电磁信号探测系统及行业定制化解决方案。

2024年，公司成功研制出全球首台里德堡原子频谱监测系统。该系统采用了扫描式原子超外差技术，能够实现基于里德堡原子的连续频谱高灵敏监测，填补了里德堡原子在频谱监测领域的应用空白。

国耀量子雷达专注于近红外至中红外光量子雷达的研发、制造与销售，是一家量子精密测量领域技术应用前沿的高新技术企业。

公司致力于为大气环境颗粒物污染排放监测、大气气象变化监测、“双碳”计量、城市智慧交通出行、航空气象变化监测、应急森林防火、工业园区安全等多个领域提供创新解决方案。

2024年，公司的大气多参数光量子雷达系统可实现立体空间内的大气风场、气溶胶、云雾等网格化分布监测，可满足Class 1M人眼安全标准要求，数据刷新率快；近红外光源，不可见，隐蔽性高；受太阳噪声影响小。

未磁科技拥有先进的极弱磁场测量核心技术平台，致力于为广大客户提供弱磁测量全面解决方案。公司核心团队由世界500强公司高管、清华大学、南京大学的杰青、优青等国家高层次人才、高层次留创人才、博士后及博士组成，在测量学、量子物理、精密光学、集成电路与控制、结构设计等方面有超过20年的雄厚技术积累，为公司成为量子精密测量行业的独角兽奠定了坚实的基础。

2024年，公司发布了获得医疗器械注册证的128通道量子脑磁图仪。该设备突破了超高精度极弱磁场测量技术，灵敏度达到地球磁场十亿分之一量级，能够在常温医疗环境下实现大脑磁场测量和功能成像。

微伽量子成立于2018年，是一家专注于高精度量子精密测量仪器研发、制造和服务的高新技术企业。公司率先实现商用高精度绝对重力仪的国产化并积极开展应用示范，为地震研究、资源勘探、地质调查、计量测绘等领域提供精密重力测量仪器与服务。

2024年，公司的大气多参数光量子雷达系统可实现立体空间内的大气风场、气溶胶、云雾等网格化分布监测，可满足Class 1M人眼安全标准要求，数据刷新率快；近红外光源，不可见，隐蔽性高；受太阳噪声影响小。

天奥电子作为中国领先的时间频率企业，拥有完整的时间频率产品线，具备时频系统集成能力，可为客户提供完整的时频解决方案。公司坚持“技术领先，产业报国”的发展理念，以技术创新驱动产业发展，打造“器件—部件—设备—系统”协同发展的产业基地，致力于成为世界一流的时间频率创新型企业。

公司通过多年的研发，已经拥有铷钟、铯钟、CPT钟等产品。同时，公司还在开展其他新型原子钟及量子精密测量技术的研究。此外，公司还开展了原子磁强计为主的量子精密测量技术的研究，目前磁探仪探头在医疗领域有小范围试用。

图表 欧洲量子精密测量代表性厂商

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

欧洲代表性厂商

Oscilloquartz提供精准可靠的计时和同步方案，弥补GPS 等 GNSS 系统受干扰、攻击的漏洞。公司产品应用于生物医学成像、激光雷达、量子传感等领域。2024 年，公司的光学铯原子钟技术被沃达丰土耳其公司部署，为其全国网络带来全新弹性计时能力。

M Squared公司的量子重力仪采用先进量子干涉技术，在高精度重力测量中表现卓越，具备强大稳定性和抗干扰能力，适用于复杂环境。该产品在地质勘探和资源探测领域应用潜力大，市场关注度高，获用户积极反馈与高度认可，是量子重力测量领域的领先者。

Exail 收购 iXblue 并融合 ECA Group 技术，打造了新品牌。其量子重力仪在多领域应用中性能卓越，测量精度达 10^-8 m/s²。公司还推出智能激光系统等产品，并与顶尖学术实验室合作研发下一代量子技术。

