iCV TA&K
Technology Advisory
& Knowledgebase

光子盒
QUANTUMCHINA

2024
全球量子精密测量产业发展展望

2024/02

量子信息年度系列报告

序言

作为第二年发布量子精密测量产业报告，2024版报告涵盖了量子时钟、量子磁力计、量子重力仪和量子雷达等技术与产品，由于2023版量子精密测量报告中我们已对这些主要技术进行过介绍，本次报告我们重点关注量子精密测量技术在过去一年中的主要进展及其对各个领域的影响。

我们制作行业研究报告的目的，是为政策制定者、研究开发人员、商业人士等提供关键的信息参考，以及我们的观点，以支持他们在这一迅速变化的技术和商业环境中做出明智的决策。

本报告通过深入的技术评估和市场分析，呈现出量子精密测量领域当前状态，以及未来发展趋势的多维视角。我们从整机系统出发，系统的介绍了2023年不同量子测量技术或产品及其上游领域的具体进展，并针对其不同进展给出了未来发展方向的对应预测。同时，本报告基于产业发展的角度给出了不同量子精密测量设备当前以及未来发展的具体应用场景。下游市场的广泛应用不仅标志着量子对于精密测量与计量科学的巨大效用，对与行业中的供应商来说，也预示着新的商业机会和挑战。

随着技术的进步和产业的发展，本次报告中，我们更多地关注了量子精密测量技术的商业化进程，包括市场潜力，对行业应用的展望，以及面临的主要挑战和机遇。

我们相信，量子精密测量技术的发展将不仅仅是科学上的突破，更是逐渐改变我们社会生活方式的重要力量。我们期待与各位读者共同见证量子技术在未来几年中的变革和成就，也感谢大家对我们研究工作的关注和支持。

ICV 前沿科技咨询总监、高级副总裁：Jude Green

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2023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2023年1月1日至2023年12月31日间量子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2023年发生的重要事件。

04 本报告版权归ICV TA&K和光子盒所有，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（2024全球量子精密测量产业发展展望 [R]. ICV TA&K & 光子盒.2024.02）。本报告最终解释权归ICV TA&K和光子盒所有。

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。

致谢

本篇报告由全球前沿科技咨询机构ICV邀请中国量子科技服务平台光子盒联合撰写和发布。

感谢包括但不限于以下公司给予技术和素材的支持：

Contents

目录

01. 2023产业发展概览 5

02. 整机系统 10

03. 核心组件 24

04. 行业应用 30

05. 投融资 37

06. 供应商评价 44

07. 产业分析与预测 53

08. 产业展望 70

09. 附件 77

01

2023产业发展概览

目录

01
2023产业发展概览

01. 产业已进入多元化发展周期

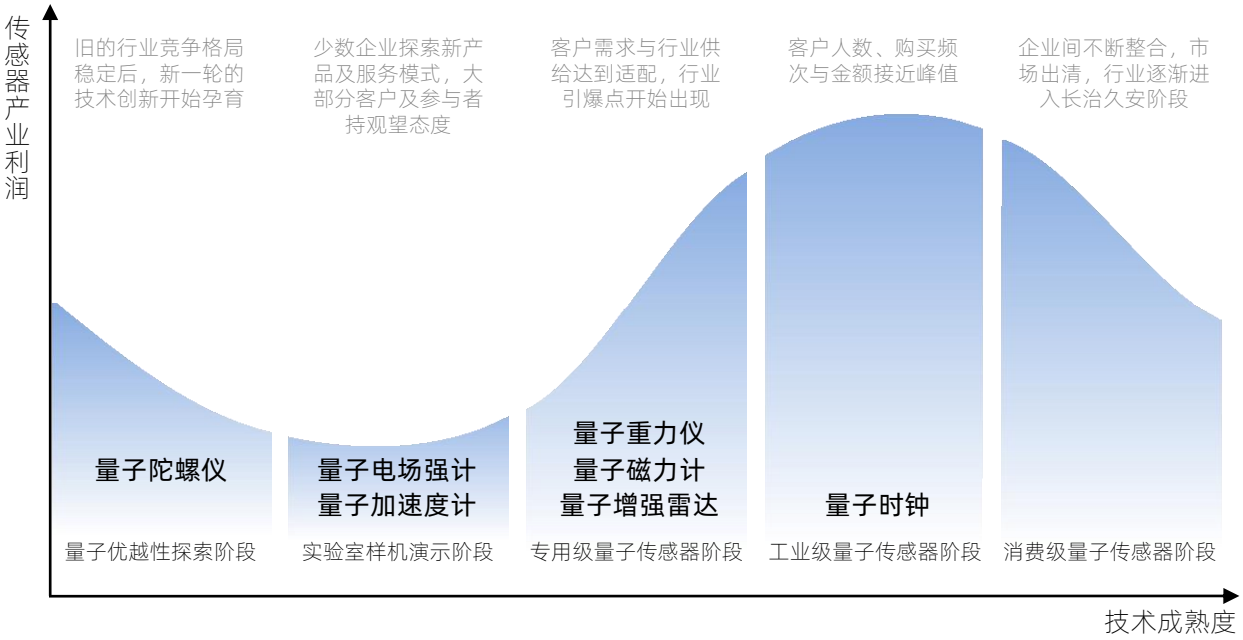
02. 产业链相关企业逐年增多

03. 下游应用市场前景广阔

01 产业已进入多元化发展周期

2023年，量子精密测量领域呈现多样性和分散性。各领域发展路线多元，从量子陀螺仪到量子电场强计、再到量子加速度计，各自处于不同阶段，反映了科研进展和应用需求的多元化。不同物理量的量子传感器成熟度存在差异，量子陀螺仪尚未展现优势，量子电场强计相对成熟，差距反映了技术挑战和商业应用的不同情况。

图表 2023年精密测量产业发展周期示意图



变革期	起步期	成长期	成熟期	衰退期
• 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 • 相比于MEMS等经典陀螺仪，量子陀螺仪在实际应用中尚未展现出量子优势 • 代表企业： North Groumman、Twinleaf、AOSense	• 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 • 量子电场强计技术较为成熟，仅缺乏相关标准制定；量子加速度计已有工程样机 • 代表企业：M Squared、清远天之衡	• 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的优势 • 该阶段产品具有高动态可靠性；高精度；高成像分辨率；抗干扰能力强等优势 • 代表企业：国盛量子、微伽量子、中科酷原	• 传感器开始小型化、集成化，并且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，产业链上游话语权增加，产线扩张直至供需平衡 • 代表企业：天奥电子、Microchip	• 全系统集成的新测量方案，可搭配经典系统使用，适配量子传感器网络，设备芯片化、可手持，参数比经典传感器好3个数量级以上 • 在成本可控的前提下，量子传感器与经典传感器多为替代关系，少部分将与经典传感器互补共存

iCV TA&K | Version Feb 2024

未来，不同量子传感器之间的成熟度差异将逐步缩小，技术的不断创新将成为推动产业发展的主要动力，跨领域的合作将进一步加强，解决特定领域的技术难题，推动整个产业向成熟和商业化迈进。未来量子精密测量将进一步以技术创新、标准完善和市场扩展为主导，合作推动技术实用化，标准制定提高可比性，量子传感器逐渐小型化和集成化推动产业链向前发展。各领域发展趋向协同，形成更完善的生态系统。技术突破将主导整体趋势，跨领域合作解决技术难题，推动产业向成熟和商业化迈进，取得显著成果。

02 产业链相关企业逐年增多

新版产业生态概览图较此前ICV发布版本，新增若干企业logo，在结构上也做了新的调整。

图表 量子精密测量产业生态概览

03 下游应用市场前景广阔

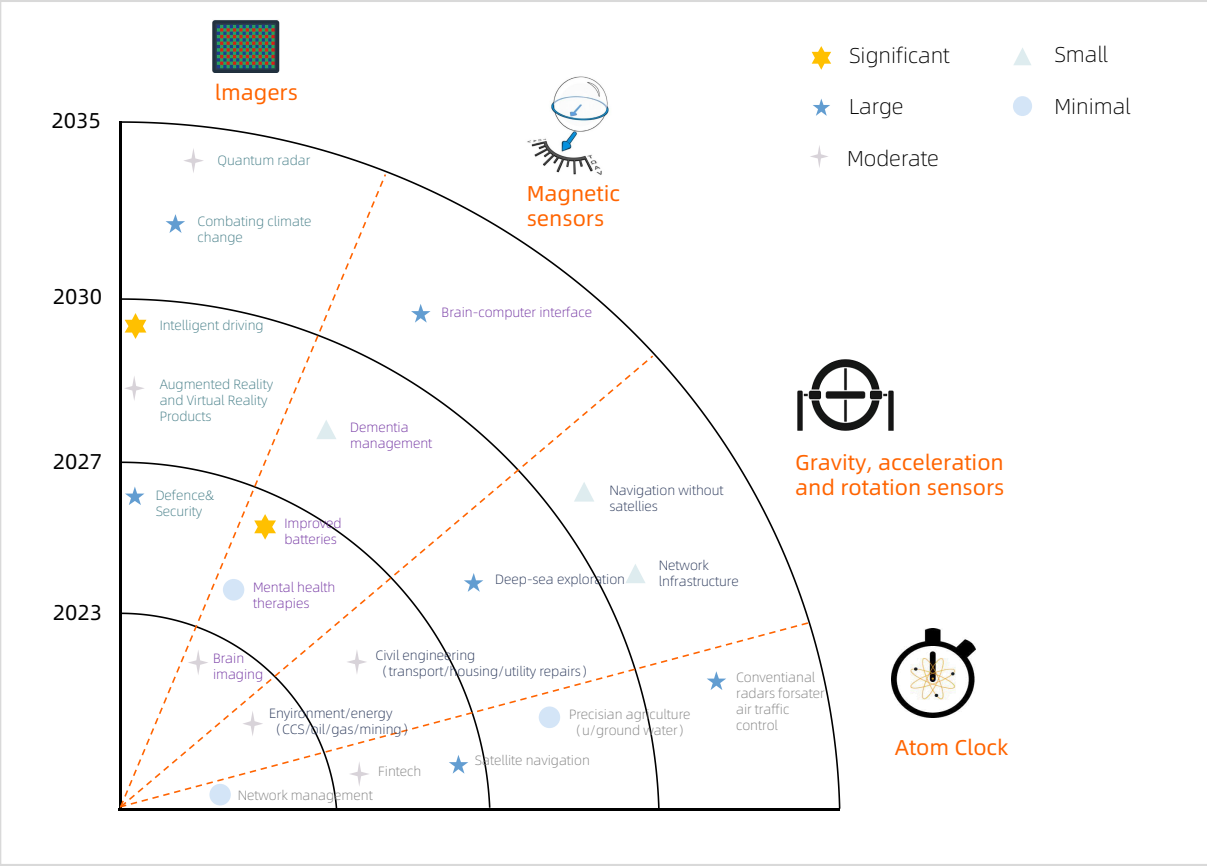
量子精密测量技术在各领域的下游应用市场展现出广阔的前景。从2023年到2035年，不同领域对于量子精密测量的需求逐渐增长，呈现出多元化的应用场景。

首先，对于一些低市场规模的应用，如网络时频管理、心理健康治疗等，虽然市场规模相对较小，但量子精密测量的高精度和灵敏度为这些领域带来了更为精准的数据和解决方案，为技术的逐步商业化提供了契机。特别是在老年痴呆症治疗、气候变化对抗等领域，量子精密测量的精确诊断和数据采集能力将成为未来关键技术，推动这些领域的创新和发展。

其次，随着技术的不断成熟，大规模商业化的领域也将在未来几年逐渐崛起。例如，航空交通管制雷达、无卫星导航、卫星导航等领域对于高精度测量的需求逐渐增大，量子精密测量技术将在这些领域发挥更为重要的作用。而在深海探测、电池改良、智能驾驶等领域，量子精密测量的高灵敏度和高精度将成为技术突破的助推器，为产业的不断升级提供动力。

最后，2023年至2030年之间，量子雷达技术的应用也将逐渐拓展。量子雷达的高分辨率和高灵敏度使其在国防安全、环境/能源监测、航空交通管理雷达等领域具有独特优势。预计随着技术的进一步发展，量子雷达将在未来成为下一代雷达技术的重要组成部分。

图表 精密测量产业应用时间及市场规模概览



iCV TA&K | Version Feb 2024

02

整机系统

目录 02 整机系统

01. 量子时频

02. 量子磁力计

03. 量子重力仪

04. 量子加速度计&陀螺仪

05. 量子雷达

06. 量子场强计

07. 软件算法平台

01 量子时频

2023年量子时频测量进展

原子钟作为一种相对成熟的量子精密测量产品，具有高度准确和稳定的时间测量能力。目前光学原子钟技术正迅速拓展其应用领域，涵盖了铁路移动通信、数据中心、国防和科学测量等多个行业。这一趋势表明光学原子钟不仅在科学实验室中有着卓越表现，还逐渐走向实际应用，为不同行业提供精准的时间测量和同步服务。

量子时钟

铷钟/铯钟/氢钟

- Microchip 发布的5071B型铯原子钟可在失去卫星信号后仍可提供保持长达数月 100 ns 的精确时间；
- Adtran Oscilloquartz推出采用卫星时间和定位技术的新同步解决方案可确保在卫星信号中断的情况下也能恢复功能。

CPT原子钟

- 中国首条芯片级原子钟生产线在天津华信泰科技有限公司落成投产，年产能力可达3万台。

冷原子钟

- Infleqtion 的原子钟 Tiqker 荣获军事 + 航空航天电子创新者白金奖。该产品是一种原子频率基准，具有在多个领域广泛应用的潜力，包括智能电网、金融时间戳、科学测试等。

光钟

- 中国科大的研究团队，成功研制了万秒稳定度和不确定度均优于 5×10^{-18}（相当于数十亿年的误差不超过一秒）锶原子光晶格钟。该成果对未来实现远距离光钟比对、建立超高精度的光频标基准和全球性光钟网络奠定了重要的技术基础。

在原子钟的发展过程中，持续提升性能是关键的趋势之一。针对光学原子钟，不断提高频率稳定性和延长保持时间是研究和发展的主要方向。这种性能提升旨在满足不同应用领域对更高精度和更长时间同步的需求，为用户提供更可靠的时间基准。

原子钟技术在面对GNSS漏洞和网络攻击时的可靠性和安全性成为行业关注的焦点。随着对全球导航卫星系统（GNSS）的依赖增加，对其受到干扰和攻击的担忧也在上升。因此，原子钟技术的发展不仅致力于提供更好的性能，同时也强调了在面对潜在威胁时确保系统的安全性。这促使研究人员和企业在技术升级和创新方面加大投入，以应对日益复杂的网络安全挑战。

各技术路线概况

铷、铯钟是目前最成熟和最广泛应用的原子钟技术，主要应用于卫星导航、军事、通信等领域，市场规模较大，但由于其频率稳定性和准确度受到物理极限的限制，难以满足未来更高的计时需求。光钟是目前最先进和最高精度的原子钟技术，主要应用于科学研究、国家授时、量子信息等领域，市场规模较小，但由于其频率稳定性和准确度远高于铷、铯原子钟，有望成为未来重新定义秒的基础。

图表 量子时钟产业化发展现状

类型	实验室稳定度*	技术优劣势	代表公司举例	产品参数	产品样图
铷钟	9×10^{-14}（梅刚华，中科院精测院，2024）	成熟的技术基础；频率稳定性相对较低，体积大	AccuBeat 以色列	型号：AR133-3 稳定度：5×10^{-11}	
铯钟	7×10^{-15}（Xuan He，北京大学，2021）	成熟的技术基础；频率稳定性相对较低，体积大	MICROCHIP 美国	型号：5071B 稳定度：8.5×10^{-13}	
氢钟	6.69×10^{-16}（Alexandr A. Belyaev，俄罗斯Vremya-CH，2019）	成熟的技术基础；频率稳定性相对较低，体积大	T4Science 瑞士	型号：iMaser3000™ 稳定度：2×10^{-16}	
冷原子钟	1×10^{-16}（王新文，中国科学院上海光学精密机械研究所，2019）	高频率稳定性、减少了相干失谐；复杂低温环境	AOSense 美国	型号：AOS-CAFS-1-X 稳定度：2×10^{-14}	
光钟	4×10^{-19}（潘建伟，中科大，2022）	极高精度；构建和维护相对复杂，成本较高	RIKEN 日本	型号：可搬运Sr光晶格原子钟 稳定度：5.5×10^{-18}	
CPT原子钟	2×10^{-13}（张首刚,中国科学院国家授时中心，2021）	小型化、低功耗；长期精度方面较低	天奥电子 ELECSPN 中国	型号：XHTF1045 稳定度：3×10^{-11}	

iCV TA&K | Version Feb 2024

注：*为实验室条件下的稳定度，来源论文见参考文献。

目前原子钟市场的发展方向主要受到多个因素的综合影响，其中技术创新是推动市场发展的主要动力。在技术创新方面，原子钟技术不断取得突破，体现在以下几个关键方面。

首先，提高原子钟的频率稳定性和准确度是技术创新的一个核心目标。通过不断突破物理极限，原子钟能够满足更高精度的计时需求，使其在各个领域得到更广泛的应用。

其次，降低原子钟的体积、功耗和成本是另一个重要的技术创新方向。实现原子钟的微型化、集成化和商业化将拓展其应用领域，使其更适用于便携式、手持式设备等多样化场景，同时提高市场规模。

同时，开发新型原子钟也是技术创新的重要方向。其中包括芯片级光学原子钟、分子钟等的研发，探索新的物理原理和技术途径。这些新型原子钟有望为未来原子钟的发展提供全新的可能性，推动市场不断向前发展。

02 量子磁力计

2023年量子磁力测量进展

目前，量子磁力计领域呈现出多元化的发展现状。SQUID、OPM、SERF、NV色心等不同类型的磁力计技术在医学、量子导航、材料研究等领域都取得了显著的进展。

量子磁力计

SQUID磁力计

- Somfit 的SQUID脑磁图仪从美国食品和药物管理局获得批准，在美国上市；
- 漫迪医疗发布漫迪谛听高灵敏度心磁图仪设备灵敏度达5fT/Hz½，兼具高稳定性和高动态范围；通过研发AI智能分析模型，心磁图分析诊断的准确度已达87.8%

OPM磁力计

- Genetesis公司推出的CardioFlux无创心磁图仪，可识别心脏中的心肌缺血情况，对于冠状动脉微血管疾病的非侵入性诊断具有重要意义

SERF磁力计

- 昕磁科技研发用于心肌缺血辅助诊断的心磁图仪获医疗器械注册批准正式上市，设备灵敏度可达地球磁场强度的千万分之一，可不接触的感知心脏心肌电活动产生的极弱磁场信号在生理和病理状态下的微弱变化

NV色心磁力计

- 中科大与国家同步辐射实验室团队利用NV色心作为量子传感器探测神经元突触的动态连接；
- 波士顿学院团队使用NV色心磁场传感器来成像光电流产生的局部磁场，并重建光电流的完整流线；
- 博世量子传感（NV色心磁力计与量子陀螺仪）与斯图加特展览集团合作为参展商提供展示和应用实例的论坛，目前公司已参与了8 个量子传感项目

未来，量子磁力计技术将朝着多个方向不断发展，推动其在各个领域的广泛应用。首先，磁力计的灵敏度和分辨率将成为关注的焦点，以满足特定应用需求。这包括更精确地探测微弱的磁场信号，尤其是在生理和病理状态下的微弱变化，为科学研究和医学诊断提供更为准确的工具。另一方面，多模态整合将成为未来发展的趋势之一。量子磁力计可能会更加注重整合不同类型的磁力计技术，使其能够适应更广泛的应用场景。这种整合有望提供更全面的信息，为研究者和医生提供更多角度的数据，进一步丰富了解磁场变化的方式。

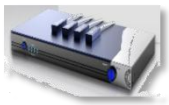
随着技术的成熟，便携性与实用性将是量子磁力计发展的另一个关键方向。便携化的磁力计设备将更容易在医疗、导航等领域得到广泛应用。这样的发展有望使量子磁力计成为实际场景中的实用工具，为移动诊断和实时监测提供支持。智能分析与应用也将贯穿未来的发展。随着人工智能技术的不断发展，量子磁力计设备将更加注重智能分析模型的研发。这一趋势将提高数据处理效率和诊断准确度，使得磁力计在科研和医学实践中更具实用性。