07

产业分析与预测

目录 07 产业分析与预测

01 多领域应用推动产业蓬勃发展

02 产业商业化逐渐成熟，产业规模进一步提升

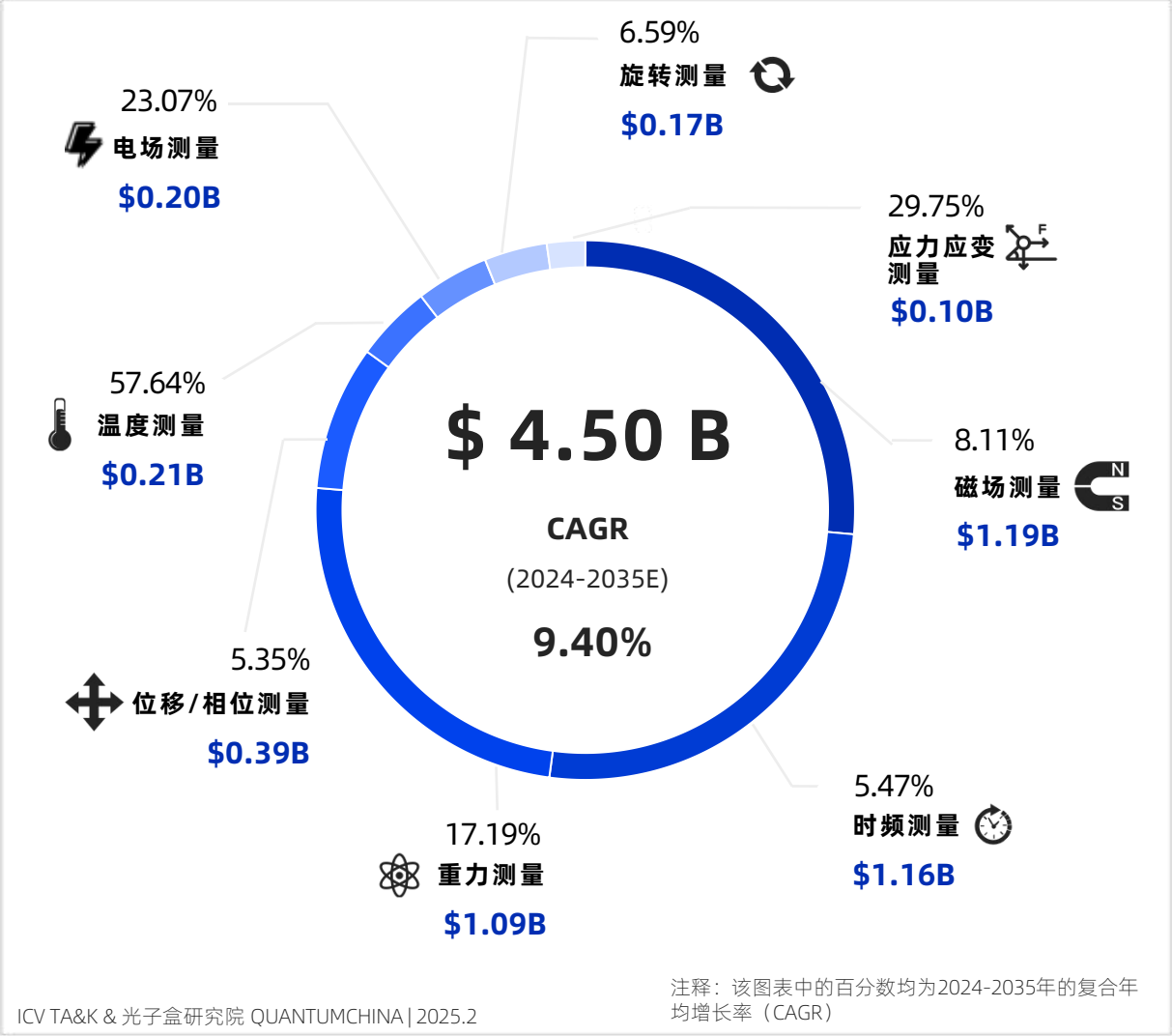
03 全球量子精密测量竞争格局动态变化

04 多领域的广泛需求为市场增长注入了活力

01 多领域应用推动市场蓬勃发展

从整体来看，总产业规模从2024年的16.74亿美元增长至2035年的44.97亿美元，年均复合增长率为9.40%，呈现出产业规模持续增长的态势。所有量子精密测量仪器的市场份额都在随着时间的推移而增加，彰显了量子精密测量技术在多个领域的广泛应用潜力及市场需求的逐渐扩大。

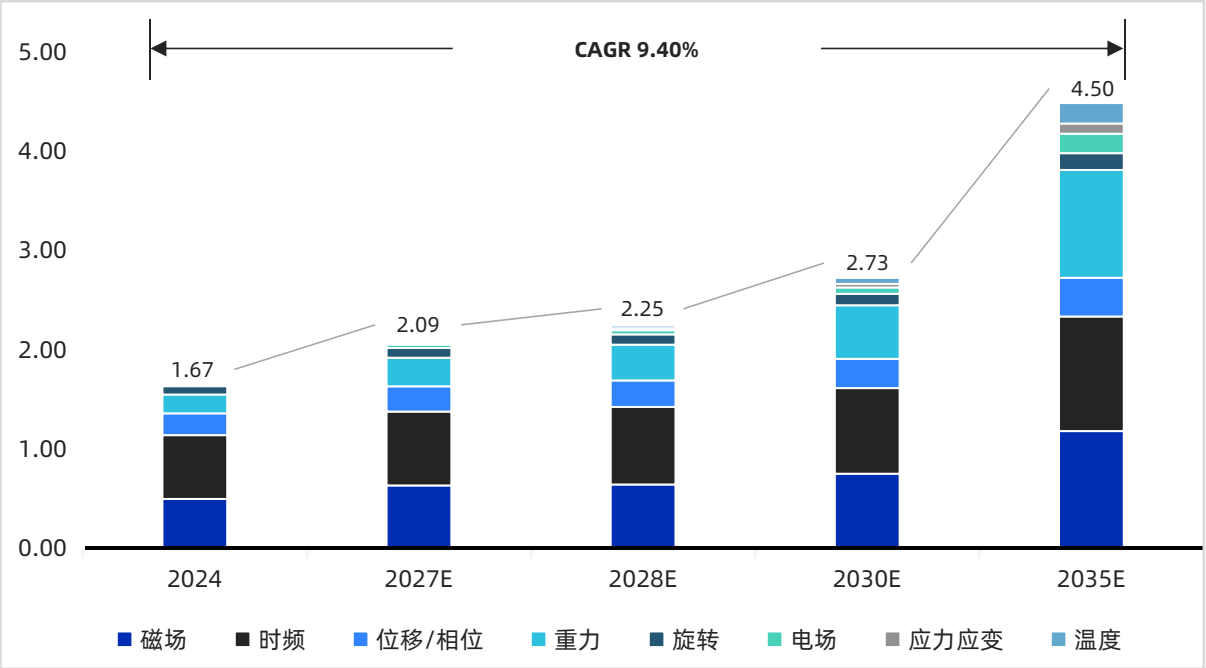
图表 2035年全球量子精密测量产业规模预测（单位：十亿美元，%）



02 产业商业化逐渐成熟，整体规模进一步提升

从细分领域来看，各技术方向的产业规模在未来十年间的增速各有差异，但整体上反映出量子精密测量技术的多样化应用正逐步成熟并开始商用化。

图表 全球量子精密测量产业规模预测（2024-2035E）（单位：十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

时频测量领域的产业规模占比最大。到2035年，量子时钟的产业规模达到11.6亿美元，年复合增长率为5.47%。与其他仪器相比，虽然量子时钟领域的产业规模占比较大，但是增速却较为较慢。

重力测量市场在未来十年的扩展较为显著，2035年规模预计达到10.9亿美元，年复合增长率为17.19%。这与其在资源勘探、地质监测和能源领域的重要应用息息相关，尤其是量子重力仪在矿产、石油和地下结构探测中的巨大潜力。

磁力测量同样是未来的重点领域，整体技术发展较为成熟。到2035年，其产业规模预计达到11.9亿美元，年复合增长率为8.11%。这主要得益于其在医学、科学研究和国防领域的应用场景。