各技术路线概况

在当前量子磁力计市场中，技术多样性是显著的特点。各种技术，包括质子磁力计、SQUID磁力计、OPM磁力计、SERF磁力计、NV色心磁力计等，都在不同的应用场景中发挥独特优势。这使得市场在技术上呈现出多元化和广泛的选择。

应用广泛且多样化，包括军事国防、科研、医学、工业检测、导航等领域。企业涉足的领域多样，如军事国防、生物医学、地球物理勘探、导航系统等，体现了量子磁力计在不同领域的重要性和适应性。

图表 量子磁力计产业化发展现状

类型	实验室灵敏度*	技术优劣势	代表公司举例	产品参数	产品样图
SQUID	$3x10^{-3}$ pT/√Hz（Antonio Vettoliere，意大利应用科学与智能系统研究所，2023）	较高的温度磁场范围、灵敏度较高；需要低温制冷，体积较大	Quantum Design NORTH AMERICA 美国	型号：MPMS3 灵敏度：10^{-2} pT/√Hz 动态范围：$1x10^{-5}$ nT~ $8x10^{-5}$ nT	
OPM	$1x10^{-2}$ pT/√Hz（Orang Alem，美国科罗拉多大学，2023）	无零点漂移，响应快速，精度较高；受到光强和气压等环境的影响	QUSPIN 美国	型号：QTFM Gen-2 灵敏度：3 pT/√Hz 动态范围：1000 nT~150,000 nT	
SERF	$8.9x10^{-5}$ pT/√Hz（北航、华东师范，2020）	灵敏度极高，易于小型化；需要高温和低磁场的条件	未磁科技 X-MAGTECH 中国	型号：SERF Magnetometer 灵敏度：10^{-2} pT/√Hz 动态范围：±5nT	
NV色心	8.9 pT/√Hz（杜江峰团队，中科大、浙江大学 2022）	高频率稳定性、减少了相干失谐；复杂低温环境	国盛量子 CHINAPROSP QUANTUM 中国	型号：量子磁强计 灵敏度：4.2pT/√Hz 动态范围：10nT ~ 50mT	

iCV TA&K | Version Feb 2024

注：*为实验室条件下的灵敏度，来源论文见参考文献。

由于不同应用场景对精度、稳定性、重量和价格的差异化需求，未来将推动量子磁力计市场进一步多样化，逐步替代经典磁力计，并且满足更多层次用户的需求。

未来的发展将聚焦于技术创新，以提高磁力计的灵敏度、分辨率，并增加多模态整合能力，以满足更广泛的应用需求。便携性和实用性将是未来的趋势，磁力计设备将更加便携，方便在医疗、导航等领域实现实时监测和移动诊断。

随着人工智能技术的不断发展，未来的磁力计设备将更加注重智能分析模型的研发，以提高数据处理效率和诊断准确度。引入新型材料，如碳化硅等，将提高磁力计的性能，从而拓展在量子传感领域的应用。医学应用将迎来更深入的发展，量子磁力计有望在神经科学、心血管疾病等领域取得更多的突破。

预计SERF磁力计和NV色心磁力计将逐渐获得更多市场份额，逐步取代SQUID磁力计，成为主流技术路线。磁力计市场将沿各技术路线继续细分，以满足不同应用场景的需求，产生更专业化、差异化的产品和解决方案。这种多元化的市场细分将推动量子磁力计技术更全面、更深入地渗透到各个行业。

03 量子重力仪

2023年量子重力测量进展

量子重力仪和量子重力梯度仪在技术创新和应用领域都呈现出广泛的发展前景，有望为科学研究和实际应用带来更多的可能性。随着冷原子干涉技术的不断发展，量子重力仪在精密测量领域取得显著进展。

量子重力仪

量子绝对重力仪

- Q-CTRL公司展示最新的量子重力仪原型机。公司建立一种通过重力和磁力观察地球的全新方式，利用小型低成本卫星开发持久的近地观测能力。公司已经得到CRC-P项目的支持，未来将交付用于空天
- 杭州微伽量子的“高精度量子绝对重力测量系统”，被浙江省计量科学研究院采购，标志着公司的重力测量设备已经可以满足计量系统使用。
- 中科酷原参加了在美国举办的第十一届绝对重力仪国际比对ICAG 2023。公司的量子重力仪WAG-H5-2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。

量子重力梯度仪

- 英国初创公司Delta g获得了Innovate UK约50万英镑的创新资助，以加速商业产品的交付，并开始开发量子重力梯度仪平台。它可以为“复杂的地下和看不见的位置”创建“地下谷歌地图”,并且已经生产了世界上第一个经过现场验证的重力梯度测量量子传感器
- Delta-g与伯明翰大学联合在北海的一艘船上成功进行了重力梯度的测量试验。未来该技术可以提供绘制海洋地图和弹性长期导航的新功能。

量子重力仪方面，随着技术的进步，量子重力仪不断提高其测量的精度和分辨率。通过冷原子干涉技术，仪器能够实现高信噪比信号探测，有效解决梯度信号提取等关键问题，使得静态测量灵敏度已经接近量子投影噪声极限。而随着技术的进一步成熟，量子重力仪正朝着小型化和可移动化的方向发展。这使得量子重力仪在不同场景中更为灵活，为各种应用提供更广泛的可能性。

重力梯度仪通常由两台重力仪组成，目的是消除仪器漂移。然而，量子重力仪在提高精度方面已经显著，将两个高精度的绝对重力仪组合成重力梯度仪可能会增加成本，但却无法体现明显的指标优势。因此，未来的发展趋势可能需要在系统优化和成本效益之间取得平衡。

目前，量子重力梯度测量技术已被证明在城市地下空间探测方面具有优越性。通过对量子重力梯度数据的仿真及实测，特别是在浅层异常体边界的识别上表现出一定的优势。因此，基于冷原子干涉重力梯度仪在城市地下空间探测方面有望得到更广泛的应用。

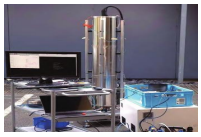
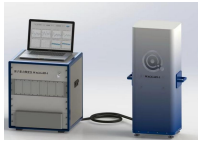
各技术路线概况

随着技术的进一步成熟，量子重力仪正朝着小型化和可移动化的方向发展，为各种应用提供更广泛的可能性。而目前高精度动态冷原子重力梯度仪的研制仍面临一系列技术难题。通过布拉格衍射、布洛赫振荡等大动量转移技术提高标度因子，利用光导引型干涉技术解决原子横向抖动问题，这些技术难题需要不断攻克，以实现更高水平的性能。

通过微纳加工和集成电路技术，实现更紧凑、低功耗、高精度和稳定的量子重力传感器。针对外场动态测量技术的挑战，未来将致力于解决原子干涉仪在高动态范围下的性能问题，以提高带宽和扩展动态测量范围。在系统化集成方案与工艺探索方面，未来将进一步完善系统集成方案，探索微纳工艺的创新，以实现更紧凑、更稳定的便捷式高性能激光系统。

技术水平方面，未来将继续提升在自旋噪声机理、磁屏蔽技术、长弛豫时间原子气室制备技术、原子极化及稳定控制技术等方面的研究水平。同时，加强与微小型高性能原子气室制备、微小型磁屏蔽制备、高性能半导体激光研制等领域的基础研究。

图表 量子重力仪产业化发展现状

类型	实验室参数*	技术优劣势	代表公司举例	产品参数	产品样图
量子绝对重力仪	灵敏度：4.2 μGal/√Hz 稳定性：3μGal （XU Y Y，华中科技大学，2022）	高精度、无漂移、可长期连续工作、适用于静态与动态场景； 准确度、和可重复性与经典*相比无优势	mugaltech 中国	型号：MGAG-LH 灵敏度（Sensitivity）：优于25μGal/√Hz 长期稳定性*（Long-term stability）：≤1 μGal 准确度（Accuracy）：5-10μGal	
			μQUANS iXblue 法国*	型号：Absolute Quantum Gravimeter 灵敏度（Sensitivity）：50μGal/√Hz 长期稳定性（Long-term stability）：2μGal 准确度（Accuracy）：≤10 μGal	
			中科酷原 CAS COLD ATOM 中国	型号：WAG-H5-2 灵敏度（Sensitivity）：＜15μGal/√Hz 长期稳定性（Long-term stability）：<1μGal 准确度（Accuracy）：<10 μGal	
量子重力梯度仪	灵敏度：28E /√Hz 分辨率：7E （BIEDERMANN G，斯坦福大学，2015）	高精度、无偏差、低漂移、自校准； 价格昂贵、无法全张量测量	iXblue 法国	型号：量子重力梯度仪样机 重力梯度分辨率：0.15E 灵敏度：50E /√Hz	
			中科酷原 CAS COLD ATOM 中国	型号：WAGG-H5-1 重力梯度分辨率：3.3E 灵敏度：350E/VHz	

注：*为实验室条件下灵敏度，来源见参考文献；Muquans于2021年5月被iXblue收购；由于冷原子技术实现较复杂，发展时间短且方案多样，整体准确度和重复性不及经典的FG5X等仪器。FG5X在经典仪器中处于领先地位；1E= 10^{-9} s^{-2}

04 量子加速度计&陀螺仪

2023年量子惯性测量进展

2023年，量子精密测量领域在量子加速度计和量子陀螺仪的发展方面取得了显著进展。Infleqtion推出了世界上首个软件配置的高性能量子加速度计，专为高加速度环境下的定位、导航和授时应用设计。同时，核磁共振陀螺仪通过自校准方法提高了偏置稳定性，NV色心陀螺仪的钻石纳米锥结构有望影响微纳光学设计，而SERF陀螺仪通过调整泵浦功率密度改善了长期稳定性。三轴加速度测量成为冷原子干涉加速度计发展的关键方向，提高整体系统性能成为研究重点。

加速度计&陀螺仪

冷原子干涉加速度计

- Infleqtion通过将机器学习与量子传感相结合，展示了世界上第一个软件配置、支持量子的高性能加速度计。它专为定位、导航和授时应用而设计，可在几十倍地球重力的加速度下运行

核磁共振陀螺仪

- 中国工程物理研究院系统工程研究所提出并实施了一种自校准方法，以补偿 Rb-PM 测量过程中的 NMR 相位漂移。通过自校准 Rb-PM，证明 NMRG 的偏置稳定性得到了显著改善

金刚石NV色心陀螺仪

- 西安交通大学团队通过热退火方法获得钻石纳米锥结构，可对未来基于NV中心的微纳光学的设计和制造例如NV色心陀螺仪等产生积极影响

SERF陀螺仪

- 北京航空航天大学团队发现SERF陀螺仪的主要噪声源是由于自旋耦合集合的慢速收敛率引入的马尔可夫噪声，这影响了其长期稳定性。团队通过调整泵浦功率密度来改变相关时间，从而抑制马尔可夫噪声

原子干涉陀螺仪

- 北京航空航天大学团队发现SERF陀螺仪的主要噪声源是由于自旋耦合集合的慢速收敛率引入的马尔可夫噪声，这影响了其长期稳定性。团队通过调整泵浦功率密度来改变相关时间，从而抑制马尔可夫噪声

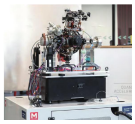
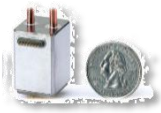
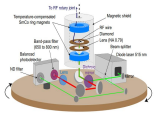
量子加速度计和量子陀螺仪在实际应用中展现了高精度和稳定性，但在带宽和动态范围等方面仍有挑战。技术路线评估方面，不同研究机构和国家在各自的专业领域都取得了一定的突破，但整体而言，存在一些挑战需要克服。针对冷原子干涉加速度计，解决“死时间”问题、提高测量可用性是重要的发展方向。对于量子陀螺仪，三轴加速度测量、工程化应用以及提高整体系统性能是未来的关键任务。

在国际合作和国家支持下，量子精密测量领域有望进一步推动量子加速度计和量子陀螺仪技术的创新。未来趋势包括提高性能、微纳化、降低成本，以更好地满足导航、授时、国防等领域的需求。综合而言，量子精密测量技术将继续在实际应用中发挥重要作用，为导航和高精度测量领域带来新的突破。

各技术路线概况

近年来，随着量子精密测量技术的快速发展,以原子陀螺仪和原子加速度计为代表的量子惯性传感器可以提供对角速度和加速度更高灵敏度和长期稳定性的绝对测量。通过替代传统惯性传感器，长时间内可以保证INS的定位精度,而无需频繁进行重新校准。另外，在长距离航行时，还可以利用安装在载体上的高精度原子重力仪或原子重力梯度仪来实现重力场匹配导航的复合式惯导方案，限制INS误差随时间积累，延长系统的重调周期。

图表 量子加速度计&陀螺仪产业化发展现状

类型	理论精度*	技术优劣势	代表机构举例	机构产品/样机参数	样图
原子干涉加速度计	10^{-8} g	灵敏度高、稳定性好、抗干扰能力强；体积大、功耗高、成本高	M SQUARED 英国	形态：工程样机 精度：10^{-8}g	
核磁共振陀螺仪	10^{-2} °/h	发展较早，动态范围大，已进入芯片化产品研发阶段；需要外加磁场	NORTHROP GRUMMAN 美国	形态：工程样机 零篇稳定性：10^{-2} °/h	
NV色心陀螺仪	10^{3} °/h	体积小，启动快；需要高质量的金刚石样品和精确的纳米加工	Berkeley UNIVERSITY OF CALIFORNIA 美国	形态：学术研究 零篇稳定性：0.4 °/s	
SERF陀螺仪	10^{-4} °/h	高精度、带宽较小；技术难度大，处于实验室样机阶段	Twinleaf 美国	形态：实验室样机 零篇稳定性：10^{-3} °/h	
原子干涉陀螺仪	10^{-5} °/h	极高精度，稳定性好、抗干扰能力强；体积大、功耗高、成本高	AOSense 美国	形态：实验室样机 零篇稳定性：10^{-4} °/h	

iCV TA&K | Version Feb 2024

注：*为理论条件下的精度，来源论文见参考文献。

相比经典惯性传感器，理论上量子陀螺仪和加速度计具有更高的精度、更低的漂移、更强的抗干扰能力等优势。但这些优势能否在实际工程化应用中得到体现，会受到众多因素影响，包括设备的设计、制造工艺、使用环境等，现阶段由于产品大多处于样机阶段，面临体积大、成本高、稳定性不足等挑战，优越性还未得到体现。

目前量子惯性领域的研发由高校主导，欧美顶尖团队有斯坦福、普林斯顿、巴黎天文台、Sandia国家实验室等，中国团队如北航、东南大学、中科院精密测量院等也在推进研究，但目前产品整体性能指标比国际先进水平低约2-3个数量级。各类型产品中，核磁共振陀螺仪是短期内最有望推广应用的产品，冷原子干涉加速度计和陀螺仪展现了极高的精度，具有很大的应用前景，可能在未来成为高精度惯性导航领域的主流技术。

05 量子雷达

2023年量子雷达进展

量子雷达依据发射和接收类型不同可分为三大类，包括干涉式量子雷达、量子增强雷达以及量子照射雷达。其中量子增强雷达产业化进程最快，已在军事、环保等领域应用。该路线通过经典信号发射，量子信号接收，可大幅提高雷达的精度以及灵敏度。依据信号发射类型的不同（激光或微波），接收端有可细分为单光子探测器与原子天线两大类。

量子雷达

基于单光子探测器的量子增强雷达

- QCI支持NASA监测气候变化的量子传感解决方案，该解决方案利用雷达系统远程测量不同类型积雪的物理特性，并计算雪融化时可以释放多少水
- QLM的新型量子气体激光雷达在METEC的测试中验证为行业领先。该技术对于检测、定位和量化天然气泄漏具有高度的精度，被认为是连续甲烷监测技术中的黄金标准
- QI Solutions推出了量子光子振动计，用于远程振动检测、传感和检查。该设备在灵敏度、速度和分辨率方面取得显著进步，有望在军事和商业应用中提供高效的远程振动检测解决方案里
- 昂高等师范学院研究团队开发的内置的微波光子计数器探测的量子雷达在测距分辨率上取得了显著的提高，与传统雷达相比检测速度提高了209%。

基于原子天线的量子增强雷达

- Infleqtion与L3Harris的量子射频技术取得了重大突破，突破了传统基于原子高激发里德伯态的限制这项技术在射频传感领域具有连续调谐、抗干扰和高灵敏度等优势，为射频应用带来了新的可能性
- Infleqtion的量子射频孔径/接收器系统SqyWire在陆军NetModX23评估中展示了卓越的能力，对射频网络管理方面的发展具有重要意义
- Rydberg在最近的美国陆军作战能力发展司令部中心网络现代化实验活动中，该公司推出了一款小尺寸、低重量、低功耗原子接收器，并在活动中展示了使用原子量子传感器的远程无线电通信

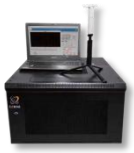
基于单光子探测器的量子增强雷达利用单光子探测器的高灵敏性和量子特性，通过检测单光子的量子态来实现雷达系统的增强性能。这种技术路线的优势在于其对微弱信号的极高敏感度，能够实现对远距离目标的高分辨率探测。通过深度学习等先进技术的结合，单光子探测器还能够在复杂环境中提高雷达系统的适应性，使其在噪声和干扰中更为稳健。

相对而言，基于原子天线的量子增强雷达注重微波频率范围的探测。该技术利用原子天线在微波信号范围内的敏感性，通过量子控制和读出实现对微波信号的高灵敏度检测。由于微波频率在通信、雷达和远程传感等领域具有广泛应用，基于原子天线的量子增强雷达在这些领域的潜在应用广泛。此技术的独特之处在于其对微波信号的高分辨率和高灵敏度，有望在电子战、通信系统和天文学观测等领域发挥重要作用。

量子雷达产品概况

量子雷达技术将在不远的将来实现复杂噪声背景下的远程目标探测、高分辨成像，并在军事和民用领域得到广泛应用。全球合作和持续创新将推动量子雷达技术向前发展，为未来提供更为精准、高效的目标探测与识别解决方案。接收端增强量子雷达通过加入压缩光和相位敏感放大器，降低接收端标准量子噪声，对信号进行无噪声放大，以提高量子雷达的信噪比，是近年来备受关注的发展方向

图表 量子雷达产业化发展现状

类型	应用领域*	技术优劣势	代表公司举例	产品参数	产品样图
基于单光子探测器	大气风场与艉流测量	径向信噪比高、近红外光波段；需要低温环境、成本较高	国耀量子 中国	型号：高分辨测风激光雷达 风速测量精度：垂直 < 0.3m/s@3km 风速范围：±50m/s	
	温室气体泄露检测	连续、实时监控、小型、低功耗；需要保持相干性，抑制噪声	QLM 英国	型号：Quantum Gas 探测距离：200 米 可探测甲烷泄漏率：0.012 g/s	
	远程监控检测	远程精确识别材料固有频率、保真度高、功耗低；部分性能指标仍在测试当中	QCi 美国	型号：Quantum Photonic Vibrometer 精度：110 nm 频率范围：直流至 4 kHz	
基于原子天线	无线电通讯	高灵敏度，宽带宽；体积大、激光系统复杂	天之衡量子科技 TZH Quantum Tech 中国	型号：原子无线电接收机 响应频率：100kHz~40GHz 分辨率：0.1~1mm	

iCV TA&K | Version Feb 2024

注：*量子雷达产品可涉及多种应用场景，并且许多公司产品线也涉及多款量子雷达，因此本部分仅选取一类典型产品及应用做分析。

目前量子雷达技术正面临着多样性目标的探测难题，不同目标的尺寸和结构特征的多样性给探测带来了巨大挑战。为解决这一问题，近年来，干涉式量子雷达技术成为优化设计远距离空中目标探测系统的重要手段。通过结合量子纠缠态与干涉仪，这一技术提高了干涉条纹的可见度，实现了超灵敏的探测和高分辨率的目标识别。同时，通过气动外形和电磁吸收材料等技术手段，将电磁波的后向散射最小化，从而减小系统的能量损耗，提高了采集时间或传输功率。

未来的发展趋势将更加重视全面考虑雷达动态范围、灵敏度和带宽等综合因素，以确保系统在各种环境条件下的应用效果。量子雷达系统将逐步采用“经典 - 量子双通道”的系统形态，实现量子通道与经典雷达的有机结合。这种结合可以在保持当前经典雷达应用场景和技术能力条件下，充分发挥量子通道的高精度和高灵敏度特性，提升整体雷达性能。在中短期内，这种双通道系统形态将成为主流，更好地应对各种复杂环境和极端天气条件。

06 量子电场强计

2023年技术进展

量子电场测量领域已经取得了显著的进展，采用里德堡原子和金刚石NV色心等量子系统的测量技术显示出了优越性。原子体系具有可重复、精确和稳定等优点。气态原子对施加电场的扰动较小，因此光谱频率的测量可以达到很高精度。

在测量超弱电场方面，比现有的微波传感器有显著的优势。金刚石NV色心则可以实现10纳米级电场成像和电荷态的精确调控，同样对微弱电场有高灵敏度。

量子场强计

里德堡原子电场强计

- 中科大团队成功地利用辅助微波场扩展了基于里德堡原子的微波电场测量的带宽灵敏度，使得对失谐高达100 MHz微波场的检测成为可能，相比未使用辅助微波场，其测量灵敏度提高了10倍
- 北京无线测量研究所和青岛市太赫兹技术重点实验室合作，提出了一种基于里德堡原子的双色电磁感应透明性（EIT）测量微波电场的方案。通过模拟结果，与常规EIT方案相比，光谱分辨率可提高约4倍，微波电场的最小可检测强度可提高约3倍。经过多普勒平均后，最小可检测的微波电场强度比没有多普勒效应的情况大约大5倍。

金刚石NV色心电场强计

- 伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校的研究团队正在开发一种基于氮空位金刚石的传感器，该传感器具有独特的量子特性，可以用于测量中子的电偶极矩，并可能在量子信息科学中找到应用。他们正在研究一种称为动态解耦的量子技术，以提高电场测量的准确性。

未来量子场强计的发展将聚焦于提高量子电场测量的精度，包括对微小电场的高灵敏度测量。研究团队可能会探索更先进的量子技术，以实现更精确的场强计测量，满足科研和应用的需求。随着量子电场测量技术的成熟，制定相关标准将变得至关重要。标准的制定可以确保不同实验室和研究团队之间的测量结果具有可比性和可信度。国际标准化组织（ISO）等机构可能需要参与制定这些标准。

未来的发展将更加注重量子精密测量技术的多模态集成，即将不同类型的测量技术融合在一起。在电场测量中，这可能涉及到结合不同原子体系、不同光学技术等，以提供更为全面和全方位的测量解决方案。

随着技术的不断进步，量子电场测量技术将更广泛地应用于实际场景，如通信、医学、环境监测等领域。这将需要技术更好地适应复杂的环境，并提供实用的解决方案。

07 量子测量软件算法平台

2023年软件算法平台技术进展

2023年，量子精密测量软件、算法和平台领域取得了显著进展。软件配置和算法的创新使得量子传感器能够更灵活地适应不同环境，尤其是资源受限的情况下表现出色。平台的发展则提供了更多工具和资源，促进了量子技术在研究和应用中的广泛应用。

软件算法平台

软件

- Infleqtion 通过结合机器学习与量子传感，展示了软件配置、支持量子的高性能加速度计；
- Sandbox AQ与美国空军成功测试了基于量子传感器的磁异常导航系统，该系统是人工智能和量子（AQ）技术的复合系统，为GPS无法使用或被拒绝的环境提供了替代方案

算法

- 罗马第一大学团队提出了一种无模型方法，通过将强化学习算法与深度神经网络相结合，实现了对多参数估计的优化，可被广泛应用于优化量子传感器的性能；
- 北京计算科学研究中心提出一种实现正算子测量的普适、高效简单的方法（量子随机游走算法），并在物理应用中成功进行了演示

平台

- Infleqtion宣布推出了Oqtant，是世界上第一个量子创新平台即服务，为研究人员和创新者提供量子物质获取途径；
- QLM Technology商业推出了量子气体激光雷达和QLM Cloud，可提供卓越性能准确性，并通过云端分析和管理相关数据；
- Adtran 的增强型 Oscilloquartz 同步产品组合现在可提供具有智能威胁检测和缓解功能的 aPNT+™ 平台
- 中国电力科学研究院电力量子测量平台于2023年5月正式投运。该平台以建立电学量子计量基础标准体系为目标，具有高稳定性，不受时间、空间和环境条件变化的影响

未来的发展趋势将会聚焦在软件、算法和平台的整体融合，以构建更加完善、高效的量子测量系统。随着技术的不断进步，对安全性和稳定性的需求将成为重要关切，特别是在网络攻击频繁的环境中。云端服务的应用可能会得到进一步强调，为用户提供更高级的数据分析、管理和安全功能。

另外，量子技术在更广泛的应用领域中的拓展，尤其是在导航、测量和安全领域，将是未来发展的关键方向。整体而言，精密测量领域将继续受益于量子技术的创新，为科学和工业领域提供更加精准和可靠的解决方案。

03

核心组件

目录 03 核心组件

01. 核心组件主要进展

02. 外围保障系统

03. 核心硬件

04. 辅助硬件

01 2023年量子精密测量核心组件主要进展

随着量子技术的不断发展，对其上游硬件的需求也在增加，促使其在性能和可靠性上不断提升。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，为实现高度精密的量子测量提供了必要的基础支持。

外围保障系统包括制冷系统、磁屏蔽系统、隔振系统和真空系统等。该系统对于提高量子测量的稳定性、准确性和可靠性至关重要。目前除制冷系统外，其它外围保障系统均较为成熟，少有为量子测量而专门做适配与改进的企业。核心硬件包括单光子探测器、微波源、激光器和原子气室等。作为量子传感器的核心部分，它能够为量子精密测量带来高度灵敏的信号检测、精准的微调控制以及稳定的信号源，从而为量子测量的带来更高的灵敏度、更快的响应速度和更低的噪声水平。辅助硬件包括射频器件、电光调制器、声光调制器和低温线缆等，这些组件在量子测量实验中主要起到辅助调控和信号传输的作用。

图表 2023年量子精密测量核心组件进展

外围保障系统	核心硬件	辅助硬件
• 北航团队开发了一种隔振系统，将被动振动隔离器和主动反馈系统结合起来，以抑制微振动的影响，实现了超高灵敏度的量子磁场测量 • 瑞士保罗谢勒研究所提出了一种新型的主动磁屏蔽系统（AMS），并在的n2EDM实验中进行了设计和实施。该系统可以补偿静态和可变磁场，将它们抑制到亚赫兹频率范围内的几μG范围内	• QCi建立新的量子光子芯片制造工厂，可用于量子传感和成像产品 • iXblue的掺钕光纤的激光源在双光子荧光激发显微镜技术中得到广泛应用 • 加州大学伯克利分校和劳伦斯伯克利国家实验室的研究小组成功开发了首个使用硅的量子光源 • 天津大学首次演示了利用超导纳米线单光子探测器进行非视距成像 • 麻省理工学院研究团队找到了一种调控金刚石自旋密度的方法，为先进量子测量设备带来新的可能性	• iXblue推出的ILS激光系统拥有完整生产链，提供特种光纤、布拉格光栅、高速调制解决方案和微光学组件 • iXblue发布COH 90°光混合解决方案为信号解调提供了可能性。通过四次 90° 相位步进干涉，该解决方案可提取相位、幅度和偏振等信息，在医学成像等领域具有广泛应用

02 外围保障系统

图表 量子精密测量上游外围保障系统概览

类型	低温系统	磁屏蔽系统	真空系统
代表公司	芬兰：BLUEFORS 日本：SHI Cryogenics Group 中国：ZL CRYOGENIC；CryoPride 中船鹏力超低温	英国：Magnetic Shields Electromagnetic Engineering；OXFORD INSTRUMENTS 美国：Twinleaf 中国：北京翠海佳诚磁电科技有限责任公司	美国：Agilent 德国：Leybold；PFEIFFER VACUUM 英国：EDWARDS 中国：KYKY 中科科仪
作用及其市场格局	• 低温系统可降低原子热运动，从而提高系统的精确度和稳定性。 • 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），中国企业目前仅能供应GM制冷机。	• 剔除外部磁场因素，技术上可通过合金材料包覆或地磁场补偿实现。 • 全球各主要科技国均可供应。此外低温系统厂商同样可采购磁屏蔽外壳后随低温系统一并向下游客户供应。	• 其真空腔和法兰件要求真空度在10^{-9}托左右，技术上易于实现。 • 当前高性能分子泵仅有少量企业供应，其中普发真空的性能最优，且市场占比较高，其次是Edwards与安捷伦。

iCV TA&K | Version Feb 2024

外围保障系统是量子精密测量的重要组成部分，其性能和质量直接影响量子精密测量的精度和稳定性。

在技术创新方面，未来外围保障系统将持续推动性能和质量的提升。磁屏蔽效率的提高将通过采用新型材料、改进设计和制造工艺来实现。隔振系统将追求更低的振动噪声水平，制冷系统将不断优化以降低温度并提高制冷效率。新材料的引入和结构设计的创新将进一步增强外围保障系统的可靠性和性能。微型化和集成化方向将通过采用先进的制造技术和智能控制系统，使外围保障系统更加紧凑、便携和高效。

在应用需求方面，未来外围保障系统将更加精准地满足特定领域的需求。量子导航的快速发展将推动对更高精度和更稳定外围保障系统的需求。未来的量子传感器，将不断追求更高的灵敏度和准确度。这反过来将促使外围保障系统提供更先进、可定制的解决方案，以适应不同领域的量子技术应用。

03 核心硬件

图表 2023年量子精密测量核心硬件概览

类型	激光器	探测器	微波源	原子气室
代表公司	英国 M SQUARED	瑞士 IDQ	德国 ROHDE&SCHWARZ	德国 ROSATOM
	德国 TOPTICA	荷兰 SINGLE QUANTUM Excellence in photon detection	美国 KEYSIGHT	美国 AMERICAN ELEMENTS THE ADVANCED MATERIALS MANUFACTURER
	美国 Vixar	中国 赋同量子 PHOTEC	中国 RIGOL	中国 中核集团 CNNC
	中国 precilasers 频准激光	CETC 中电科技集团重庆声光电有限公司 CHONGQING ACOUSTIC-OPTIC-ELECTRIC CO.,LTD.OF CHINA ELECTRONICS TECHNOLOGY GROUP CORP.		
作用及其市场格局	• 高质量、相干和单色的激光束为量子态制备与精密操控以及干涉测量等关键环节提供了光源。 • 全球量子精密测量用激光器的主要供应商为德国Toptica、英国M Aquared以及美国的Vixar。中国企业目前性能指标仍有差距，增益芯片以及光源大部分仍依赖进口。	• 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，主要用于量子雷达、光钟等设备。 • 全球单光子探测器的主要供应商有瑞士的IDQ、荷兰Single Quantum等。赋同量子是中国超导纳米线单光子探测器率先产业化的公司，目前产品在本国市占率达到约70%。	• 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，从而实现对其状态的精确控制。 • 全球主要供应商为德国罗德施瓦茨与美国是德仪器。中国普源精电目前已具备多种型号任意波形发生器产品，性能指标达到国际先进水平，可为量子精密测量相关厂商供货。	• 用于提供原子钟所需的放置铷、铯等原子的独立装置。充气后可根据特定原子能级跃迁频率来计算时间。 • 全球量子精密测量用原子的主要供应商为俄罗斯国家原子能集团以及American Elements。中核集团是中国唯一售卖镱原子等核工业的副产品的厂商，但无法小剂量售卖。

iCV TA&K | Version Feb 2024

未来激光源将迎来提升，包括提高稳定性、功率和频率控制，以满足更高精度的量子测量需求。其次，中国企业在量子光源领域可能加大研发力度，弥补性能指标上的差距，减少对进口的依赖。单光子探测器方面，未来趋势可能包括更大阵列、更长响应波长、光子数分辨能力、更高工作温度、更大光敏面、更高成品率等。此外，量子态测量设备将会更加多样化，以满足不同应用领域的需求。

04 辅助硬件

图表 2023年量子精密测量辅助硬件概览

类型	低温线缆	调制器	射频器件
代表公司	法国 Radiall	法国 OPTO-ELECTRONIC	美国 Mini-Circuits
	日本 KEYCOM Characteristic Technologies	英国 G&H	德国 attocube WITTENSTEIN group
	中国 西部超导	中国 CETC 中国电科	中国 ZWDX 中微达信
作用及其市场格局	• 部分量子精密测量设备需要运行于极低温环境，而传统线缆在低温环境下散射噪声较大，不利于测量，因此需要针对性的使用低温线缆。 • 全球量子精密测量用低温线缆的供应商有日本Keycom、法国Radiall等。西部超导是中国为数不多能生产超低温线缆的企业。	• 可以产生高频电振荡，通过换能器形成机械波，通过快速控制波实现器件调制激光束的目的，可提高量子测量的灵敏度或精度。 • 全球各主要科技国均可供应。中国电科的声光电调制器可用于离子阱以及中性原子系统。	• 量子态的操作和控制需要各种场和波来实现，射频微波器件可被用于调节量子态之间的相互作用和操作以及对量子态进行精确读出。 • 全球射频器件供应商有美国Mini-Circuits以及德国attocube。中国的中微达信可为量子精密测量提供提低温低噪放大器等。

ICV TA&K | Version Feb 2024

未来，针对在极低温环境下运行的需求，低温线缆的研发和生产将更加重要，以降低散射噪声，提高测量设备的性能。全球各科技国都可能加强在低温线缆领域的投入，以满足量子精密测量设备对极端环境的要求。声光电调制技术在量子测量中的应用将进一步发展。通过高频电振荡和机械波的换能器，实现对激光束的快速调制，以提高量子测量的灵敏度或精度。这方面的创新可能涉及新型调制器的设计和制造。射频微波器件的研发和应用将成为量子态操作和控制的关键。未来，会向更高加工精度、更高信噪比以及低温小型化、芯片化的方向发展，以满足量子精密测量系统的要求。

04

行业应用

目录 04 应用

01. 国防军工

02. 医疗健康

03. 能源环保

04. 同步通信

05. 科学研究

01 国防军工

在量子精密测量类型方面，涵盖了时间、测量、重力、惯性、目标识别等多个方面，反映了量子精密测量技术在军工领域的广泛应用，从全球导航卫星系统和全球定位系统到磁异常导航和近地观测，为军事任务提供了全方位的支持。基于军工应用对于国家安全重要性，在其实际应用中，各国更侧重于在军工领域的研发，导致各国更倾向于保持相对封闭的研发环境。

以下图表主要选取2023年，量子精密测量在国防军工领域中的代表性进展进行论述与分析，选择标准为量子精密测量中游企业与国防军工领域知名企业或机构间的合作，并且优先以产生实际或定量结果为主，少量为合作探索。

图表 量子精密测量在国防军工领域的进展举例

	合作方	技术路线	应用方向	核心进展
时间	美国	冷原子钟	全球导航卫星系统和全球定位系统	进行下一代量子原子钟、量子传感器和组件技术的研发。这项工作对于创造更好的时钟、高性能传感器和相关技术是必要的，这些技术在空间领域更具弹性
磁场	SANDBOXAQ 美国	光泵磁力计	磁异常导航，即在GPS无法使用或故意拒绝或欺骗的情况下提供不间断的导航	公司的量子导航原型机安装在一架美国空军C-17 Globe Master III军用运输机上，并在地面和多次飞行测试中成功接收了地磁导航数据
重力	Q-CTRL 澳大利亚	冷原子绝对重力仪	基于低成本卫星的近地观测	公司已经得到合作研究中心项目的支持，未来将交付用于空天的量子重力仪，预测甚至预防干旱或采矿活动对水资源和农业影响
惯性	英国	冷原子加速度计	无 GPS 的惯性导航系统	使用超冷原子进行加速度的测量，有潜力在无全球定位系统（GPS）和全球导航卫星系统（GNSS）的环境中提供高精度的位置数据
目标识别	QCi NASA 美国	量子增强雷达	用于星载和机载任务，测试监测气候变化的量子传感解决方案	支持NASA测试其专有的量子光子系统，该系统用于远程感应应用，以监测气候变化,如测量不同类型积雪的物理特性，包括密度、颗粒大小和深度等

iCV TA&K | Version Feb 2024

未来，提高技术性能、拓宽应用领域以及强化国际合作将成为三个主要发展趋势。首先，通过进行下一代量子传感器及其核心组件技术的研发，能够创造更优越的高性能传感器，满足军工领域更为复杂的任务需求。其次，各国将量子技术应用于除无GPS的惯性导航系统、监测气候变化、测试磁异常导航等应用方向，继续拓宽应用领域。最后，强化国际合作将是未来发展的关键，促使各国共同应对国防军工领域的复杂需求，共享科技成果，将进一步推动整个领域的进步。

02 医疗健康

全球范围内的量子精密测量在医疗健康领域的应用呈现出明显的国际合作趋势。美国、中国、德国、瑞士、芬兰等国均为全球医疗健康领域提供了先进的量子磁力测量解决方案。

以下图表主要选取2023年，量子精密测量在医疗健康领域中的代表性进展进行论述与分析，选择标准为量子精密测量中游企业与医疗健康领域知名企业或机构间的合作，并且优先以产生实际或定量结果为主，少量为合作探索。

图表 量子精密测量在医疗健康领域的进展举例

	合作方	技术路线	应用方向	核心进展
磁场	MEGIN campus biotech Fondation Campus Biotech Geneva 芬兰、瑞士	SQUID	非侵入性方式检测和测量大脑活动、脑机接口、神经反馈研究	最新一代配备氦气回收和最新一代磁传感器的MEG 系统在瑞士日内瓦交付，安装调试后被用于提供大脑活动精确且完整的图像
	Genetesis The Christ Hospital Health Network 美国	OPM	冠状动脉微血管疾病非侵入诊断	公司心电磁图设备（CardioFlux MCG）获得突破性设备认证，可用于以识别可能患有冠状微血管疾病的患者中的心肌缺血
	未磁科技 X-MAGTECH 安贞医院 ANZHEN HOSPITAL 中国	SERF	心磁图仪	公司64通道无液氦心磁图仪落地北京安贞医院，并举行了中国医学装备协会“心磁图装备技术与临床应用培训基地”挂牌揭幕仪式及签约仪式
	Universität Stuttgart BACEI 德国、中国	NV色心	磁尿图和肌磁图	演示通过设置使用肌肉模型进行模拟动作电位信号检测，以及NV磁力计在非屏蔽生物磁场测量磁尿图和肌磁图中的潜在应用

iCV TA&K | Version Feb 2024

在医疗健康领域，量子精密测量主要应用于心脏磁图（MCG）和脑磁图（MEG）等细分领域，量子磁力计以其无创、无辐射、无造影剂、抗电磁干扰等优势，使其成为医疗诊断中的重要工具。

随着技术的进步，量子精密测量技术将进一步扩展到医学的多个领域。除了已经涉足的心脏和脑科学领域，未来可能会看到在癌症诊断、神经疾病治疗和其他医学应用方面的创新。量子精密测量有望为医疗诊断提供更全面、准确的数据，帮助医生更好地理解和治疗疾病。此外个性化医疗将成为一个关键趋势。通过更精准的测量数据，医生可以为每位患者制定个性化的治疗方案，提高治疗效果，减少不必要的药物和治疗过程。量子磁力测量技术的创新将推动医学研究和治疗方法的革新，这样的技术创新有望改善患者的生活质量，并为新型疾病治疗方法的发展打开大门。

设备方面，未来的发展将集中于提高测量精确性、降低成本、提高设备的便携性和易用性。这将促使更多的医疗机构和临床实验室采用量子精密测量技术，推动其在医疗领域的广泛应用。此外，如果SERF磁力计在性能、灵敏度和成本方面取得进一步突破，它可能成为未来医学领域磁力测量技术的主导工具。这可能会带来更加精确和经济高效的磁力测量解决方案，推动医学磁力学领域的快速发展

03 能源环保

目前在能源环保领域，欧美国家是主要的推动者，亚太地区在该领域相对有所欠缺。从技术路线上来看，通过提供高精度的同步解决方案、重力梯度测量、气象监测和射频传感，量子精密测量技术为智能电网的高效运行、气候变化的监测和理解、环保决策的制定以及大气层动态变化的理解提供了重要支持。这些技术的应用有助于推动能源环保领域的创新和发展。

以下图表主要选取2023年，量子精密测量在能源环保领域中的代表性进展进行论述与分析，选择标准为量子精密测量中游企业与能源环保领域知名企业或机构间的合作，并且优先以产生实际或定量结果为主，少量为合作探索。