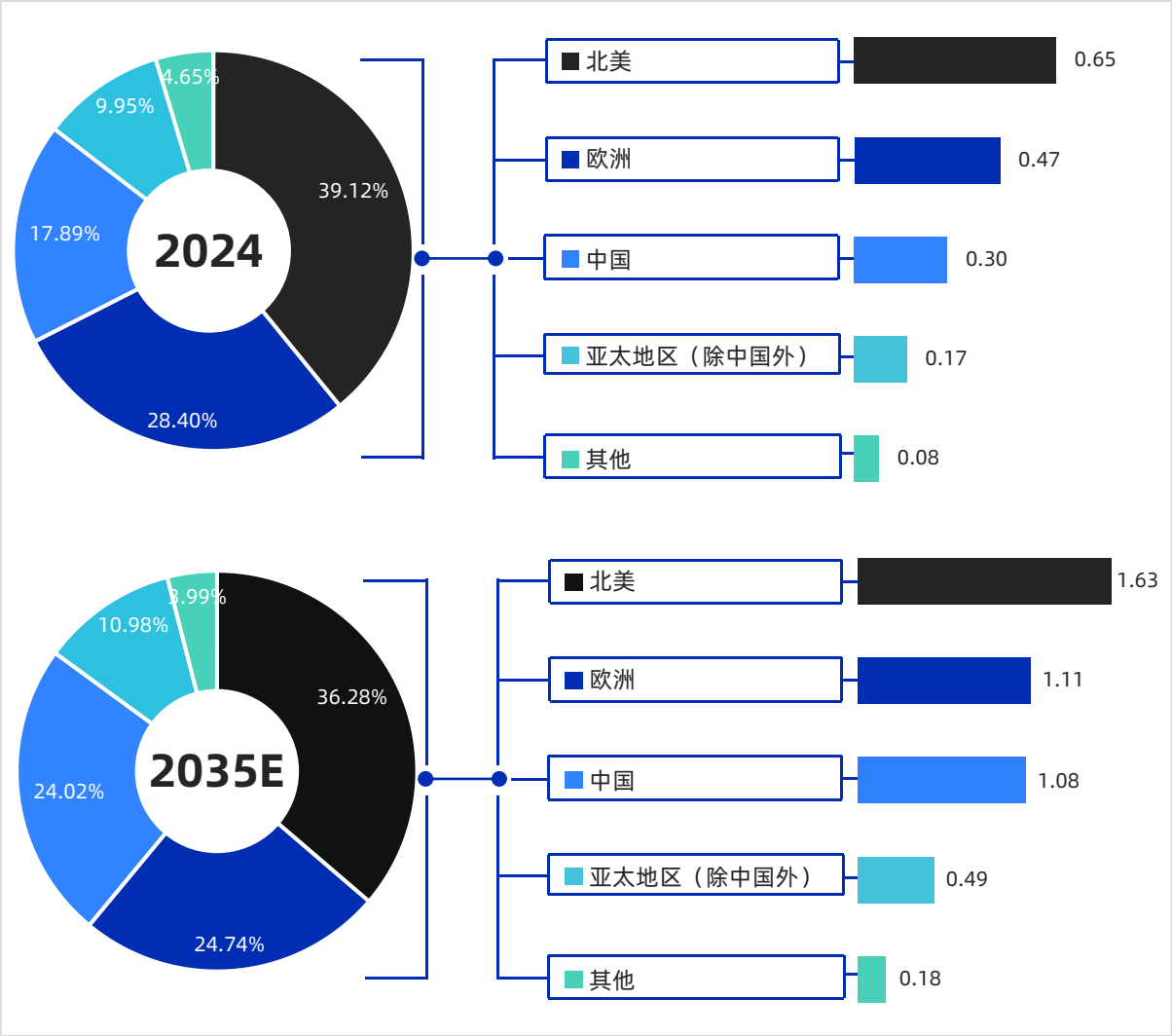
旋转测量、电场测量、温度测量和压力测量等细分领域的产业规模尽管相对较小，但增速不容忽视。这些领域的技术发展，更多是基于特定工业和科研需求的驱动。

03 全球量子精密测量竞争格局动态变化

全球量子精密测量市场呈现出动态变化的趋势。2024年，全球量子精密测量产业规模达到16.74亿美元，其中北美占比39.12%、欧洲占比28.40%、中国占比17.89%、亚太地区（除中国外）占比9.95%、其他地区占比4.65%。

2035年，随着量子精密测量市场的不断成熟和发展，全球产业规模升至44.97亿美元。在这一时期，中国份额显著增加到24.02%，显示出中国在全球市场中的崛起。欧洲和亚太地区（除中国外）分别略微下降至24.74%和10.98%，其他地区占比3.99%，北美仍维持较高的市场份额，占比36.28%。

图表 全球各地区量子精密测量产业规模（2024 & 2035E ）（单位：%，十亿美元）



ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

04 多领域的广泛需求为市场增长注入了活力

量子精密测量技术的核心价值在于其高精度和抗干扰性，这使其在国防、能源、医疗、通信等多个行业都具有极高的应用潜力。

例如，量子重力测量技术在地质勘探和能源开发中的应用日益受到关注，而时间测量和磁场测量在通信和医疗领域的需求也呈现持续增长趋势。

随着行业对更高精度测量设备的需求不断增强，产业规模预计将稳步扩大。预计2035年，量子精密测量领域在军事国防方面的应用规模达42.25%，较2024年占比略微下降；民用领域的应用规模由2024年的26.04%增长至33.62%；科学研究领域的应用规模由2024年的24.78%下降至24.13%。

这表明在早期阶段，大多数量子精密测量仪器主要集中应用于军事国防领域，而民用领域和科学研究领域的应用规模相对较少。但随着技术的不断成熟以及下游应用规模的不断拓宽，产品价格和性能发挥着关键作用，尤其是民用领域，应用规模逐渐增加。

图表 全球量子精密测量下游应用规模（2024 & 2035E）（单位：十亿美元）

ICV TA&K & 光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

注释：民用领域包括医疗健康、能源环保、同步通信等多个领域

08

产业展望

目录 08 产业展望

01 中短期聚焦提升核心组件性能

02 性能稳定的量子材料是量子传感器的根基

03 集成优化与小型化成为发展关键

04 中短期内融资活动呈现多元化特征

05 民用领域市场将得到进一步拓展

06 量子传感有望为核聚变反应提供精确监测和控制

07 量子温度和压力传感器商业化进程有望加速

08 量子传感与AI技术相融合成为主要发展趋势

09 量子传感网络将围绕多层架构的构建与网络化协作展开

01 中短期聚焦提升核心组件性能

量子精密测量技术，作为量子领域中最具多元化特点的分支，正以其独特的发展路径在不同阶段的测量领域中崭露头角。

对于已步入成长期和成熟期的测量领域

- **技术革新的焦点将逐渐转向深入探索创新角度。**
- 科研人员将致力于开发新传感器、设计新协议和模式，并开拓新的应用场景，挖掘量子精密测量技术的潜在价值，同时不断提升技术效能，通过优化算法、改进测量流程等方式，以满足日益增长的市场需求。

正处于萌芽期和起步期的测量领域

- **更加注重技术的优化和提升。**
- 这些领域将在现有基础上，以展示量子优越性、进行工程化打磨并实现工程化应用为主。

从中短期来看

- **量子精密测量技术的核心将聚焦于关键组件的研发与优化。**
- 探测器灵敏度的提升，能够更精准地捕捉微弱信号，从而提高测量精度；激光器性能的优化，可实现更稳定、更精准的量子态激发，为量子测量提供更可靠的光源。同时，调制器等关键部件的技术突破，能有效改善信号处理和控制能力，对整个领域的发展产生重要影响。

02 性能稳定的量子材料是量子传感器的根基

在量子传感领域，材料的制备与纯化是实现高性能传感器的根基。量子材料的特性对杂质和缺陷极为敏感，哪怕极微量的杂质或微小缺陷，都可能显著改变其量子态，进而影响量子传感器的性能。

因此，制备高纯度的量子材料成为一项极具挑战性的任务。同时，保证材料在微观尺度上的均匀性和一致性，确保每个区域的量子特性相同，也是不可忽视的关键问题。

从长远发展视角来看

- **对材料纯度的极致追求，不仅会推动量子传感技术实现突破性进展，还有望催生全新的材料设计理念。**
- 比如，通过精准控制材料的缺陷分布和掺杂浓度，能够实现对量子态的有效调控，进而开发出具有独特量子特性的新型量子材料。此外，利用光的结构来扭曲和调整量子材料的特性，为材料设计提供了新的思路。

量子材料是量子传感技术走向实际应用的关键

- **量子材料在高温、高压、强磁场等复杂且严苛环境下的性能稳定性，是量子传感器能否正常工作的关键。**
- 例如，上海微系统所成功研制的基于钻石负电荷氮空位色心的量子电流传感器，通过材料与技术的结合，实现了在复杂电磁环境下的高精度和高稳定性。此外，剑桥大学的研究人员在六方氮化硼（hBN）中发现了室温下的自旋相干性，这一发现为量子传感技术提供了新的材料选择，并展示了在环境条件下保持量子特性的潜力。

材料科学与量子技术的深度融合

- **有望开发出能在极端条件下依然保持稳定性能的量子传感材料。**
- 例如，分子束外延（MBE）技术可在原子尺度上精确控制材料生长，通过该技术合成的异质结构材料，能够实现超导性、铁磁性和拓扑带结构的共存，为量子传感材料的设计提供了全新方向，有望满足未来更多复杂应用场景对量子传感器的需求。

03 集成优化与小型化成为发展关键

量子传感器作为新一代高精度测量设备，在诸多领域展现出巨大潜力。然而目前，因其部分产品体积庞大、功耗较高，且集成难度大，应用范围受到限制。各技术路线的集成优化与小型化就成为关键的发展方向。

精简结构、剔除冗余元件

- **采用低功耗元件和高效信号处理算法。**
- 能够有效降低量子传感器的体积与功耗，提升能效比。

基于电路设计优化，结合微纳加工技术与先进材料科学

- **实现量子传感器关键部件的微型化。**
- 从而确保微型部件在微纳米尺度上仍能展现出卓越的性能。

2024年，DARPA启动了“运用里德堡原子增强量子传感器技术”（EQSTRA）项目，旨在开发包括芯片级可调谐、频率敏捷的光源组件在内的相关技术，以进一步缩小基于里德堡的集成原子接收器的尺寸、重量与功率，将里德堡静电计的工作频带拓展至毫米波域，开发晶圆级原子气室等，为量子增强感知、成像和通信等军事相关应用催生颠覆性机遇。

未来发展方向

- **芯片级的原子钟**将继续在体积和功耗显著降低的同时，保持高精度时间基准；
- **量子重力仪**将实现紧凑化，适用于更多重力场测量场景；
- **磁力计**通过芯片化和一体化设计，在体积和功耗降低的同时，提高灵敏度和准确性，为医疗诊断、导航定位等领域提供支持；
- **小型化的量子陀螺仪**也将替代传统的MEMS陀螺仪，广泛应用于智能手机、无人机等便携式设备。

然而，在此发展过程中，也要正视并解决一些现实问题，例如，如何实现量子传感器与经典传感器的数据融合，以及如何实现多种量子传感功能的片上集成等，从而助力量子传感器的应用加速落地。

04 中短期内融资活动呈现百花齐放特征

中短期内，全球量子精密测量领域的融资活动将继续展现出强劲的增长潜力与多元化特征。

融资规模将持续扩大

- **继2024年融资金额显著增长后，未来全球量子精密测量领域的融资规模有望继续保持增长态势。**
- 随着技术的不断成熟和应用场景的逐步拓展，市场对量子精密测量技术的认可度将进一步提升，吸引更多资本涌入。

融资活动将更加集中

- **融资活动将继续从较为分散的小额投资向少数大额投资集中。**
- 这意味着，具备明确商业化前景或规模化能力的项目将更容易获得资本市场的青睐。欧美国家，特别是美国，将继续在量子精密测量领域的融资活动中占据主导地位。同时，英国等欧洲国家也将保持高度的投资活跃度，展现出其在该领域的积极战略布局。

中国量子精密测量领域融资将加速

- **中国企业在量子精密测量领域的投资规模有望在未来几年内实现显著提升。**
- 随着国家对科技创新的重视和投入力度的加大，以及量子精密测量技术在市场的逐步应用，中国企业在该领域的融资活动将更加活跃。

资本市场将更加倾向于后期轮次融资

- **未来，全球量子精密测量领域的融资活动将继续呈现资金集中于后期轮次的趋势。**
- 资本市场将更加倾向于投资成熟阶段的项目或大额战略投资，以确保投资回报的稳定性和可靠性。初期轮次的融资活动虽然仍将保持活跃，但单笔金额可能相对较小。投资者在进入发展阶段时将更加谨慎，对项目的商业化前景和盈利能力进行更严格的评估。

05 民用领域市场将得到进一步拓展

量子精密测量技术近年来在精度、稳定性、生物兼容性和环境适应性等性能上取得了显著突破，为民用市场的拓展奠定了坚实基础，并在医疗、交通和消费领域展现出巨大的发展潜力。

医疗领域

- **量子精密测量技术正逐步融入疾病诊断和健康监测等核心环节。**
- 脑磁图和心磁图等量子诊断工具的不断成熟，为精准化医疗服务提供了有效支持，未来有望实现小型化、可穿戴化和低成本化，进一步普及到民用医疗场景中，改善大众健康管理水平。

交通领域

- **量子雷达、量子加速度计和量子陀螺仪等高性能量子传感器，为自动驾驶系统提供了关键保障。**
- 能够精确测量交通工具的行驶参数，特别在恶劣天气、低能见度和复杂环境中表现出显著优势，为自动驾驶系统的安全性与效率提升提供了关键保障。
- 同时，通过开展跨平台量子传感器融合技术等方面的研究，研发低丰度高灵敏磁性量子检测传感器，有望在储能、新能源汽车等领域实现示范应用。