图表 量子精密测量在能源环保领域的进展举例

	合作方	技术路线	应用方向	核心进展
时间	OSCILLOQUARTZ An ADVA Optical Networking Company OCP ACCEPTED 美国、瑞士	铷原子钟	智能电网	采用卫星时间和定位 技术的新同步解决方案，以解决 GPS 和其他 GNSS 系统日益受到干扰和欺骗攻击的漏洞，可服务于智能电网等行业
重力	TEXAS The University of Texas at Austin NASA 美国	冷原子绝对重力仪	重要气候因素的读数：海平面上升、冰融化速度、陆地水资源变化和海洋储热变化	开发光子集成电路（PIC），以探测来自太空的地球引力的微小变化。该设备使用许多激光和光学器件来冷却和捕获原子，以极高的灵敏度测量重力梯度。
目标识别	REPSOL QLM 英国	量子增强雷达	基于低成本卫星的近地观测	试验的图像尽管没有出现甲烷浓度的热点，但敞口污水箱的扩散排放仍能够量化其精确流量
	WORLD VIEW. Infleqtion 美国	里德堡原子天线	平流层气球系统	从近地到大气边缘的操作相关环境中测试推动量子和平流层探索领域的下一代射频传感技术

iCV TA&K | Version Feb 2024

未来，量子精密测量技术将广泛渗透于能源环保领域，展现出多样化的应用场景。智能电网的优化将通过量子同步解决方案实现时空同步的精度提升，从而优化电力系统的运行效率，减少能源浪费，提高能源利用率。同时，气候监测与应对将得益于量子增强雷达系统的高灵敏度监测，实现对关键气候因素的准确监测，为更有针对性的环保举措提供支持。冷原子绝对重力仪在地球引力变化研究中的应用，则有望为地质学、地球物理学等领域提供精确的数据，推动对地球内部结构和运动的深入认识。

在技术创新方面，未来的发展将不断追求提高测量精度、拓展适用领域和降低成本的目标。新型传感器的设计将聚焦于灵敏性、紧凑性和可靠性，以适应各种环境和应用场景，提高测量的准确性。高效数据处理算法的制定将使量子测量数据更为有效地处理，提高实时性和准确性。先进实验装置的设计和制造则将确保在各种条件下进行可靠的量子精密测量。

04 同步通信

在同步通信领域，量子精密测量技术在全球范围内得到了广泛的应用和合作，尤其以欧美国家为主导。这一领域的技术路线主要涉及原子钟及其细分技术路线产品。这些企业通过铷原子钟、铯原子钟、光钟以及冷原子钟等技术路线产品的研发和应用，推动了如同步飞机和控制塔之间的关键通信、5G基站和数据中心、铁路移动通信系统等应用方向的发展。

以下图表主要选取2023年，量子精密测量在同步通信领域中的代表性进展进行论述与分析，选择标准为量子精密测量中游企业与同步通信领域知名企业或机构间的合作，并且优先以产生实际或定量结果为主，少量为合作探索。

图表 量子精密测量在同步通信领域的进展举例

	合作方	技术路线	应用方向	核心进展
时间	MICROCHIP、FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION 美国	铯原子钟	同步飞机和控制塔之间的关键通信	新一代铯原子钟可帮助美国的空中交通管制利用广播自动相关监视 和广域多点定位 来精确定位飞机在全国空域的位置
	OSCILLOQUARTZ An ADVA Optical Networking Company、USA Communications 美国、瑞士	铷原子钟	5G 基站和数据中心	利用低地球轨道 卫星作为独特的时间源，不仅提供了 GNSS 的有效替代方案，而且还增强了 GNSS 的可靠性和安全性。这种双源方法符合零信任原则
	OSCILLOQUARTZ An ADVA Optical Networking Company、DB 德国、瑞士	光学原子钟	铁路移动通信系统	德铁利用公司的光学铯原子钟技术为其全国铁路网络带来精确计时。增强型主参考时钟解决方案将使德国铁路能够在整个网络中实施预测性维护和其他技术进步
	Infleqtion、2023 Military+Aerospace Electronics Innovators Awards 美国	冷原子钟	无线宽带、网络同步、无人驾驶车辆、传感器网络	公司的Tiqker冷原子钟产品在 2023 年军事 + 航空航天电子 （MAE） 创新者奖中获得了白金奖

iCV TA&K | Version Feb 2024

未来，芯片级原子钟有望替代5G基站中现有的晶振技术。芯片级原子钟的小型化设计使其更容易嵌入到通信设备中，提供更高的频率稳定性和时间同步性能，有助于提升通信系统的效率和性能。这对于移动通信基站等场景，尤其是对于需要高度精确时间同步的5G网络，具有重要的推动作用。

光钟技术将成为同步通信领域的关键技术之一。光钟以其出色的频率稳定性和准确性，将成为金融交易和网络通信等领域的理想选择。未来，随着光学技术的不断进步，光钟的性能有望进一步提高，从而满足对于时间同步极高要求的场景，推动同步通信系统实现更为精准的数据传输和处理。

在钟组中，一般采用多次测量取平均值是一种常见的策略，通过集成不同模态的测量技术，可以更好地抵御外部干扰，提高测量的准确性和稳定性。这对于同步通信系统的可靠性和鲁棒性具有积极的影响。未来的发展将更加注重量子精密测量技术的多模态集成，即将不同类型的测量技术融合在一起，以提供更为全面和全方位的测量解决方案。

05 科学研究

在科研领域，量子精密测量技术展现出了广而深的应用前景。从国家地区的角度来看，欧美国家在推动量子精密测量技术在科研领域的发展上扮演着重要角色。在全球合作中，德国、瑞士、印度等国与科研机构合作，共同推动了量子精密测量技术的创新。

以下图表主要选取2023年，量子精密测量在科研领域中的代表性进展进行论述与分析，选择标准为量子精密测量中游企业与科研领域知名机构间的合作，并且优先以产生实际或定量结果为主，少量为合作探索。

图表 量子精密测量在科学研究领域的进展举例

	合作方	技术路线	应用方向	核心进展
时间	OSCILLOQUARTZ, PTB 德国、瑞士	铯原子钟	天文研究	对其公司最新的OSA 3300-HP 高性能光学铯原子钟进行了为期三个月的评估，结果其性能远远超出了产品规格。该技术对于天文研究将产生重要作用
磁场	ZABRE 瑞士、印度	金刚石NV色心	基于自旋和光子的量子技术研究	可以提供表面磁场、电流和电场的定量数据，具有纳米分辨率和高灵敏度。目前该设备已安装到Vidya Praveen Bhallamudi 教授的实验室中
重力	iXblue, CARIOQA-PMP 欧盟*	冷原子绝对重力仪	用于量子加速测量的冷原子铷干涉仪在轨 - 探路者任务准备	用于研究基于卫星的地球质量分布变化观测，例如冰川融化或地下水流失，可以实现基于量子传感器的太空任务的独立开发和操作，协助完成一系列相关实验
目标识别	QCi 美国	量子增强雷达	地雷探测与验证	模拟全球排雷工作所经历的条件与环境中验证包含 143 种不同物品的综合领域，包括地雷、子弹、未爆炸弹药和简易爆炸装置等

iCV TA&K | Version Feb 2024

注：*量子加速测量的冷原子铷干涉仪在轨 - 探路者任务准备为欧盟整体项目，并且iXblue也为法国公司，因此此处国家位置仅列出“欧盟”。

未来，量子精密测量技术在科研领域的替代性将更为凸显。量子精密测量技术不仅提供了更高的精度，还在科研实验中展现了更为卓越的性能。此外，量子精密测量技术在科研中的广泛应用也体现在对表面磁场、电流和电场的定量数据提供上。这些量子传感器的纳米分辨率和高灵敏度使其在实验室环境中成为必不可少的工具，有助于科学家们深入研究微小尺度的物理现象。

最后，量子精密测量技术在模拟全球排雷工作中的应用也凸显了其在科研领域的实际意义。这种技术不仅能在实验室中验证综合领域的条件与环境，还能应用于卫星观测，协助完成一系列相关实验，推动科研领域对复杂问题的深刻理解。在科研领域，量子精密测量技术正通过不断创新，为科学家们提供更为强大的工具，推动科学研究不断取得新的突破。

05

投融资

目录 05 投融资

01. 融资总体概况

02. 融资地区分布

03. 融资类型

04. 融资产业

05. 融资次数

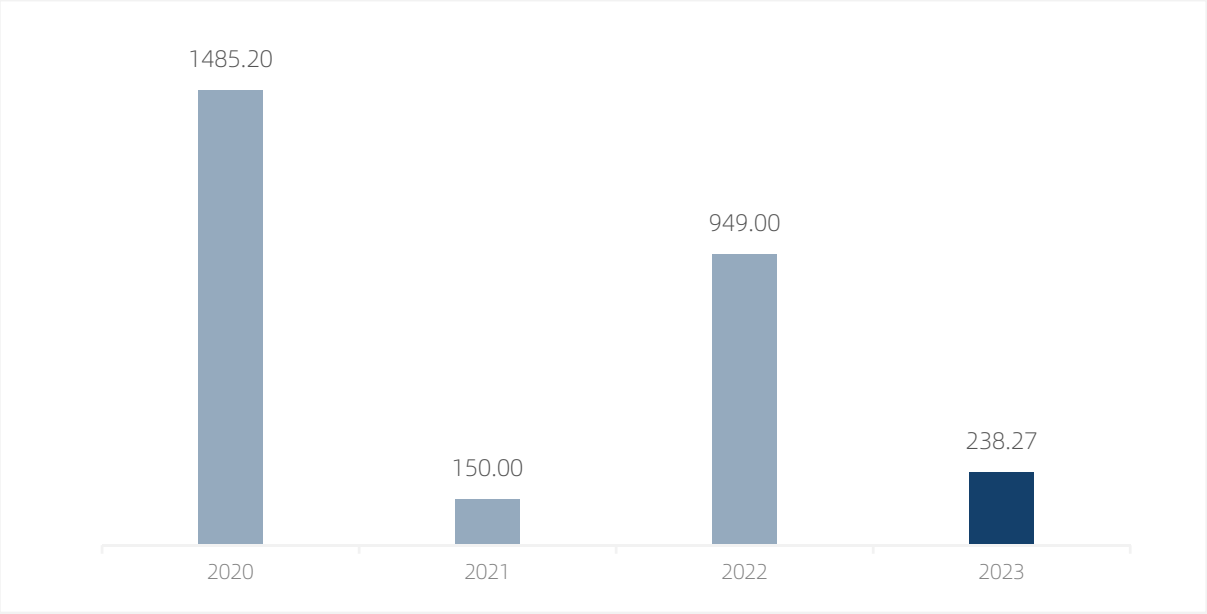
01 融资总体概况

2023年量子精密测量领域融资与2022年相比有所降低

量子精密测量领域2023年融资企业主要分为三大类：囚禁原子/离子、固态自旋（NV色心）以及其他。根据公开信息，全球共有17家公司获得约2.38亿美元融资，本次统计对未披露具体融资金额的公司，包括中国睿镞科技（北京）有限责任公司、北醒（北京）光子、苏州国顺激光、宁波元芯光电子、苏州识光芯科（中国）、灵明光子、阜时科技、德国N Vision Imaging Technologies（A轮）、德国N Vision Imaging Technologies（政府赠予）、Quantum Diamonds、英国Skylark Lasers、美国Source Photonics（美国）等进行了数额的估计。

与2022年（约9.49亿美元）相比，2023年融资总规模有所降低。全球经济状况的不稳定性和可能存在的政策法规变化也可能使投资者在新兴技术领域持保守态度，从而影响了投融资的规模。其次，数据统计过程依据公司公告，可能与公司实际融资节点存在滞后现象。

图表 2020-2023年全球量子精密测量领域融资总额 （单位：百万美元）



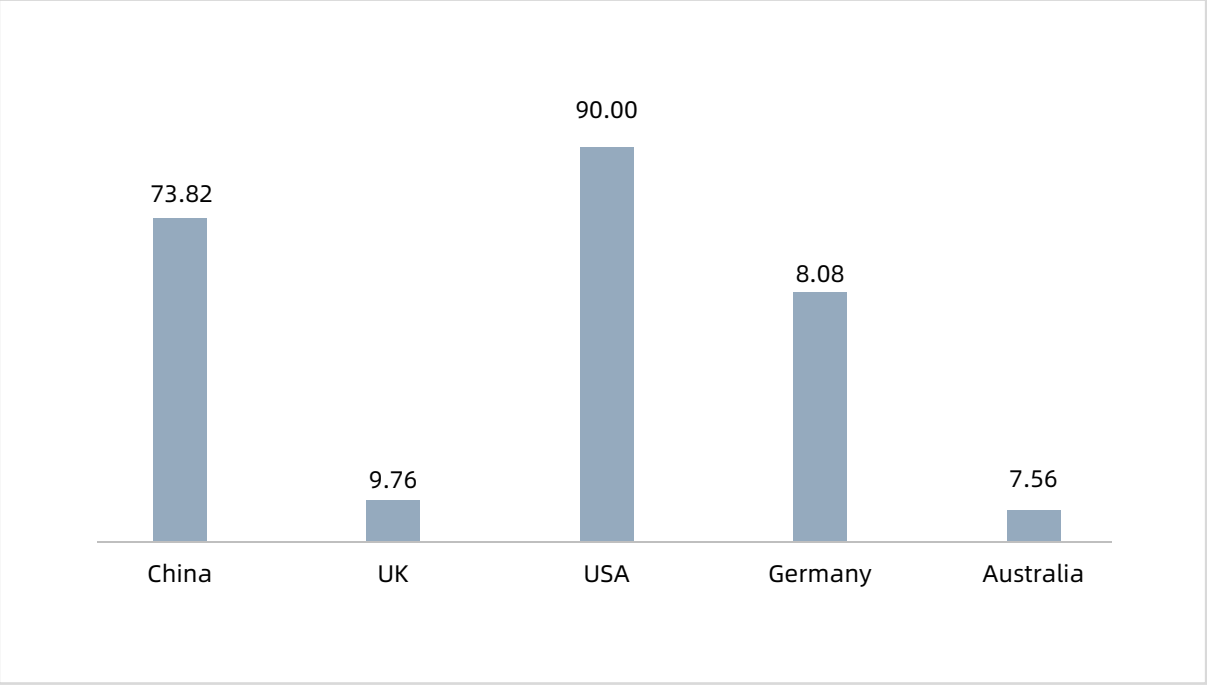
iCV TA&K | Version Feb 2024

02 融资地区分布

资金投向美国企业最多，其次为中国、德国

2023年被投企业来自5个国家（美国、中国、澳大利亚、德国、英国）。从已披露的融资金额来看（美国Source Photonics、德国N Vision Imaging Technologies（Series: A）、德国N Vision Imaging Technologies（Series: Grant）、北醒光子科技、深圳灵明光子科技），资金投向美国公司的金额最高（约9000万美元，1家公司），其次为中国（约7400万美元，9家公司）、德国（约5700万美元，3家公司）、英国（约1000万美元，3家公司）、澳大利亚（约800万美元，1家公司）。

图表 2023年全球量子精密测量领域融资额（单位：百万美元）



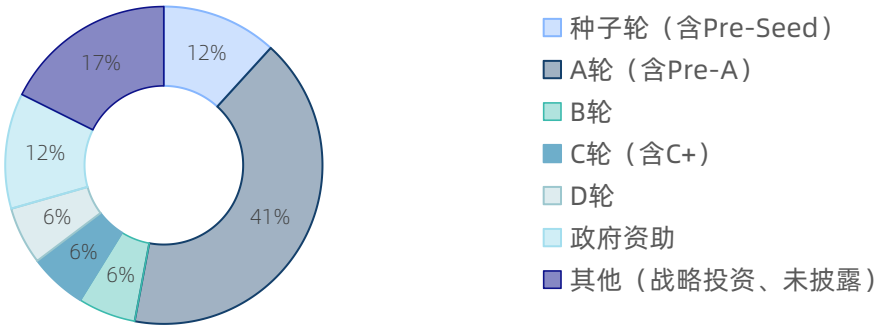
ICV TA&K | Version Feb 2024

03 融资类型

融资类型以A轮投资为主

本次融资统计按融资类型分为种子轮（含Pre-seed）、A轮（含Pre-A）、B轮、C轮（含C+）、D轮、政府资助、其他（战略投资、未披露）。从融资类型来看，A轮融资最多（7次，占比41.67%），说明目前量子精密测量领域公司仍处于发展初期，需要早期融资以及政府投资等。

图表 2023年全球量子精密测量领域公司融资综合情况



全球量子精密测量公司的融资轮次情况

融资轮次	囚禁原子/离子	固态自旋	其他
种子轮（含Pre-Seed）	Delta.g	QUANTUM DIAMONDS SENSOR TECHNOLOGY	
A轮（含Pre-A）	NOMAD ATOMICS；国测量子	NVISION	Skylark Lasers；国顺激光 GLIGHT；SOPHOTON；RAYZ
B轮			ORI CHIP
C轮（含C+）			adaps ADAPS PHOTONICS
D轮		NVISION	source PHOTONICS
政府赠与	Skylark Lasers		
其他	星汉时空		Benewake

iCV TA&K | Version Feb 2024

04 融资方向

量子精密测量领域上游产业融资金额占比较大

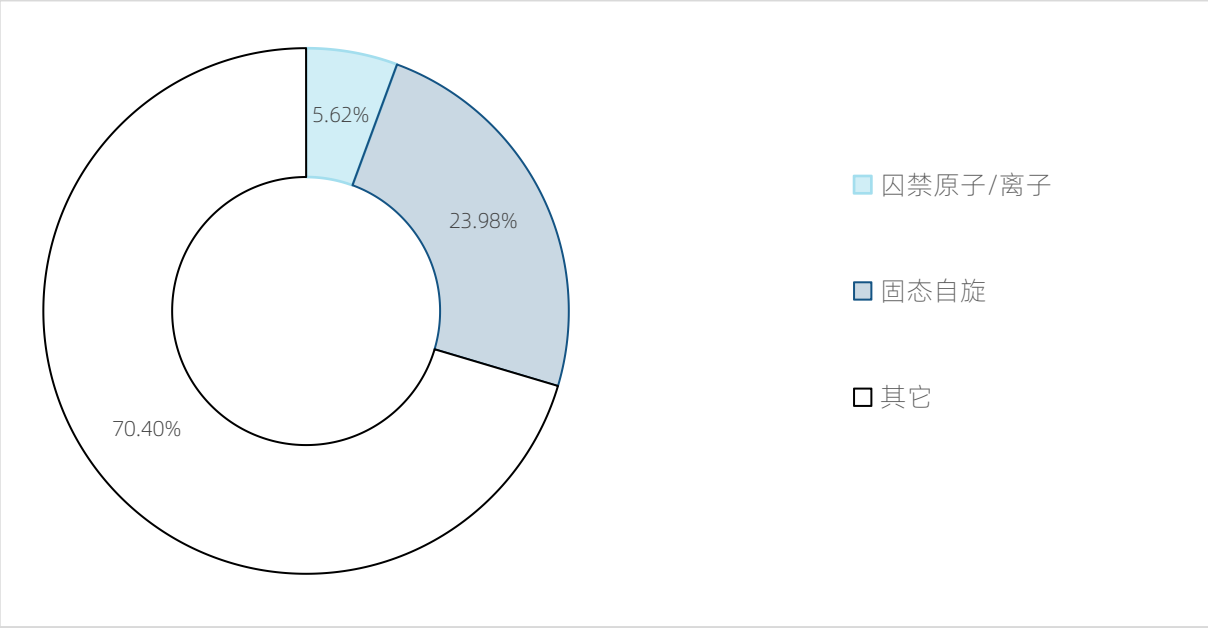
2023年量子精密测量领域获得融资企业按技术路径主要分为三大类：囚禁原子/离子、固态自旋以及其他。

从已整理数据来看，2023年共有5家企业获得融资以推进中性原子发展，包括Xhtime 、Guoce 、Skylark Lasers 、Delta g 、Source Photonics共获得融资约0.13亿美元。

固态自旋产业领域的有3家企业获得融资，包括德国N Vision Imaging Technologies（Series: A）、德国N Vision Imaging Technologies（Series: Grant） 、Quantum Diamonds（德国）共融资0.57亿美元。

其他方向共有9家企业获得投资，以上游激光器为主，分别为苏州国顺激光（中国）、宁波元芯光电子（中国）、Skylark Lasers（英国）、Source Photonics（美国）。睿镞科技（北京）（中国）、北醒（北京）光子（中国）、苏州识光芯科（中国）、灵明光子（中国）、阜时科技（中国），共获得融资1.68亿美元。