消费级领域

- **智能化设备未来将逐步受益于量子精密测量技术突破。**
- 4月，SPH Engineering推出的MagNimbus系统，结合无人机和磁探测传感器，显著提升了空中磁探测任务的效率与精度。这项技术广泛应用于未爆炸物探测、考古研究、地质调查和环境监测等领域，同时为低空经济的发展注入了新的活力。

生活领域

- **量子传感器高精度赋能智能设备革新与生活升级。**
- 多种智能设备中的量子传感器，将凭借其高精度和灵敏度，不断为用户提供更加便捷和个性化的生活体验，并且有望为无人机等设备带来革命性的提升。

06 量子传感 有望为核聚变反应提供精确监测和控制

核聚变是模仿太阳产生能量的机制，承载着人类对清洁、可持续能源的无限憧憬。在太阳和恒星中，核聚变是产生能量的主要机制。但要实现受控热核聚变反应，仍是个巨大的挑战，涉及极端的温度、压力和复杂的等离子体物理过程。

在核聚变反应过程中，需要实时监测和控制各种复杂的物理参数，比如温度、压力、等离子体状态等。而量子精密测量技术，凭借其高精度和高灵敏度的特点，能够实现对这些参数的实时监测和精确控制，为核聚变反应的安全、稳定进行提供了有力的保障。

量子传感器在核聚变中应用

- **通过探测中子的散射和俘获过程**，量子传感器可以帮助优化核燃料的布局和反应堆的结构设计；
- **通过监测核废料的存储状态**，量子传感器可以确保其在长期存储过程中保持安全和稳定。

目前仍处于发展初期

- 中国原子能科学研究院研究表明，量子传感技术凭借其高精度和高灵敏度的特点，在核聚变领域中可用于精确测量极端条件下的关键参数，助力优化聚变反应条件、监测等离子体行为以及保障核安保，展现出广阔的应用前景，**但目前仍处于发展初期，需进一步推动技术创新与集成应用。**

从实时感知极端环境参数到优化关键设备设计

- 量子精密测量技术将有望帮助人类更快突破核聚变的技术瓶颈，推动清洁能源的规模化应用。

07 量子温度和压力传感器商业化进程有望加速

近年来，量子温度传感器的测量精度已经达到微米乃至纳米级别。

2024年，日本国立研究机构量子科学技术研究开发机构（QST）宣布，利用纳米量子传感器成功实现了哺乳动物体内细胞温度和pH值等参数的高精度测量，标志着量子传感技术在生命科学领域的实际应用取得了重要突破。

量子压力传感器同样表现出显著优势，其微帕级别的测量能力、高分辨率、快速响应和便携性为多个应用场景提供了全新可能。

航空航天领域

- 量子压力传感器通过高灵敏度和宽动态范围，精准捕捉飞行器在不同飞行状态下的压力变化，为飞行安全和性能优化提供了可靠的数据支持。

地质勘探领域

- 量子压力传感器对地下深层压力分布的有效探测，为石油、天然气等资源的发现开辟了新路径。

工业自动化领域

- 实时压力监测能力则显著提升了生产效率和产品质量。

生物医学工程领域

- 量子压力传感器可以用于监测人体血管或器官的压力变化，为疾病诊断和治疗提供精确的量化依据。

目前，量子温度与压力传感器的发展方向正逐步向商业化、小型化、集成化及多学科交叉融合迈进，并将为科研与生产活动提供更精确、可靠的测量解决方案，助力多个领域实现技术革新和产业升级。

08 量子传感与AI技术相融合成为主要发展趋势

目前，量子精密测量技术正加速与AI技术的深度融合。通过软件、算法与平台的全面整合，量子传感器正从单一的高精度测量工具转型为智能化、动态化的综合解决方案，不仅提高了量子测量系统的灵活性与适应性，还使其在各类复杂场景中提供更加精准和高效的支持。

医疗领域

- **量子传感器与AI算法的结合，有望改变传统诊疗方式。**
- 通过AI提取复杂生物信号中的关键特征，高性能量子传感器可以迅速识别潜在健康风险，实现疾病的早期干预与精准治疗，提升医疗系统的诊断效率。

自动驾驶领域

- **AI技术通过量子雷达等先进传感器，能够实现物体的精确定位和运动状态监测。**
- 为复杂路况中的车辆快速决策提供保障，推动智能交通的进一步发展。

导航领域

- **全球首个AI和量子驱动的商业实时导航系统。**
- AQNav系统在传统GPS信号受阻或不可用时，通过量子传感器提供精准的空中、陆地与海上导航，标志着量子技术与AI深度融合的重大突破。

机器人领域

- **通过提供高精度的物理量测量，量子传感器将赋予人形机器人更细腻的感知能力，使其在复杂环境中的操作更加灵活高效。**
- 例如，AI结合量子传感数据能够实时调整机器人的平衡与动作，为其在医疗、教育、服务等领域的应用创造了更广泛的可能性。

09 量子传感网络将围绕多层架构的构建与网络化协作展开

未来，量子传感领域将围绕感知层、传输层、平台层和应用层逐步完善，量子传感器也会从单点应用向网络化协作迈进，形成一个互联互通的量子传感网络。

这种网络不仅实现了传感器在空间上的协同工作，还能实时共享数据并进行远程分析，大幅提升复杂系统的全局感知能力，推动智能化应用水平的提升。

技术层面

- **量子传感网络的发展离不开量子纠缠、量子中继器等关键技术的突破。**
- 量子纠缠能显著提升传感器的灵敏度与精度，使测量结果更加精准；量子中继器则有效解决了量子信号长距离传输时的损耗问题，确保信号稳定传输。
- **量子传感网络与量子通信技术的深度融合至关重要。**
- 通过量子密钥分发（QKD）等技术，能够保障数据在传输过程中的安全性，防止信息被窃取或篡改。

应用层面

- **量子传感网络在多个领域发挥着关键作用。**
- 例如在高时空分辨率的地球物理绝对重力网场景中，需突破低噪声高功率拉曼激光制备、低噪声原子干涉信号探测以及宽频段振动抑制和补偿等技术，研制出小型集成化、光纤化的量子绝对重力仪。
- **联合相关机构开展重力组网连续观测和流动重力勘查的示范应用，获取区域性的重力时变信息。**
- 这些信息可用于地震监测，提前感知地壳运动变化，为地震预警提供数据支持；在地质测绘方面，能更精确地绘制地质构造图，助力资源勘探等工作。