图表 2023年量子精密测量领域投资技术领域分布



iCV TA&K | Version Feb 2024

05 融资次数

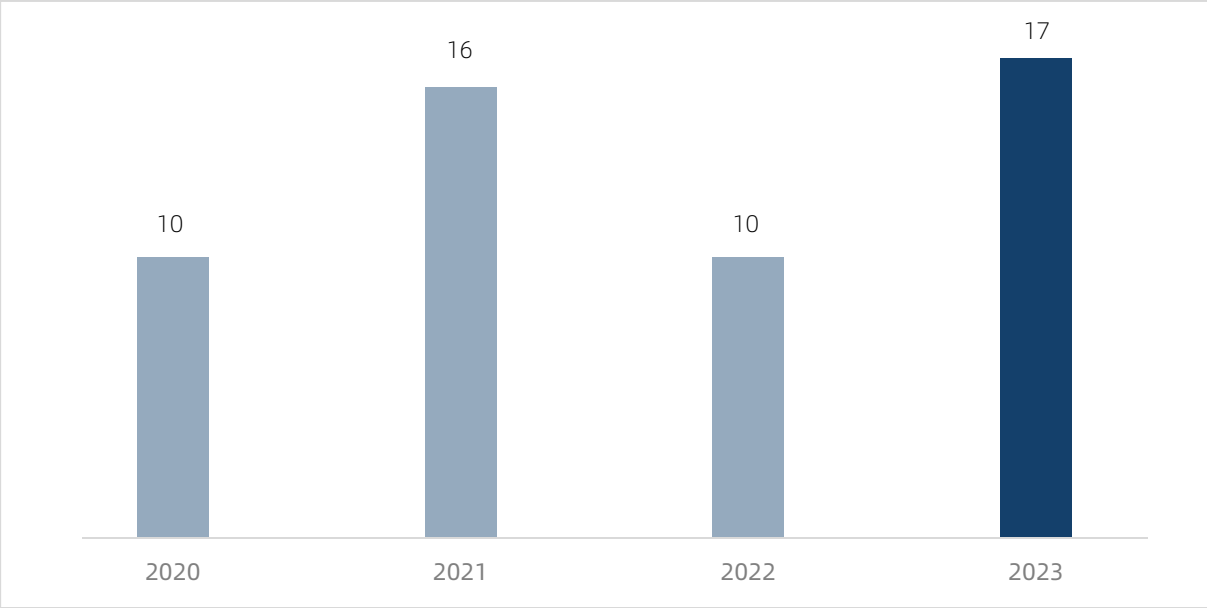
融资次数无明显规律

量子精密测量领域2023年度总计发生融资事件17件，较2022年融资事件数有所增加，与2021年融资事件数基本持平。

量子精密测量领域在2023年获得融资的增加，一方面源于该领域技术的持续突破和进步，引发了投资者对相关初创公司和项目的浓厚兴趣。另一方面，政府的政策支持和整体的市场环境也为量子精密测量领域投发展提供了支持，增强了投资者对该领域的信心。

2023年，德国国家计量局（PTB）发布《2023-2025年专题领域的任务和目标》，该计划提到研究和开发利用电量子计量技术表示和保存电单元的方法，开发高灵敏度的基于量子的电测量方法和传感器；尽可能直接利用整个低频范围内的量子效应，在扩展的值范围内表示和传输电和磁单元（不包括能量测量技术）；优化半导体单电子源和宽带单电子探测器（RF集探测器）的集成量子电路。同时，中国也发布了多个有关计量发展规划的文件，促进量子精密测量和量子传感技术研究，加强计量学基础理论和核心技术原始创新。投资者对量子精密测量领域的未来持有更加乐观预期，因此更愿意进行投资。

图表 2020-2023年全球量子精密测量融资次数



iCV TA&K | Version Feb 2024

06

供应商评价

目录

06
供应商评价

01. 量子时钟领域CTF模型

02. 量子磁场测量领域CTF模型

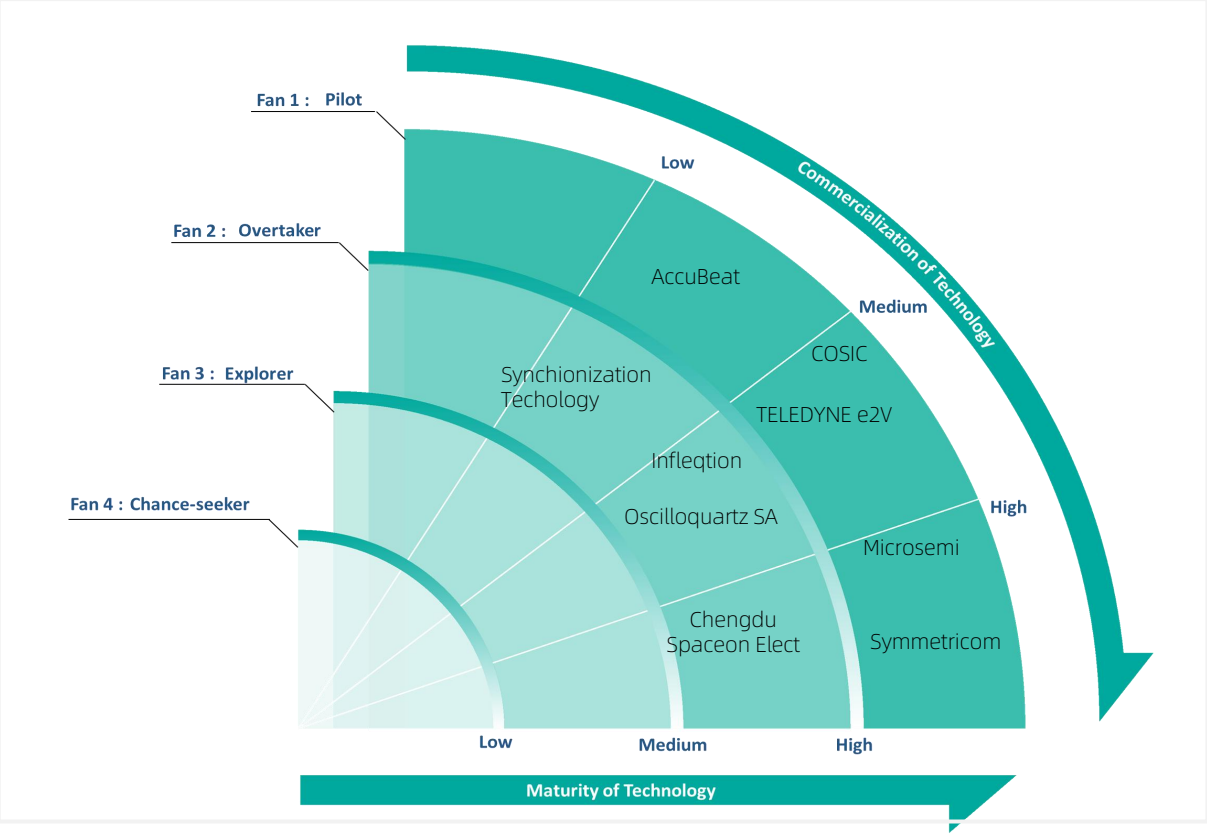
03. 量子重力测量领域CTF模型

04. 典型企业分析

01 量子时钟领域CTF模型

量子精密测量科学仪器设备主要为生物医药、材料、纳米技术等领域提供实验室或工业领域高端仪器设备。目前商业化的产品主要是各类微波原子钟（铷钟、氢钟、铯钟）、微波芯片级原子钟、光钟、芯片级分子钟，以及时频同步类产品（协议）。

图表 量子时钟领域CTF模型



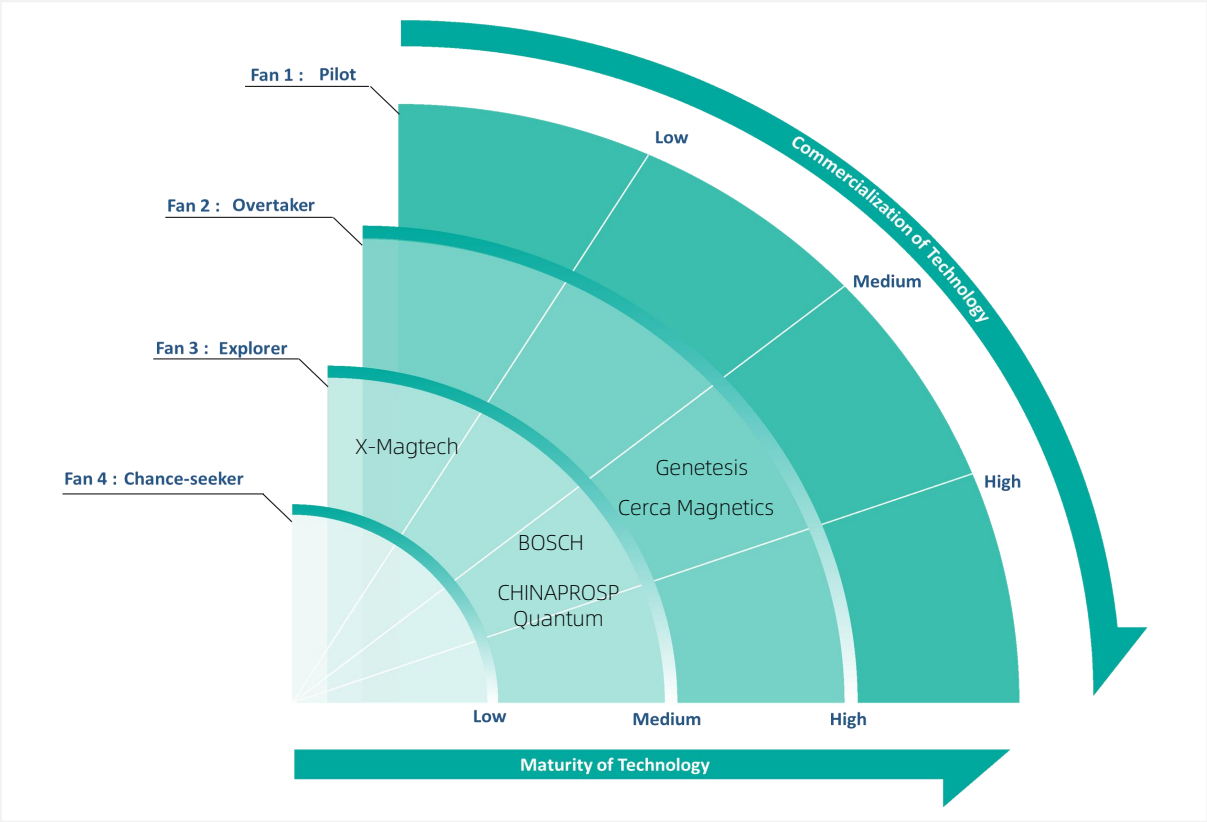
iCV TA&K | Version Feb 2024

量子时钟方面，光钟为美国的Microsemi和Symmetricom等机构领先。分子钟目前仅有中微达信有相关公开布局。微波钟方面，目前全球微波钟产品成熟，产品与市场较为成熟，中国主要玩家为天奥电子和203所。

全球拥有原子钟技术的国家中，美国和欧洲的商业化公司较多；其他地区商业化的公司极少，技术主要掌握在国家计量标准制定及研究相关院所。其中，美国的Symmetricom公司是原子钟的技术领先者。此外，据公开报道，欧盟、日本也实现了芯片级原子钟原理样机的研制。

02 量子磁场测量领域CTF模型

图表 量子磁场测量领域CTF模型



iCV TA&K | Version Feb 2024

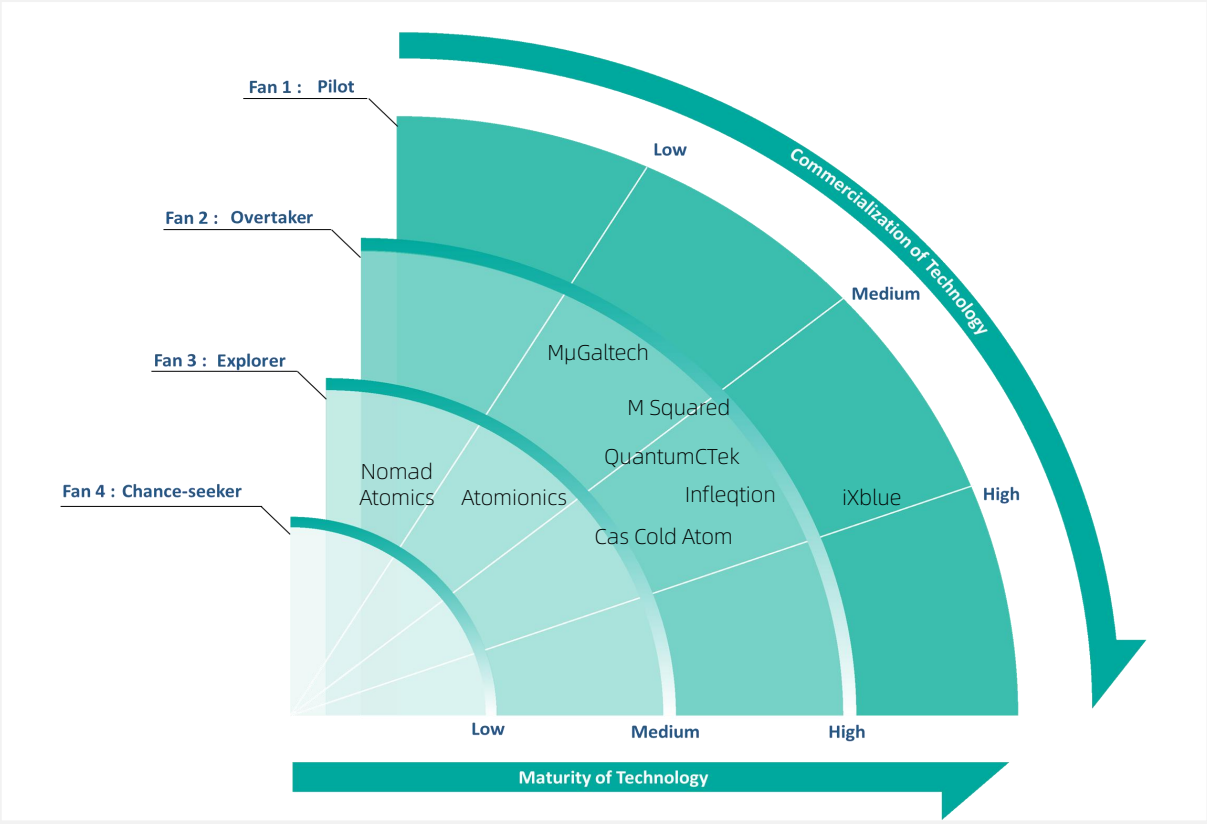
量子磁场测量方面，可以应用在地理地质、生物医疗领域生命健康领域磁测量仪器设备。量子磁力计（SQUID/OPM/SERF/NV色心），主要作用为弱磁探测，可以应用在军事国防、地理地质、生物医疗领域。

目前，量子磁场测量的技术路径较多。目前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。

磁力计在全球目前商业化较为成熟的是生物医疗、地磁勘探与物理科研。

03 量子重力测量领域CTF模型

图表 量子重力测量（量子重力仪&量子重力梯度仪）领域CTF模型



iCV TA&K | Version Feb 2024

量子重力测量方面，目前仅有基于冷原子干涉仪技术路径，并且都为绝对测量仪器，该类仪器被国外垄断并且市场成熟，时常搭配相对重力仪使用。目前，美国2家、英国1家、澳大利亚1家、中国2家。量子重力测量仪器的主要参与者包括：AOSense（美国）、M squared（英国）、Atomionics（新加坡）、iXblue（法国）、Muquans（法国，被iXblue收购）、微伽量子（中国）、中科酷原（中国）、国盾量子（中国）、Nomad Atomics（澳大利亚）。

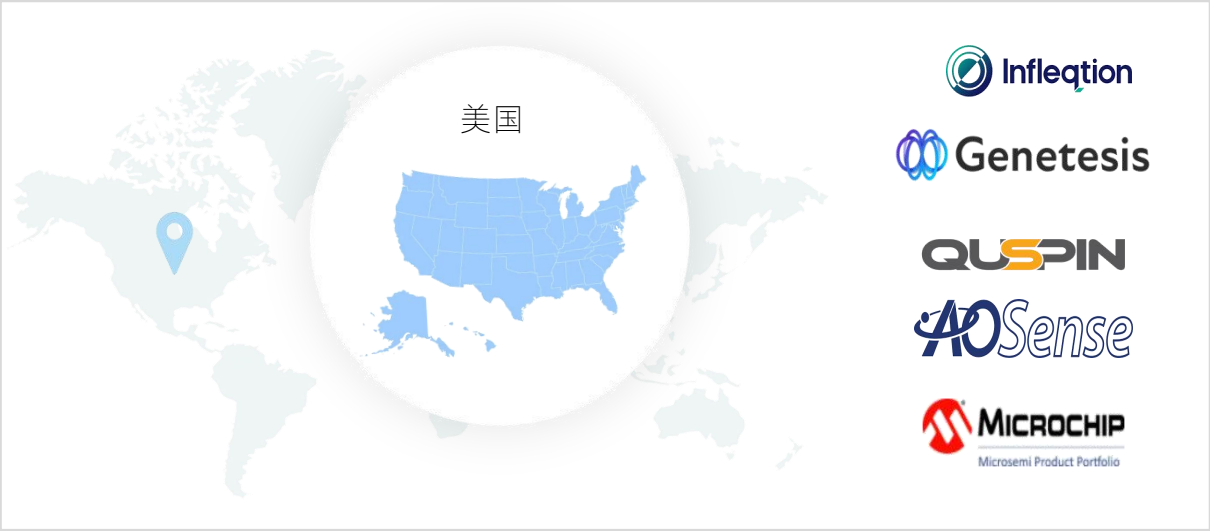
目前，量子重力测量仪器正在完成从实验室至商业化的转型。其中，量子重力仪的主要研究机构已经完成从实验室至商业化的转型，美国、法国、中国、新加坡公司推出各型号的商用量子重力仪。主要为地理地质研究、海洋研究、海上作业、惯性导航、航空器研究等相关的研究所、大学和相关政府单位、企业提供产品与技术。

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。

04 典型企业分析

美国供应商评价

图表 美国量子精密测量整机供应商



iCV TA&K | Version Feb 2024

2023年，Infleqtion通过与科罗拉多大学合作，结合机器学习和量子传感实现了软件配置的量子加速度计，在定位、导航和授时应用中展示了卓越精度。公司的成就包括推动量子射频传感技术过渡到现场应用，开发了首个光学原子钟，超越了当前全球导航卫星系统设备的准确性和可靠性，推出世界首个量子创新平台Oqtant等。

Genetesis, 是生物磁心脏成像领域的领导者，2023年4月，公司宣布其旗舰成像解决方案CardioFlux MCG荣获FDA突破性设备称号。该解决方案能够识别心脏中的心肌缺血情况，尤其在可能患有冠状动脉微血管疾病（CMD）的患者中具有重要应用。该成就标志着在心脏健康领域迈出重要一步，有望提供更早的治疗和诊断选择，特别是针对CMD患者，为该领域带来积极影响。

专注于OPM制造，为生物医学和地球物理应用制造光学原子磁力计。Quspin目标是开发基础科学，以量子实体（如电子自旋）作为信息载体，以根本不同的方式进行信息传输。目前公司的产品（零场磁力计与全场磁力计）已经被广泛应用于各种领域，包括在极弱磁场重大科技基础设施研究院的量子传感与智能传感技术创新中心，以及在医疗领域的癫痫研究。

成立于2004年。公司设计、制造并测试高性能的冷原子传感器，用于惯性导航、时间和频率标准以及重力测量。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。公司与美国宇航局戈达德太空飞行中心密切合作，开发用于精确导航的量子传感器

美国公司，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 中国量子精密测量整机供应商

iCV TA&K | Version Feb 2024

2018年成立，公司专注于高精度量子重力仪的研发、制造和服务，产品广泛应用于地震研究、资源勘探、地质调查等领域。公司自主掌握核心技术，拥有多项发明专利，与高校合作紧密，业务稳定增长。2023年，公司的高精度量子绝对重力测量系统中标浙江省计量科学研究院项目，标志着技术实力和产品质量得到了行业的高度认可。

2019年成立，公司致力于将量子测量技术与工业实际需求结合，专注于量子传感器的研发和应用，实现高端量子传感设备的产业化。公司的远景目标是通过量子测量技术赋能各行各业，助力量子科技科普科教事业发展。2013年11月，国盛量子在福建省泉州市百崎回族乡设立的量子科普展览馆捐赠了“量子磁力传感教学机”产品。此外，公司主导制定的中国首个量子测量领域省级地方标准于2023年11月7日正式实施。