产业发展角度

- **量子传感网络的建设将促进相关产业链协同发展。**
- 上游的传感器制造环节，需要不断研发新材料、新工艺，提升传感器性能；中游的网络传输环节，要优化传输技术，保障数据高效、安全传输；下游的应用开发环节，根据不同行业需求，开发多样化的应用场景。各环节紧密相连，形成一个完整的产业生态。
- **随着技术不断成熟，成本逐渐降低，量子传感网络未来有望在更多城市和地区部署，拓展其应用范围。**

09

附件

目录 09 附件

01 量子生态成熟度罗盘（Q-EMC）

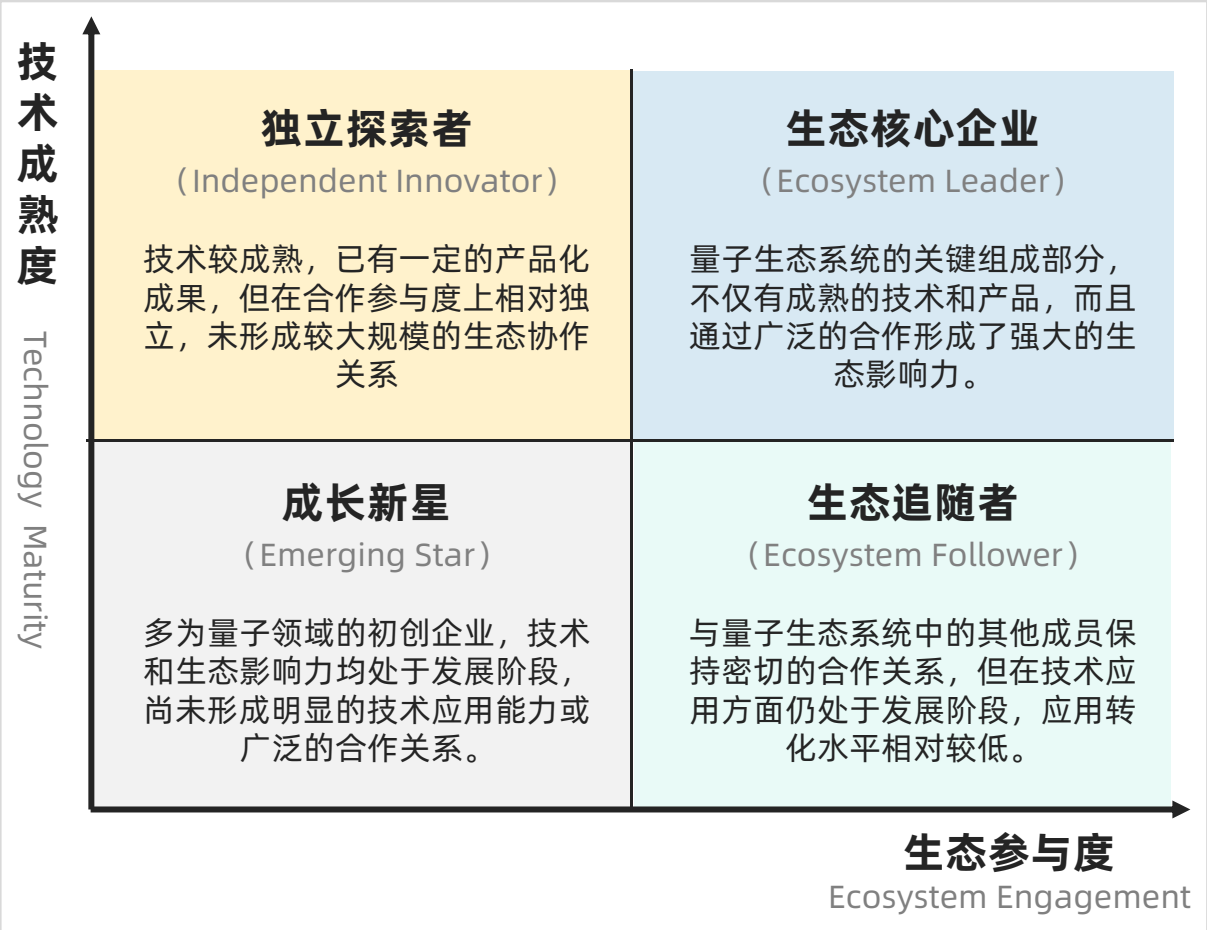
02 全球量子测量标准制定情况

03 参考链接

01 量子生态成熟度罗盘（Q-EMC）

本报告提出一个二维矩阵评价模型，该模型通过技术成熟度（纵轴）和生态参与度（横轴）两个维度，系统性评估量子计算领域参与者（企业、研究机构或技术路线）的综合竞争力，揭示其技术能力与生态整合能力的动态平衡关系。

图表 量子生态成熟度罗盘（Q-EMC）



光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

模型详解

横轴：生态参与度

衡量公司在量子生态系统中的合作深度和广度。高生态参与度的公司通常与其他企业、高校、研究机构甚至政府有广泛合作，积极融入产业生态，并善于整合资源、形成协作网络。低生态参与度的公司则多倾向于独立运作，或由于处于早期发展阶段而缺乏大范围合作关系。

纵轴：技术成熟度

反映公司在量子技术方面的成熟程度，包括其核心技术的研发深度、可靠性和稳定性。这一维度评估公司在技术积累上的深厚程度，以及其量子技术是否具备标准化和可扩展性。高技术成熟度的公司通常具有经过验证的技术能力，能够提供高质量的产品或服务，并为进一步的应用转化和市场化奠定坚实基础。

模型应用

- 独立探索者：可以考虑增加生态合作，借助外部资源进一步推动技术应用；
- 生态核心企业：可通过技术突破和扩展合作网络，巩固核心地位；
- 生态追随者：可以重点提升技术及其应用能力，以增强自身市场竞争力；
- 成长新星：可以选择重点发展技术应用或增加生态合作，尽快找到合适的切入点以提升市场影响力。

在《2025全球量子传感产业发展展望》报告中。技术成熟度具体权重指标包括量子传感技术路线（囚禁原子/离子、固态自旋、超导以及其他传感技术）、量子传感设备性能指标（灵敏度、分辨率、稳定性、噪声水平、响应速度等）、工程化能力（温度、湿度等）、知识产权、2024年技术进展等；生态参与度具体权重指标包括2024年合作进展情况、标准制定情况、联盟情况等。

02 全球量子测量标准制定情况

量子测量领域标准制定情况

发布时间	实施时间	发布单位	标准名称	标准号
2020.12	2021.07	TC544（全国北斗卫星导航标准化技术委员会）	铯原子钟技术要求及测试方法	GB/T 39724-2020
2023.10	2023.11	安徽省市场监督管理局	固态自旋量子磁力测量技术性能表征	DB34/T4550-2023
2024.03	2024.10	全国量子计算与测量标准化技术委员会	量子精密测量中里德堡原子制备方法	GB/T 43735-2024
2024.03	2024.10	全国量子计算与测量标准化技术委员会	光钟性能表征及测量方法	GB/T 43785-2024
2024.03	2024.10	全国量子计算与测量标准化技术委员会	单光子源性能表征及测量方法	GB/T 43784-2024
2024.03	2024.10	全国量子计算与测量标准化技术委员会	原子重力仪性能要求和测试方法	GB/T 43740-2024
2024.03	2024.10	全国量子计算与测量标准化技术委员会	量子测量术语	GB/T 43737-2024

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

量子测量领域在研标准

下达时间	计划号	标准名称	项目周期
2024.03	20221340-T-469	基于氮—空位色心的微弱静磁场成像测量方法	12个月

光子盒研究院 QUANTUMCHINA | 2025.2

03 参考链接

https://www.mdpi.com/1996-1944/17/22/5469
https://www.mdpi.com/2076-3417/14/4/1478
https://www.mdpi.com/2076-3417/14/14/6212
https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ado6240#con1
https://arxiv.org/html/2404.15762v1
https://www.nature.com/articles/s41565-024-01633-1
https://www.nature.com/articles/s41928-024-01214-z
https://journals.aps.org/prb/abstract/10.1103/PhysRevB.110.155414
https://www.nature.com/articles/s43246-024-00659-1
https://science.nasa.gov/science-research/science-enabling-technology/quantum-scale-sensors-used-to-measure-planetary-scale-magnetic-fields/
https://arxiv.org/abs/2401.01333
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1674-1056/ad6130/meta
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2631-8695/ad248c
https://atap.lbl.gov/news/quantum-sensing-shedding-new-light-on-dark-matter/
https://quspin.com/magnimbus-an-all-in-one-solution-for-uav-based-magnetic-detection/
https://lucidityinsights.com/news/qubitrium-16m
https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/qute.202100049?msockid=0bc2ae8fba8c6229133fbdc6bbf663e1
https://www.accubeat.com/ar133-03
https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adj2801
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.132.080202
https://opg.optica.org/opticaq/fulltext.cfm?uri=opticaq-2-1-1&id=545379
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.132.073202
https://www.science.org/doi/10.1126/science.adk7825
https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk6369
https://doi.org/10.1364/OPTICAQ.502464
https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.14.011033
https://www.nature.com/articles/s41467-024-46643-8
https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk1495
https://www.nature.com/articles/s41566-024-01390-6
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.132.110801
https://opg.optica.org/opticaq/fulltext.cfm?uri=opticaq-2-2-72&id=548067
https://www.keysight.com/us/en/about/newsroom/news-releases/2024/0129-pr24-024-keysight-introduces-high-bandwidth-oscilloscope-pr.html
https://www.idquantique.com/id-quantique-launches-the-id281-pro/
https://www.rohde-schwarz.com/us/about/news-press/all-news/rohde-schwarz-introduces-dedicated-phase-noise-analysis-and-vco-measurements-up-to-50-ghz-with-the-r-s-fspn50-press-release-detailpage_229356-1474564.html
https://www.rohde-schwarz.com/us/about/news-press/all-news/rohde-schwarz-introduces-new-r-s-npa-family-of-compact-power-analyzers-for-all-power-measurement-requirements-press-release-detailpage_229356-1484872.html
https://spj.science.org/doi/10.34133/icomputing.0069
https://doi.org/10.1103/PhysRevResearch.6.013266
https://www.nature.com/articles/s41928-024-01147-7
https://www.nature.com/articles/s41928-024-01156-6
https://www.keysight.com/us/en/about/newsroom/news-releases/2024/0418-pr24-068-keysight-introduces-next-generation-radio-frequenc.html
https://www.nature.com/articles/s41534-024-00833-w
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.132.180802
https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2024.101924
https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk6890
https://www.cambridge.org/core/journals/international-journal-of-microwave-and-wireless-technologies/article/rf-and-microwave-metrology-for-quantum-computing-recent-developments-at-the-uks-national-physical-laboratory/E0E132549C68EAFFB7BFF2F076D21507

https://www.nature.com/articles/s41563-024-01887-z
https://opg.optica.org/prj/fulltext.cfm?uri=prj-12-6-1328&id=551302
https://www.nature.com/articles/s41467-024-48306-0
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.132.250801
https://www.nature.com/articles/s41566-024-01456-5
https://www.nature.com/articles/s41377-024-01492-4
https://www.nature.com/articles/s41598-024-65385-7
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.040801
https://www.nature.com/articles/s41567-024-02585-y
https://www.nature.com/articles/s41467-024-50804-0
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.060801
https://www.science.org/doi/10.1126/science.adf7577
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.073603
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.080801
https://www.nature.com/articles/s41567-024-02619-5
https://www.nature.com/articles/s42005-024-01758-8
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.090801
https://www.nature.com/articles/s41467-024-51941-2
https://journals.aps.org/prresearch/abstract/10.1103/PhysRevResearch.6.033292
https://www.nature.com/articles/s41534-024-00880-3
https://www.nature.com/articles/s42254-024-00756-7
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.120601
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.133202
https://www.nature.com/articles/s41586-024-07913-z
https://www.nature.com/articles/s41566-024-01545-5
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.22.044039
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.166704
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.170801
https://www.nrl.navy.mil/Media/News/Article/3952242/nrl-introduces-a-new-paradigm-for-control-of-quantum-emitters/
https://www.nature.com/articles/s41566-024-01555-3
https://www.sciencedaily.com/releases/2024/11/241105114152.htm
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.190801
https://www.nature.com/articles/s41534-024-00905-x
https://journals.aps.org/prresearch/abstract/10.1103/PhysRevResearch.6.043148
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.22.054050
https://www.nature.com/articles/s41534-024-00914-w
https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1681-7575/ad1a4c
https://www.xmagtech.com/newsinfo/6829174.html
https://journals.aps.org/pra/abstract/10.1103/PhysRevA.109.033304
https://qant.com/press-releases/breakthrough-quantum-magnetic-field-sensor-to-control-prostheses-exoskeletons-and-avatars-with-neural-signals/
https://journals.aps.org/prxquantum/abstract/10.1103/PRXQuantum.5.020316
http://www.apm.cas.cn/kydt/202404/t20240428_7139618.html
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.132.182501
https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2315696121
https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.adk8495
https://www.kcl.ac.uk/news/kings-scientist-partners-with-e-money-start-up-to-build-next-generation-quantum-sensors-for-technologies-of-the-future
https://www.aquarktechnologies.com/
https://mp.weixin.qq.com/s/tK2OaQ4sowUzX3ww2zG7RQ
https://www.cambridge.org/core/journals/international-journal-of-microwave-and-wireless-technologies/article/rf-and-microwave-metrology-for-quantum-computing-recent-developments-at-the-uks-national-physical-laboratory/E0E132549C68EAFFB7BFF2F076D21507
https://mp.weixin.qq.com/s/oUlw59crHbk0Is7ZsagUmQ
https://www.tcs.com/who-we-are/newsroom/press-release/tcs-iit-bombay-build-india-first-quantum-diamond-microchip-imager