2020年成立，公司业务领域同时覆盖量子精密测量和量子计算，先后承担了国家重大研究计划项目、中科院先导专项等多项量子精密测量和量子计算相关的国家级课题。2023年，公司参与了湖北省楚天凤鸣科创天使基金的签约；与中国地质大学（武汉）数学与物理学院建立了实习实践基地。公司设备在美国举办的ICAG2023国际重力仪比对中，产品指标达到国际领先水平。

2020年成立，公司提供弱磁测量全面解决方案，是中国SERF磁力计技术领先企业。产品可被广泛用于安全检测、生物医疗、军事国防（水下目标探测、高精度量子陀螺导航）、地球物理等领域。2023年，未磁科技正式发布了全球首创的64通道无液氦心磁图仪Miracle MCG® Pro34，为公司在去年获批的中国第一台、全球第二台36通道无液氦心磁图仪。

2004年成立，公司于2015年上市，是量子时钟领域唯一上市公司，由电科10所控股。公司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。2023年，天奥电子与机构客户签订了一份大额铷钟模块订单，总金额约为1亿元。目前公司原子钟产业化项目和时间同步产品产业化项目的建设正在进行收尾工作，产线处于调试和小批量试生产阶段。

图表 欧洲量子精密测量整机供应商

iCV TA&K | Version Feb 2024

Cerca 公司设计、制造并测试高性能的冷原子传感器，用于惯性导航、时间和频率标准以及重力测量。2023年，公司成功开发了世界上首个可穿戴的脑电图扫描仪，该设备可以测量健康和疾病状态下的人脑功能。此外，Cerca Magnetics还荣获了由物理学院量子商业创新和增长小组（qBIG）颁发的首届奖项，该奖项旨在支持量子技术的创新和商业化。

M Squared 的产品包括激光器、显微镜、量子设备和仪器。作为量子传感、计时和计算领域的全球领导者，M Squared 取得了英国首个商用量子重力仪和加速度计等里程碑。2023年，公司研制出了一种用于冷原子传感器的通用激光系统

2023年，公司与CIMAP实验室合作，成功开发了基于掺钕光纤的激光源，用于双光子荧光激发显微镜技术。此外，iXblue还提供掺铒光纤，增强激光雷达应用，并推出全玻璃Er/Yb掺杂光纤，提高系统可靠性。公司的COH 90°光混合解决方案可应用于计量学和医学领域。此外，iXblue还将开发用于空间应用的量子传感器，未来将用于欧洲量子加速测量的冷原子铷干涉仪在轨－探路者任务准备项目。

Oscilloquartz专注于提供高精度、可靠的计时和同步解决方案，以弥补GPS和其他GNSS系统受到干扰和攻击的漏洞。公司的技术包括采用卫星时间和定位（STL）技术的新型计时解决方案，通过双源方法提高安全性和可靠性。目前公司的产品涵盖多个领域，包括生物医学成像、激光雷达应用、量子传感、国家运营商的SDH网络、铁路移动通信系统、数据中心运营商等。

07

产业分析与预测

目录

07
产业分析与预测

01. 量子精密测量全球市场规模预测

02. 量子时钟全球市场规模

03. 量子重力仪&重力梯度仪全球市场规模

04. 量子磁力计全球市场规模

05. 量子雷达全球市场规模

06. 量子加速度计&陀螺仪全球市场规模

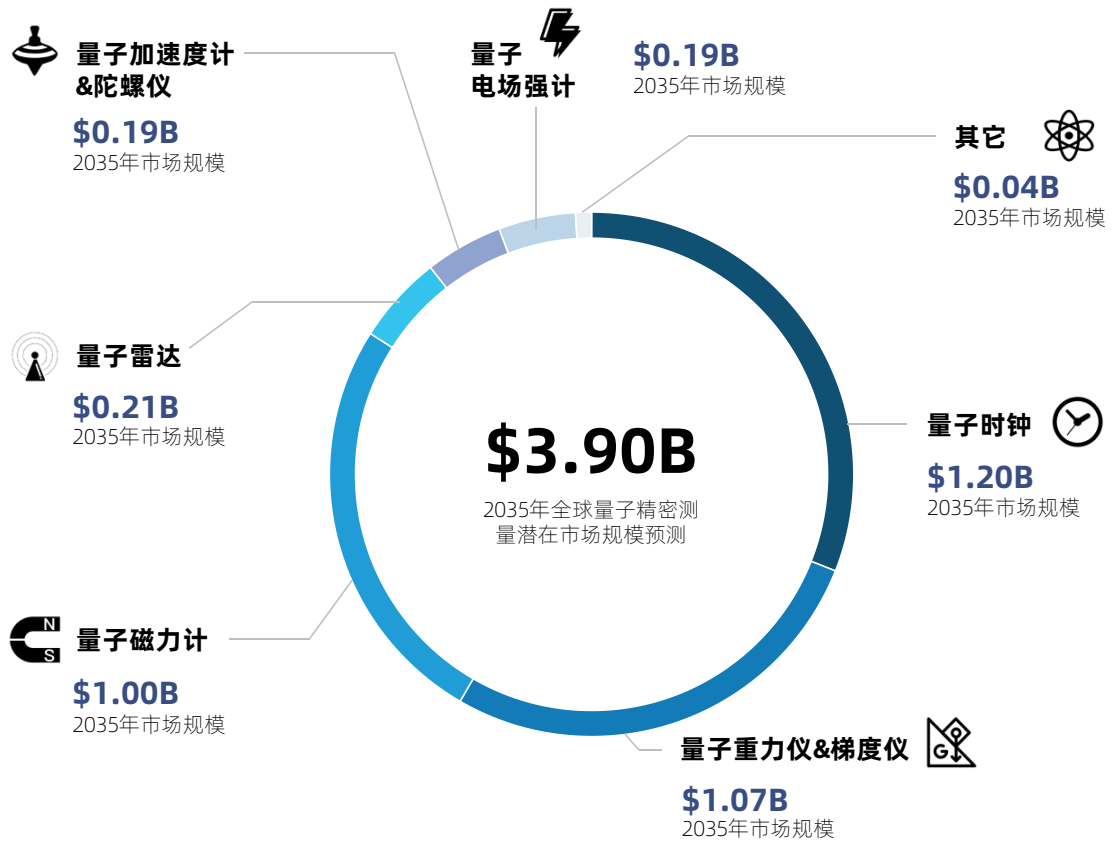
07. 量子场强计全球市场规模

01 量子精密测量全球市场规模预测

市场预期提高

基于对量子时钟、量子重力仪&梯度仪等细分领域的市场规模预期上调，ICV预计全球量子精密市场将从2023年的14.7亿美元增长到2035年的39.0亿美元，呈现不断上升趋势，年复合增长率为7.79%。

图表 量子精密测量全球市场规模预测（单位：十亿美元）



量子磁力计	量子重力仪&梯度仪	量子时钟	量子雷达	量子加速度计&陀螺仪	量子电场强计
整体技术发展较为成熟，市场稳步增长	有望加快对经典重力仪的替代，预计2024年为重要节点	量子时钟整体技术成熟稳定，市场规模逐年上升	量子发射技术未成熟，大规模商业化或在2033年	对比经典设备尚未体现出明显优势,但应用前景较为广阔	技术已成熟，若相关标准制定得当，将会迎来加速增长
5.80%*	15.21%*	5.77%*	3.96%*	6.77%*	21.51%*

ICV TA&K | Version Feb 2024

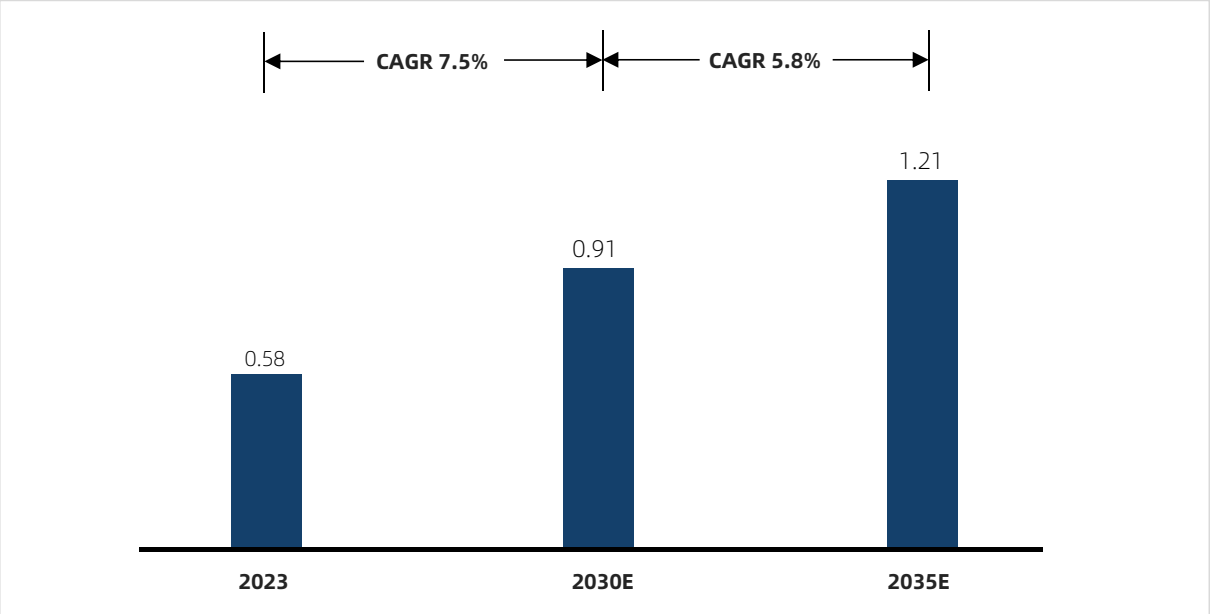
注：*该行数据均为2023-2035年的年平均增长率（CAGR）

02 量子时钟全球市场规模

全球量子时钟市场规模

2023-2035年，量子时钟市场呈现出稳步增长趋势，市场规模从2023年的5.8亿美元增长到12.1亿美元，年复合增长率（CAGR）达到5.77%。

图表 全球量子时钟市场规模（2023-2035，单位：十亿美元）



iCV TA&K | Version Feb 2024

量子时钟作为高精度时间测量的重要工具，在各个领域的应用需求正在不断增加。

随着通信技术，尤其是5G等新兴技术的发展，对高精度同步和时间标准的需求也在逐渐增强。量子时钟在通信领域为数据传输和网络同步提供了关键支持。全球卫星导航系统等导航和定位系统对高精度时间测量的依赖性也在增加，量子时钟的稳定性和准确性使其成为这些系统中的关键组件。

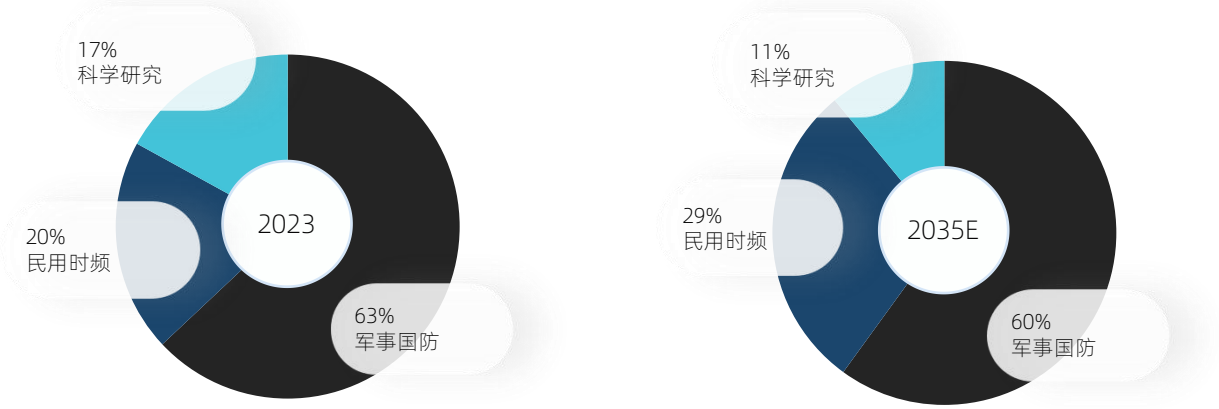
在科学研究领域，对环境变化和气候研究的深入，对时间测量的要求也在不断提高，量子时钟在气象学和地球科学等领域的应用为科学家提供了精准的时间基准。在极端环境下，如太空探索和深海勘探等，量子时钟的稳定性和可靠性备受青睐，为科研和工程提供可靠的时间支持。

以上各领域的需求推动了量子时钟市场的不断扩大。未来，量子时钟技术将不断演进，提高其精度和性能，进一步激发市场需求，推动市场规模的增长。新的应用场景可能不断涌现，如金融、医疗、能源等领域，为市场带来更多增长机遇。

全球量子时钟细分领域市场规模

全球对量子时钟的需求主要由军工部门推动，航空航天是主要的下游应用。近年来，随着移动通信的发展，海事领域规模增加，民用领域市场份额增长较快，市场规模增长较快。

图表 量子时钟主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）

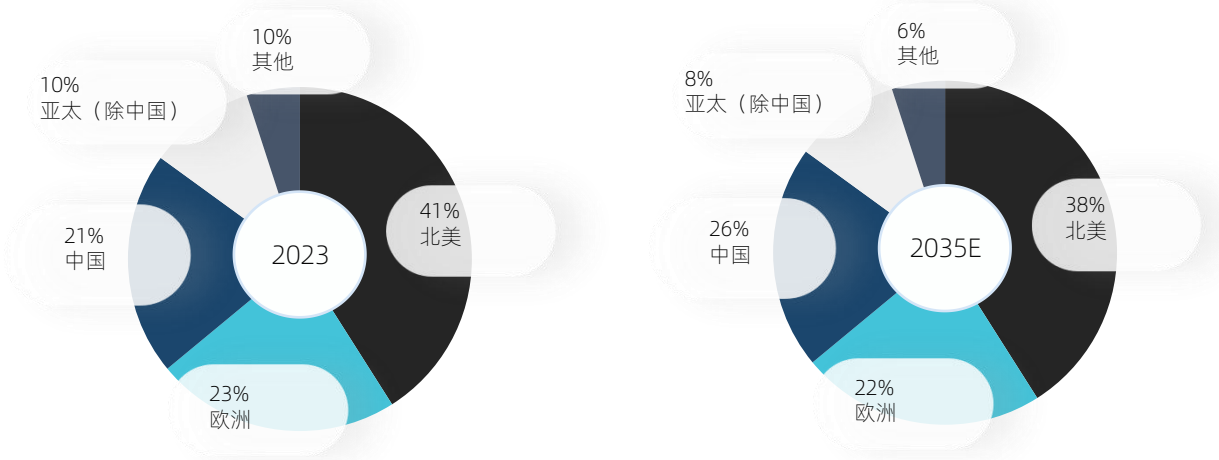


iCV TA&K | Version Feb 2024

在2023年，量子时钟的应用主要集中在军事领域，占据了约63%的市场份额。然而，根据ICV的预测，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，民用领域的市场份额将达到29%。

此外，随着量子时钟技术的成熟，其在金融、疗、能源等领域的应用也将逐渐增多。在金融领域，高精度的时间测量可以用于同步全球的交易系统，提高交易的效率和安全性。在医疗领域，精确的时间测量可以用于同步医疗设备，提高诊断和治疗的准确性。在能源领域，精确的时间测量可以用于优化能源分配和使用，提高能源效率。

图表 量子时钟主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

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10%及其他地区5%，相对较少，还有很大的发展潜力。目前各国都在大力发展量子时钟，到2035年，份额变化不大。

03 量子重力仪&重力梯度仪全球市场规模

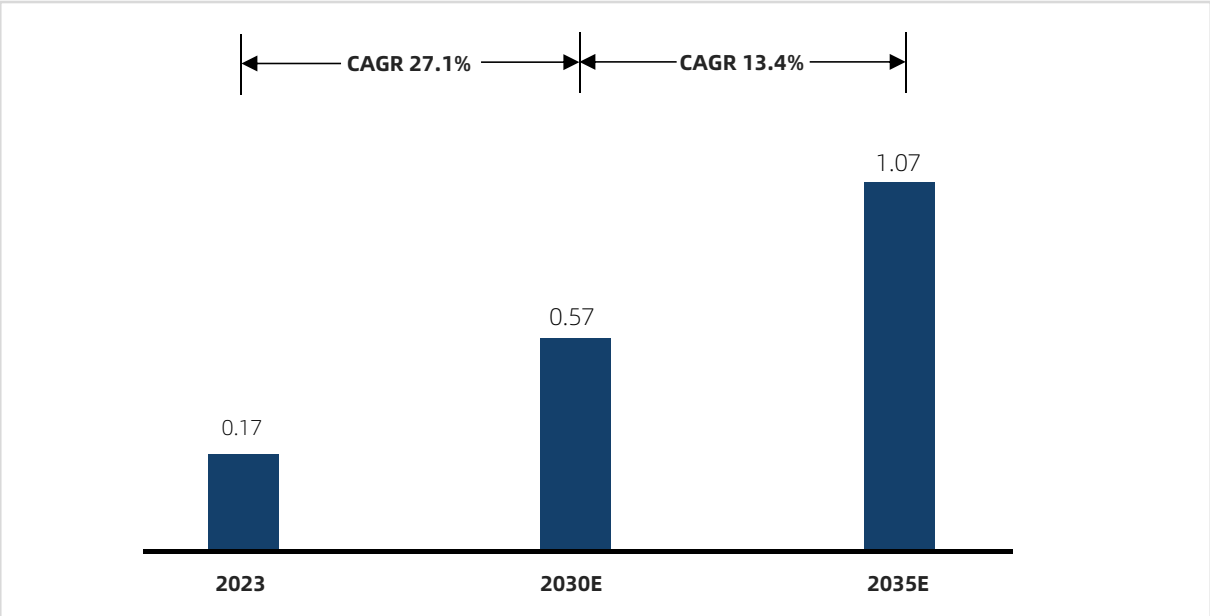
全球量子重力仪&重力梯度仪市场规模

随着科学研究和工程应用对重力场和重力梯度的精确测量需求不断提高，量子重力仪和量子重力梯度仪凭借其高动态场景可靠性、无漂移等优势在地质勘探、油气勘探等领域得到了广泛应用。

随着量子重力测量设备性能的不断提升，市场逐渐看到其替代传统经典重力仪的潜力。其更高的灵敏度和抗干扰能力使其在复杂地质环境中更具优势。此外，高度集成的量子传感器系统不仅提高了测量的准确性，还拓展了适用的工作环境，包括极端条件下的应用。预计在未来几年将进一步取代经典相对重力仪设备。

ICV预计，量子重力仪和量子重力梯度仪市场将呈现强劲的增长态势。市场规模从2023年的1.7亿美元迅速增长至2035年的10.7亿美元，年复合增长率达15.21%，彰显了该领域的巨大潜力。

图表 量子重力仪&重力梯度仪市场规模（2023-2035，单位：十亿美元）



ICV TA&K | Version Feb 2024

受到技术创新、市场认知提高以及更多行业对高精度测量需求的驱动，ICV预计2027年将是量子重力仪和量子重力梯度仪市场的关键节点。在这一年，市场规模预计将显著增长，超越传统仪器，并加速对经典重力仪的替代。

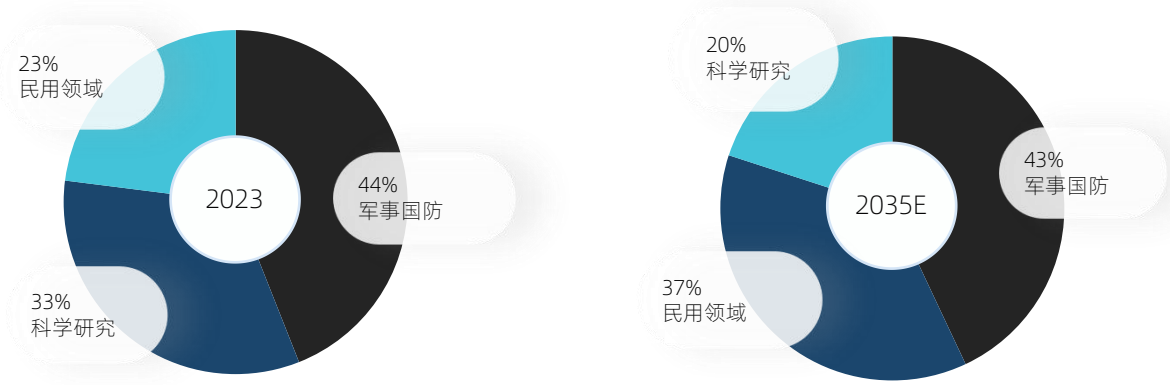
未来，随着量子重力仪和量子重力梯度仪技术的成熟，其在地球科学、资源勘探、环境监测等领域的应用将进一步扩大，为市场注入新的增长动力。