https://www.canada.ca/en/department-national-defence/programs/defence-ideas/element/innovation-networks/challenge/defence-applications-of-quantum-technologies.html
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.21.064010
https://mp.weixin.qq.com/s/W75cnUTCZPnUfBq8JFoCWA
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.023202
https://www.nature.com/articles/s41534-024-00862-5
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.033001
https://mp.weixin.qq.com/s/-GQjrzHKAUvgfcRwB3SOtg
https://www.nature.com/articles/s41565-024-01724-z
https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-demonstrates-ultra-cool-quantum-sensor-for-first-time-in-space
https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsphotonics.4c00302
https://www.nature.com/articles/s41586-024-07839-6
https://doi.org/10.1364/OPTICA.530224
https://www.nature.com/articles/s41598-024-72804-2
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.130801
https://www.nature.com/articles/s41586-024-08005-8
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.153601
https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ado8130
https://www.nature.com/articles/s41467-024-52272-y
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.22.054009
https://www.nature.com/articles/s41377-024-01630-y
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.22.054024
https://journals.aps.org/prresearch/abstract/10.1103/PhysRevResearch.6.043191
https://arxiv.org/abs/2411.16835
https://www.nature.com/articles/s41467-024-54333-8
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.22.064015
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.22.064012
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.133.233005
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.22.064024
https://journals.aps.org/prresearch/abstract/10.1103/PhysRevResearch.6.043293
https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.22.064078
https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.ads0683
https://qlmtec.com/news/post/?id=65b18d8df134194328ccba59
https://www.oscilloquartz.com/en/newsroom/press-releases/20240223-vodafone-turkey-deploys-adtran-optical-cesium-solution-in-national-timing-network
https://www.microchip.com/en-us/about/media-center/blog/2024/driving-the-future-of-automotive-with-switchtec-pcie-switches
https://quantumcomputinginc.com/news/press-releases/quantum-computing-inc.-awarded-fourth-subcontract-from-nasa
https://www.oscilloquartz.com/en/newsroom/press-releases/20240311-netnod-bolsters-swedens-national-timing-infrastructure-with-adtran-oscilloquartz
https://www.microchip.com/en-us/about/media-center/blog/2024/five-best-practices-for-vprtc-deployment
https://www.singlequantum.com/whats-new/latest-news/
https://www.nature.com/articles/s42254-024-00714-3
https://www.rohde-schwarz.com/us/about/news-press/all-news/rohde-schwarz-and-ipg-automotive-unveil-a-complete-hardware-in-the-loop-automotive-radar-test-solution-press-release-detailpage_229356-1491801.html
https://quantumcomputinginc.com/news/press-releases/qci-secures-order-for-revolutionary-underwater-lidar-prototype
https://speqtralquantum.com/newsroom/speqtral-and-qosmosys-unite-to-pioneer-lunar-quantum-communications
https://quspin.com/magnimbus-an-all-in-one-solution-for-uav-based-magnetic-detection/
https://www.ece.utexas.edu/people/faculty/xiuling-li
https://www.agilent.com.cn/cn/about/newsroom/presrel/2024/0425.html

iCV TA&K
Technology Advisory
& Knowledgebase

在ICV，我们对新技术充满好奇，我们努力提供最强大的市场数据和洞察力，以帮助我们的客户做出正确的战略决策。

我们在最广泛的资本密集型行业和市场中汇集了最深入的情报。通过连接不同变量的数据，我们的分析师和行业专家为我们的客户提供了一个更丰富、高度整合的世界观。

光子盒研究院
QUANTUMCHINA

光子盒研究院是一家专注于前沿科技与未来产业发展的创新型研究机构，以“探索科技边界、赋能产业升级”为使命，致力于成为全球科技创新生态系统中不可或缺的智库力量。研究院以前沿技术演进为观察坐标，以量子科技为核心研究领域，深度布局人工智能、先进计算、未来材料等战略方向，构建起“技术前瞻-产业应用-政策研究”三位一体的研究体系。

【核心定位与研究领域】

作为量子科技领域的专业研究平台，研究院聚焦量子计算、量子通信、量子传感三大技术主航道，持续跟踪全球量子科技关键技术突破。通过建立覆盖“基础研究-技术转化-产业应用”的全链条分析框架，研究院定期发布量子计算硬件发展路线图、量子安全通信应用白皮书等权威报告，为行业提供具有前瞻性的技术评估与产业化路径建议。

【智库服务与价值创造】

研究院构建了独特的“产学研政资”协同创新网络，为政府部门提供科技创新政策制定咨询，协助构建量子科技产业园区规划；为科研机构搭建技术转化评估模型，推动实验室成果与产业需求对接；为企业客户定制技术路线选择、市场竞争策略及专利布局方案；为投资机构建立科技项目价值评估体系，甄别具有突破潜力的早期技术项目。目前已形成季度产业研究报告、年度技术趋势预测、专项政策建议书等系列知识产品。

【研究特色与竞争优势】

依托跨学科研究团队（涵盖物理学、计算机科学、产业经济学等领域专家），研究院创新性采用“技术成熟度曲线+产业生态图谱”双维分析法，结合专利大数据挖掘与全球科研动态监测，确保研究成果的客观性与时效性。通过建立量子科技企业数据库（覆盖全球600+相关机构）、搭建院士专家委员会、主办国际量子产业峰会等举措，持续强化在量子科技领域的资源整合能力与行业影响力。

光子盒研究院始终秉持“以科技洞见未来”的核心理念，通过深度行业洞察、精准趋势研判和务实解决方案，助力客户把握量子革命带来的战略机遇。在科技创新加速重构全球产业格局的当下，研究院将持续输出具有决策价值的智库成果，推动前沿科技与实体经济的深度融合，为人类科技文明进步贡献智慧力量。

光子盒研究院
QUANTUMCHINA

北京市海淀区上地三街中黎科技园1号楼618室

扫码关注光子盒

扫码与研究员交流