随着量子技术的不断创新，未来几年内可能会涌现更先进、更高性能的量子重力仪和量子重力梯度仪，进一步推动市场的发展。

全球量子重力仪&重力梯度仪市场规模

未来量子重力测量仪器市场将更多向民用领域转化，特别是在油气勘探领域。竞争激烈，企业需要在技术创新、市场推广和成本效益等方面保持竞争力，以抢占未来增长机会。

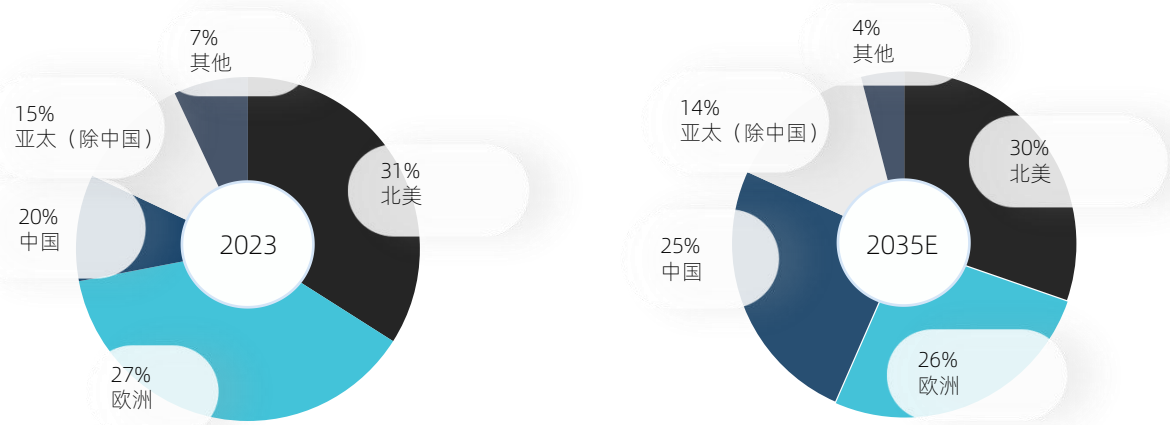
图表 量子重力仪&重力梯度仪主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

量子重力仪与梯度仪主要被用于军事领域， ICV预计，2023年军事国防占据了44%的市场份额。其次是研究领域，占据了33%的份额，而与油气勘探相关的民用市场则占据了23%的份额。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，而民用市场的份额相对较小。但随着技术的不断成熟以及下游应用市场的不断拓展，产品的价格和性能将发挥关键作用，尤其是在民用市场。未来民用领域的量子重力/重力梯度仪将占据37%的市场份额。

图表量子重力仪&重力梯度仪主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

当前市场份额主要集中在美国和亚太地区，分别占据31%和35%的份额。用途主要包括地质勘探和科学研究等领域。ICV预计，到2035年，中国的份额将上升至25%，显示出在未来几年内，中国将成为量子重力测量仪器市场的主要增长驱动力。

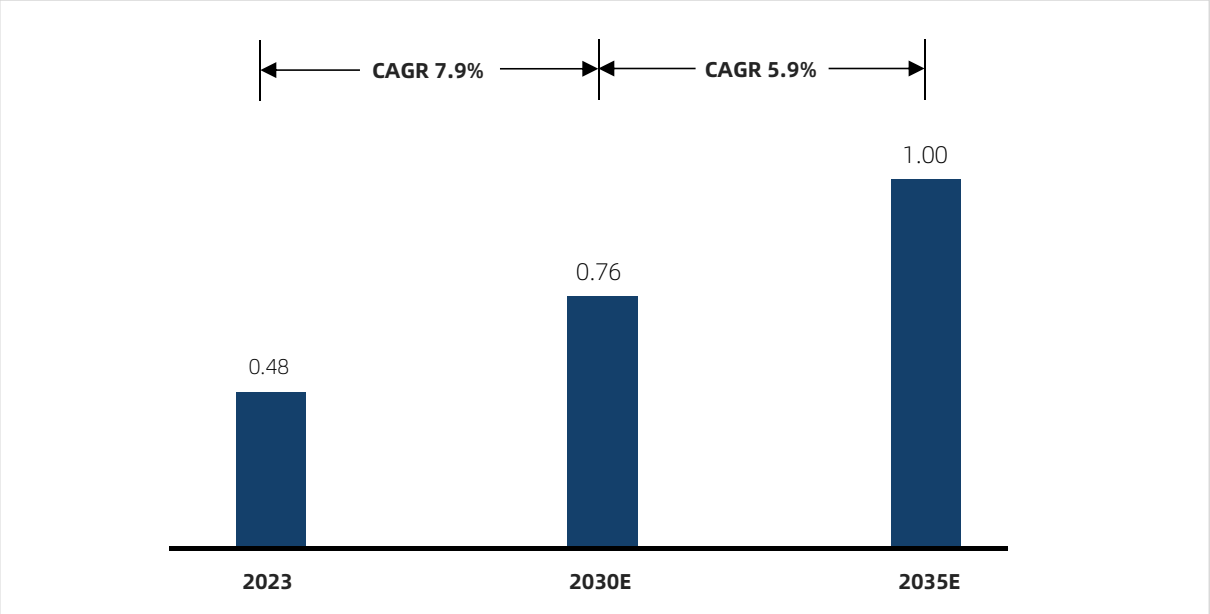
04 量子磁力计全球市场规模

全球量子磁力计市场规模

量子磁力计在科学研究中的应用日益广泛，尤其在物理学、地球科学和生物医学领域。同时，在工业领域，量子磁力计广泛应用于磁性材料测试、电子制造等。这些应用的拓展进一步推动了市场规模的增长。

量子磁力计市场在2023-2035年中，呈现出稳步增长态势，从2023年的4.8亿美元增长至2035年的10.0亿美元，这一增长趋势主要受到科学研究、工业领域和其他领域对高精度磁力测量的不断需求推动。

图表 量子磁力计市场规模（2023-2035，单位：十亿美元）



iCV TA&K | Version Feb 2024

量子磁力计的高精度和灵敏度使其成为新材料研发领域的重要工具。在新能源材料、磁性材料等领域，科学家们需要准确测量磁场特性，以促进新材料的创新和开发。而随着新材料需求的增加，量子磁力计将在这一领域获得更多关注。

地质勘探是量子磁力计在民用领域的一大亮点，尤其是在探测矿产、石油和天然气储量方面，未来将成为未来量子磁力计市场增长的重要推动力。

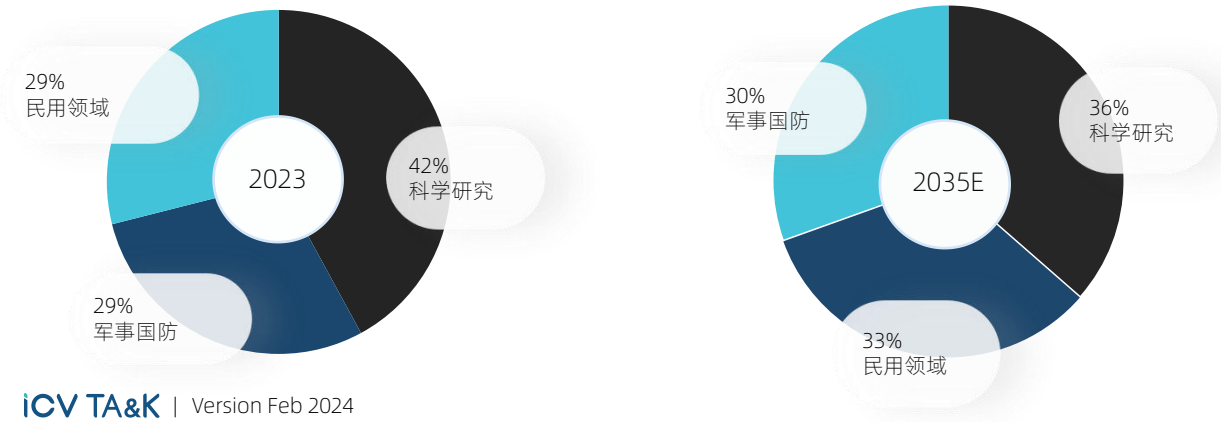
在医学影像领域，量子磁力计的高精度磁场测量能力可用于生物磁场成像，为神经科学和脑科研究提供更详细的数据。这将推动医学影像技术向更高水平发展，为临床医学提供更准确的诊断手段。

此外，随着量子技术的不断创新，未来量子磁力计有望推出更加先进、便携和高效的产品，进一步拓展其应用领域，包括无人机磁场测量、移动磁场监测等，为用户提供更便捷的解决方案。

全球量子磁力计细分领域市场规模

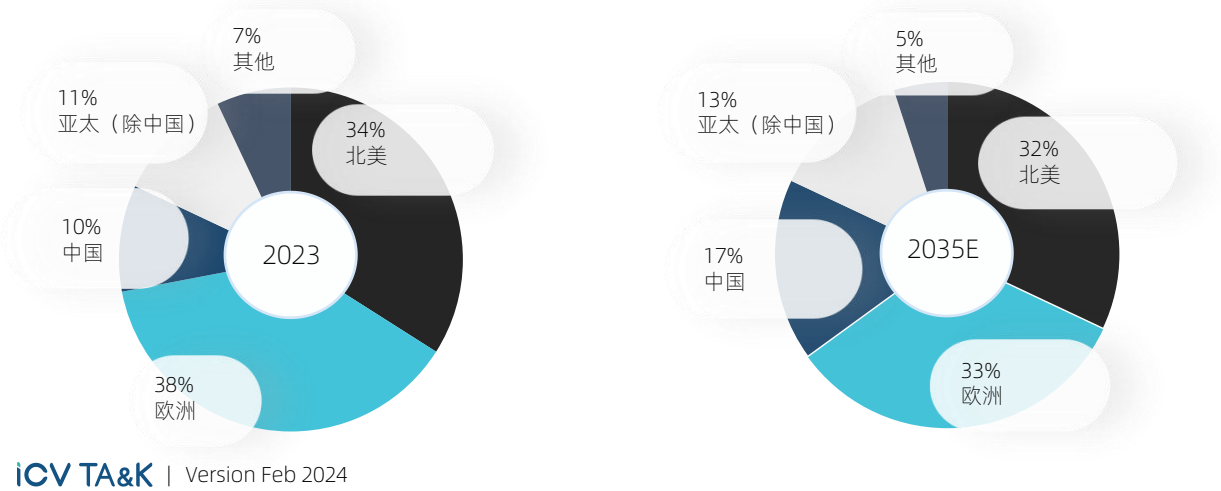
全球磁力计市场的竞争格局受到地区科研实力和技术创新的影响。欧美地区的成熟技术和产业链带动了市场的集中度。亚太地区通过加大对新型磁力计的研发力度，有望在未来取得更大的市场份额。

图表 量子磁力计主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



在未来趋势上，光钟和分子钟的进一步研究会加大基础研究的市场。但民用5G及信息社会的基础建设会使民用领域的时间时频市场得到更快速的增长。未来量子时钟可能会诞生更多的应用领域，例如通过不同高度的微小时间差来判断海拔等应用。北美地区量子时钟可能因为发展相对

图表 量子磁力计主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



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，目前欧洲和北美地区共占据市场份额的2/3以上。亚太地区在未来有望加大对新型量子磁力计的研发力度。特别是在OPM（光学磁力计）和NV色心磁力计等领域，亚太地区有望抢占一部分市场份额。预计到2035年，亚太市场的份额将扩大到约30%，其中中国约占17%。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。

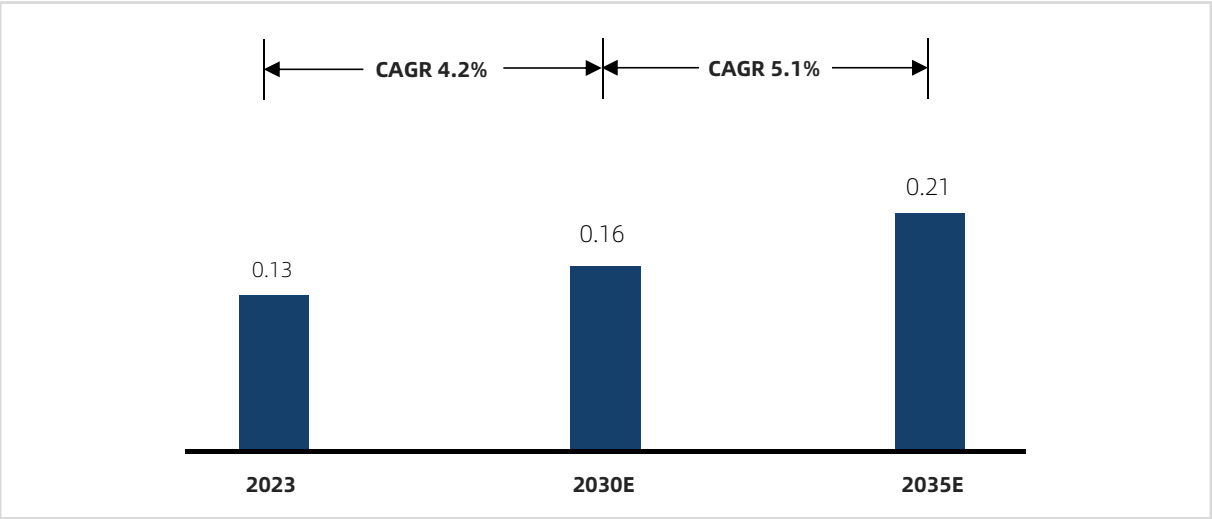
05 量子雷达全球市场规模

全球量子雷达市场规模

随着技术的不断创新和市场需求的增长，量子雷达作为一项先进的测量技术在未来的市场中有望发挥重要作用。在军事国防领域，量子雷达的高灵敏度和高分辨率使其成为监测、追踪和识别目标的理想选择。同时，科学研究领域也对其在探测远距离和微小变化方面的独特能力表现出了浓厚兴趣。

根据最新的市场数据，ICV预计量子雷达在全球市场的份额将逐年增长，预计在2035年，将达到2.1亿美元的市场规模。

图表 量子雷达市场规模（2023-2035，单位：十亿美元）



ICV TA&K | Version Feb 2024

当前市场上的部分经典雷达系统已经采用了各类增强技术，这在某种程度上减缓了量子雷达的市场渗透率。目前传统雷达系统在性能上已经相当成熟，并且在成本效益方面可能仍具有竞争优势。而量子雷达技术的全面应用，特别是实现量子发射的难度，可能需要更多的研发时间和投资。这使得在短期内，部分量子雷达在成本上并未明显领先，限制了其在市场中的广泛应用。

其次，市场份额相对较小也可能与市场对量子技术的接受度和理解度有关。量子雷达作为一项先进的测量技术，其原理和优势可能需要更多时间被广泛认知和接受。

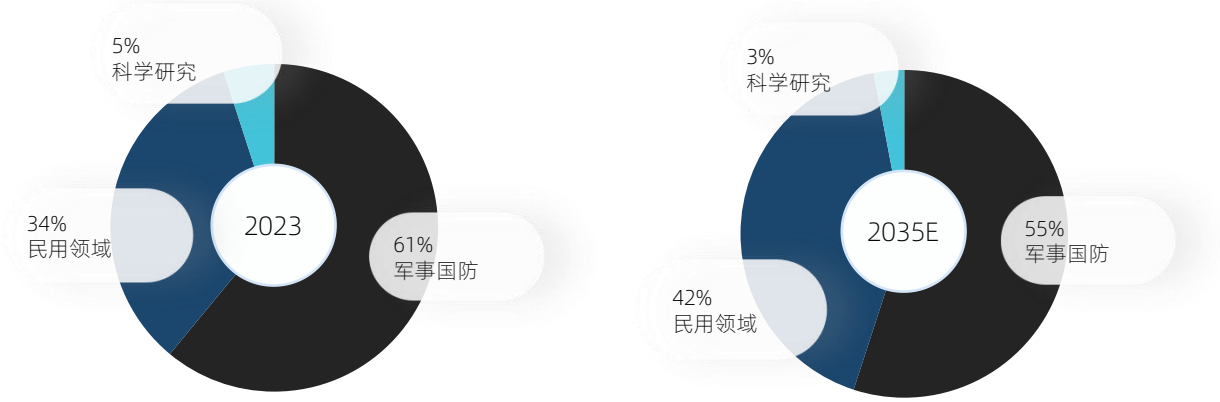
此外，与其他量子技术相比，量子雷达可能面临更为严格的技术难题，如实现量子发射。这些挑战可能需要更多的研发和创新，导致技术商业化进程相对较慢。

尽管如此，未来的市场前景仍然充满希望。通过不断优化性能、解决技术难题、提高认知度以及降低成本，量子雷达有望在未来几年内实现更大规模的市场渗透。在这个过程中，技术开发者、政府、学术界和产业链上的各方都将发挥关键作用，共同推动量子雷达技术的商业化和产业化。

全球量子雷达细分领域市场规模

军事国防领域一直是量子雷达应用的主要推动力，其对高灵敏度和高分辨率的需求促使了量子雷达技术的快速发展。北美一直在军事技术和创新方面处于领先地位，而中国则在科研和商业领域逐渐崭露头角，在一定程度上影响了全球量子雷达的分布。

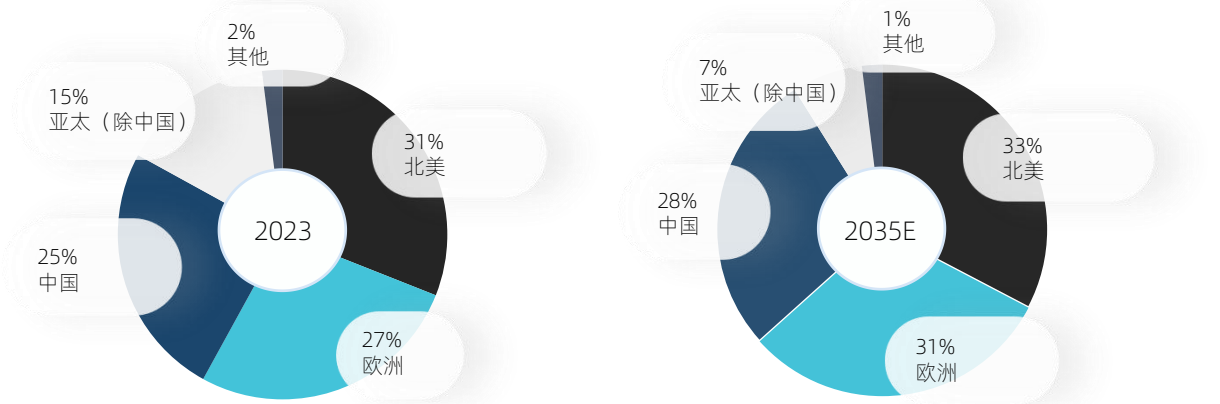
图表 量子雷达主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

从应用市场角度来看，量子雷达在军事国防领域占据绝对主导地位。2023年军事国防市场份额分别为61%和55%，这表明量子雷达在军事领域具有极高的应用需求和优势。军事应用中，量子雷达的高灵敏度和高分辨率能力使其成为目标监测、追踪和识别的理想选择，进而在战术和战略层面上发挥重要作用。民用领域也是量子雷达市创新方面处于领先地位，而中国则在科研和商业领域逐渐崭露头角，在一定程度上影响了全球量子雷达的分布。

图表 量子雷达主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

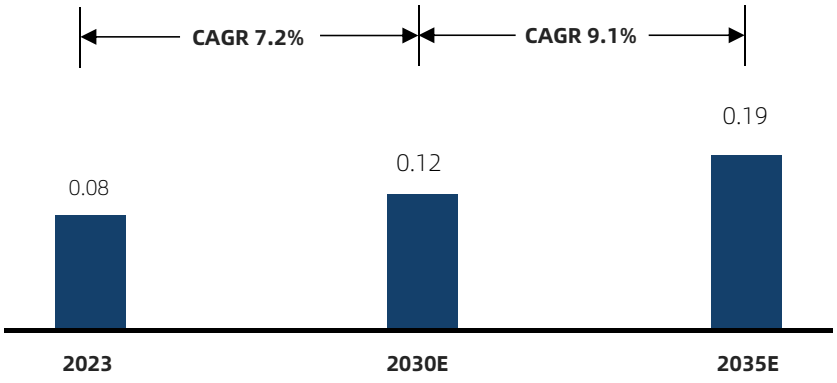
在地区分布方面，北美一直是量子雷达应用市场的主要地区，但2023年时其份额从31%上升至33%。这可能反映了北美国防和科研领域对量子雷达的强烈兴趣，以及在民用领域的一些新的应用场景。与此同时，中国的份额从25%上升至28%，显示了亚太地区在量子雷达市场上的增长潜力。

06 量子加速度计&陀螺仪全球市场规模

全球量子加速度计&陀螺仪市场规模

随着技术水平的不断进步，量子加速度计&陀螺仪在全球市场呈现出稳步增长势头。从2023年到2035年的数据来看，该市场年复合增长率（CAGR）为6.77%。其中2023年市场规模为0.65亿美元，而到2035年预计将达到1.87亿美元，整体市场规模将翻近三倍。

图表 量子加速度计&陀螺仪市场规模（2023-2035，单位：十亿美元）



iCV TA&K | Version Feb 2024

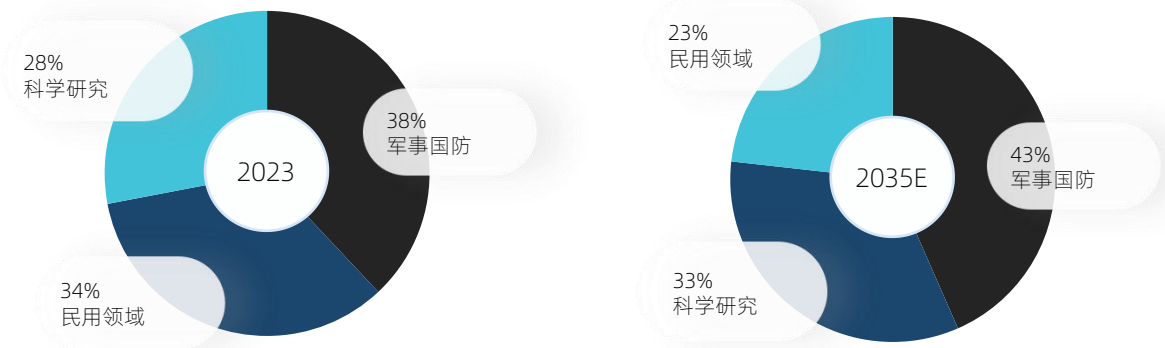
这一增长主要受到多个因素的推动。首先，随着科学研究、导航、工业自动化等领域对高精度、高稳定性传感器的需求不断增加，量子加速度计&陀螺仪作为其关键组成部分之一，得到了广泛的关注。其次，技术的不断创新和升级，使得量子加速度计&陀螺仪在极端环境下表现出色，满足了一系列特殊场景的需求，如航空航天和军事应用。

未来，随着全球产业链的不断完善，量子加速度计&陀螺仪有望在更广泛的领域得到应用，包括但不限于自动驾驶、智能交通、虚拟现实等。随着市场认知的提高和成本的降低，量子加速度计&陀螺仪作为关键的先进传感器技术，将在未来几年内持续发挥其不可替代的作用，为全球科技进步和产业升级做出积极贡献。

全球量子加速度计&陀螺仪细分领域市场规模

全球各地的市场份额分布反映了不同地区在军事、民用和科学领域的需求差异，不同领域和地区的需求形成了一个多层次、多元化的市场格局。

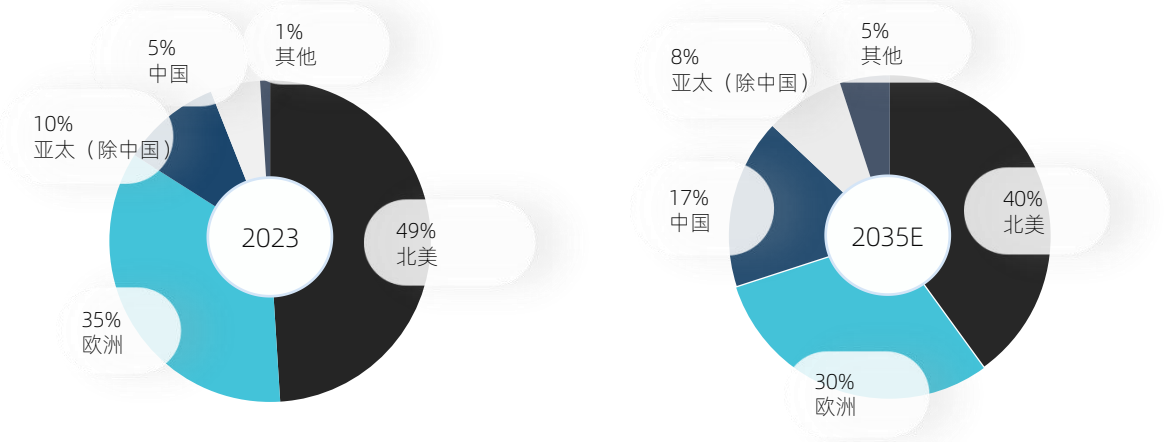
图表 量子加速度计&陀螺仪主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

从应用领域来看，军事国防一直是量子加速度计&陀螺仪的主要应用领域之一，其市场份额在2023年达到了显著的38%和43%。这得益于这一技术在导弹制导、飞行器稳定等军事应用中的卓越性能。同时，民用领域和科学领域也各自占据34%和33%，以及23%和23%的市场份额。这表明量子加速度计&陀螺仪已经在民用和科学领域取得了广泛应用，尤其在高精度导航、工业自动化和科学研究等方面。

图表 量子加速度计&陀螺仪主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

在地区分布上，北美一直是最主要的市场，其市场份额在2023年分别为49%和40%。这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，其市场份额分别为35%和30%。中国在这一领域的市场份额逐渐增长，从2023年的5%上升到17%，显示出中国在量子技术应用上的迅速崛起。亚太地区（除中国）和其他地区则占据了相对较小的市场份额。

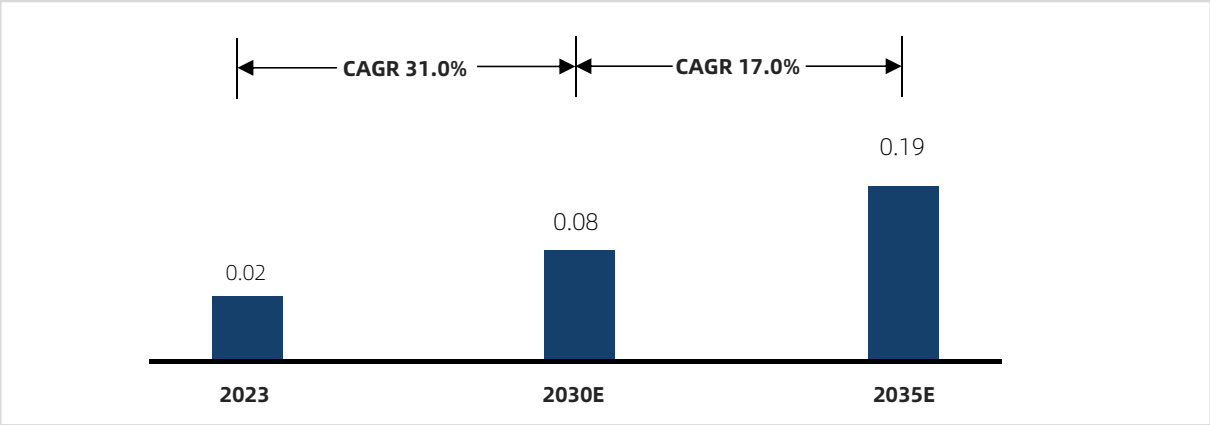
07 量子电场强计全球市场规模

全球量子电场强计市场规模

量子电场计呈现出明显的市场增长趋势和潜力。尽管在2023年，其市场规模相对较小，仅为0.21亿美元，但预计在2035年将达到1.85亿美元，CAGR高达21.51%。

尽管目前市场规模相对较小，但未来，受到里德堡原子场强计技术不断创新和提升的推动，未来量子电场计将在科学研究、材料科学和能源电力等领域得到广泛应用，并且有望成为量子精密测量技术领域的一个重要增长点。

图表 全球量子电场强计市场规模（2023-2035，单位：十亿美元）



iCV TA&K | Version Feb 2024

从技术优势角度来看，里德堡原子场强计拥有可重复、精确和稳定的特点，这使其在电场测量领域具有独特的竞争优势，为科学家们提供了深入研究电场对物质微观影响的有力工具。

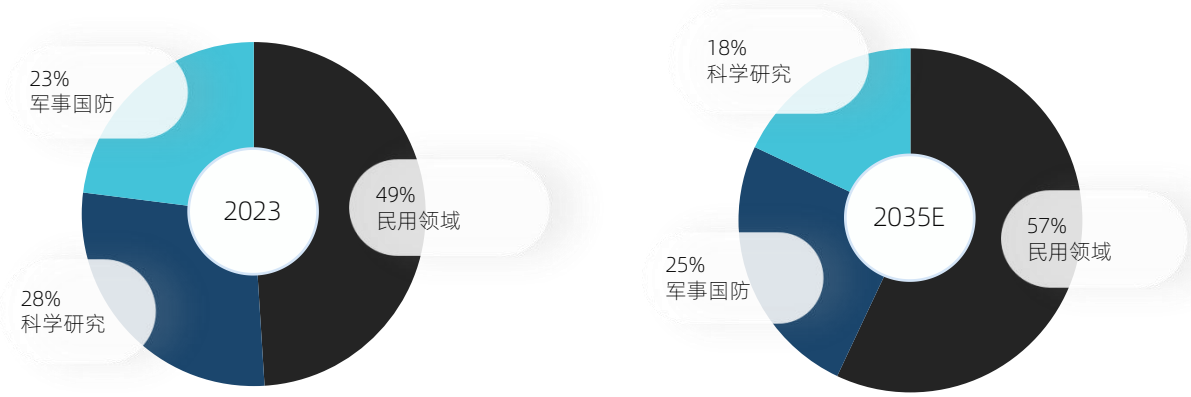
尽管市场前景看好，但里德堡原子电场强计技术目前仍缺乏相关行业标准，可能导致市场对于新技术的接受程度不一，限制了其在更广泛领域的应用，并对其进一步渗透市场和发展构成挑战。

未来，通过与行业密切合作，与行业标准制定的不断推进，里德堡原子电场计有望进一步提高其技术在市场中的认可度。同时，标准化也有助于规范市场行为，降低市场准入门槛，为里德堡原子电场强计技术，创造更加稳定和可预测的发展环境。未来随着标准的逐步完善，里德堡原子路线有望在量子电场计领域更广泛地发挥其技术优势，推动整个行业的进一步繁荣。

全球量子电场强计细分领域市场规模

量子电场强计的市场态势受到了不同领域需求和地区竞争格局影响。军事国防、民用和科学领域的差异化需求推动了市场份额的波动，在市场动态中发挥了关键作用。

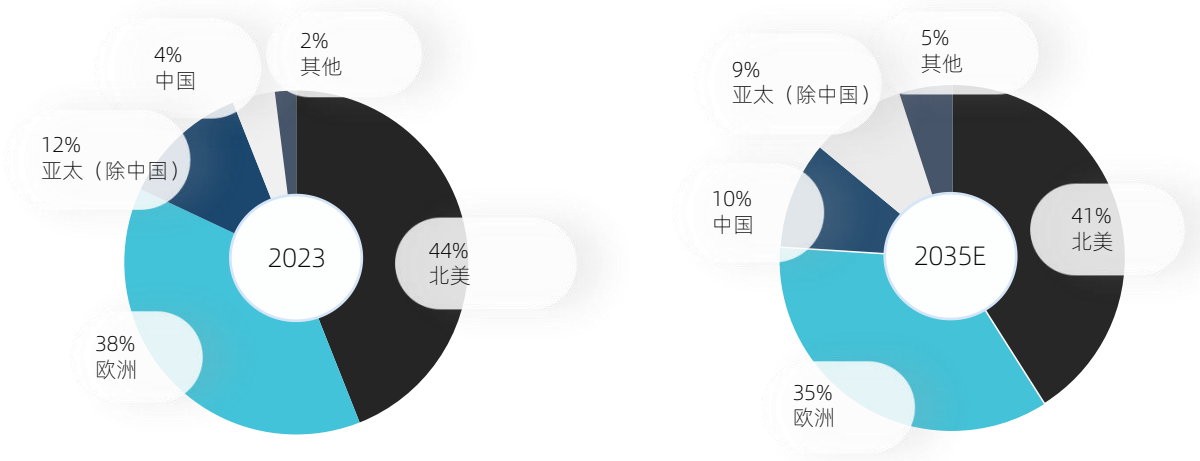
图表 量子电场强计主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

军事国防方面，2023年防占比为23%，到2035年时增至25%，整体增速相对较慢。表明量子电场强计的军事需求的相对稳定性。量子电场强计高带宽和灵敏度等性能使其在民用领域更容易得到接受，推动了市场份额的增长，即民用领域在同一时期内市场份额从49%增至57%。科学领域在这一时期的市场份额从28%下降至18%。

图表 量子电场强计主要应用领域份额及民营领域细分领域份额（单位：%）



iCV TA&K | Version Feb 2024

从地区分布来看，北美一直保持着较大的市场份额，且市场份额在2023年为44%，而2035年时略有下降至41%。表明北美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。欧洲市场份额在2023年与2035年分别为38%和35%，仅略有下降，依旧保持优势。

08

产业展望

目录 08 产业展望

01.量子时频测量

02.量子磁场测量

03.量子重力测量

04.量子惯性测量

05.量子目标识别

06.量子电场测量

07. 软件算法平台

01 量子时频测量

原子钟将朝着高性能、自主化、低功耗、便携式的方向发展

原子钟技术已在实验室和商业应用中积累了丰富的使用场景，未来的发展趋势一方面是进一步提高频率稳定性和延长保持时间，以满足不同领域对更高精度和更长时间同步的需求。另一方面，在面对全球导航卫星系统（GNSS）漏洞和网络攻击的时候，原子钟技术的自主可靠性和安全性将成为关键的发展方向。

2023年，美国Microchip推出了MAC-SA5X微型铷原子钟。与上一代产品相比， MAC-SA5X的体积更小，功耗更低。MAC-SA5X 能够在 -40°C 至 75°C 的温度范围内工作，锁定时间快，原子稳定性高，因此非常适合在极端天气条件下或无法安装大型机架时钟时需要精确授时的应用。MAC-SA5X 还集成了一个每秒 1 个脉冲 （1PPS） 的输入引脚，用于快速频率校准，为系统开发人员节省了时间和开发成本。

瑞士Adtran Oscilloquartz与美国Satelles合作推出的Satellite Time and Location（STL） 技术，利用低地球轨道（LEO）卫星传输加密信号，提供精确、可靠且安全的时间和位置信息，弥补了GNSS系统的不足。STL技术的引入为关键基础设施的运营商提供了一种保障定时网络安全的选择，具有更高的自主可靠性和安全性。

光钟是下一代时频测量产品

铷、铯钟是目前最常用的原子钟技术，它们利用原子的微波跃迁频率来计量时间。但是，微波跃迁频率受到外界环境的干扰，导致原子钟的精度和稳定性有限。光钟是利用频率在光学波段的原子跃迁，它比微波跃迁频率高4到5个数量级，因此可以达到比微波钟更高的精度和稳定性。

2023年，中国国家授时中心研制成功研制出锶原子光钟，并通过将其输出频率溯源至国际原子时，实现了在现行时间单位秒定义下的绝对频率测量。目前，该研究成果已经得到国际认可，相关数据被上报给国际时间频率咨询委员会频率标准工作组。

作为目前最先进和最高精度的技术路线，目前虽然相较于其它原子钟，光钟的市场规模还相对较小，但具有更高的发展上限。未来，光钟有望成为重新定义秒的基础，并在更广泛领域的应用中发挥更大作用。

02 量子磁场测量

量子磁力计技术路线发展将保持百花齐放的态势

目前，原子（SERF等）、固态自旋（金刚石NV色心等）、超导（SQUID等）体系在不同领域均展示出了自己独特的优势，适用于不同的应用场景。例如超导量子传感器，其在测量极弱磁场方面表现出色，被广泛应用于地质勘探、医学诊断等领域。金刚石NV色心磁力计的特点是无需低温冷却即可保证高灵敏度以及良好的生物相容性，其生物信号成像在理论上接近光学衍射极限，具有极优的空间分辨率且具有工作温度范围广、分辨率高等优点， 因此被广泛应用在心磁图、脑磁图以及对生物大分子的科学研究中。金刚石NV色心传感器近些年发展较快，正在更多领域中得到应用。

目前，基于单 NV 色心的磁测量技术在灵敏度指标上己经实现了纳米尺度分辨率，以及可测得单核自旋的灵敏度。在应用方面，基于系综 NV 色心的磁力计己测得了蠕虫神经元产生的磁信号、涡流成像、古地磁学中的矿石检测等。

量子磁力计将继续保持多元化的发展趋势，为不同行业与场景提供定制化解决方案。

量子磁力计将继续追求更高灵敏度、带宽和分辨率的产品性能指标

量子磁场传感器的关键性能指标主要包括传感器的灵敏度、带宽和分辨率等。例如，通过改进量子态的制备技术和测量方法，可以提高传感器的灵敏度，使其能够探测到更微弱的信号；同时，优化传感器的信号处理算法和硬件结构，可以提高传感器的带宽和分辨率，使其能够更准确地识别和分析信号。这些努力将使量子传感器在科学研究、工业生产等领域发挥更重要的作用。

美国SandboxAQ利用量子传感器对地球磁场进行高度敏感的测量，以提供不间断的导航。该系统捕捉来自地球磁场的信号，作为一个不可改变的地球“指纹”，并将信号与现有的地图数据进行比较，以提高整体位置的精确度。美国Genetesis 的 CardioFlux MCG采用了SERF磁力计来识别心脏中的心肌缺血情况，特别是冠状动脉微血管疾病（CMD）。

小型化、低功耗、高性价比是未来量子磁力计的另一重要发展方向

随着技术的不断进步，量子磁力计的体积、功耗、价格将越来越低，并向着芯片化方向发展。此外，各家机构将更注重整合不同类型的磁力计技术，使其能够集成到一起，从而为用户提供更全面的信息以及更多角度的数据，拓宽应用范围。例如在科学研究领域，量子磁力计可以帮助科学家探索更深层次的物理规律；在国防安全领域，量子磁力计可以用于精密导航和联合定位；而在电力能源领域，在电力领域，量子磁力计可对电力设备的无损检测和故障定位。

量子磁力计推动计量溯源模式变革，将对计量领域产生深远影响

量子传感器的可远程溯源性是其与传统传感器最大的区别之一。传统传感器挂网后需要通过逐级量尺的模式来保证量值的可靠性，而量子传感器可以通过远程溯源的方式进行校准。这种扁平化溯源模式有望成为未来国际量子化变革的一部分。

目前，国际量子化变革的未来发展主要包括两个方面。第一是量值标准的量子化，即将第一个标准用量子化的方式来进行替代。第二是量值传递的扁平化，而远程溯源则属于中间过渡阶段的一种模式。在这一发展过程中，远程溯源、远程校准等已经成为探索性研究的方向。例如，量子的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。

03 量子重力测量

重力仪未来的发展方向会偏向小型化或者低成本，当前需要进一步拓宽应用场景，充分发挥其在动态测量方面的优势

随着技术的不断进步，未来量子重力仪有望实现更小型化，使得其更加适用于不同领域和应用场景，从而拓宽其应用范围。并且通过小型化，量子重力仪可以更灵活地集成到各类设备中，实现更广泛的动态测量需求，例如在工业自动化、建筑监测等移动场景中的应用。法国iXblue在CARIOQA-PMP项目中利用原子冷却激光系统开发用于空间应用的量子传感器，可用于监测地球质量分布变化等气候变化相关的重要信息，为科学家和决策者提供了更准确的数据支持。

除此之外，降低成本也是未来重力仪发展的重要方向。澳大利亚Q-CTRL公司展示最新的量子重力仪原型机。公司建立一种通过重力和磁力观察地球的全新方式，利用小型低成本卫星开发持久的近地观测能力。公司已经得到CRC-P项目的支持，未来将交付用于空天领域。通过降低制造成本，使得更多领域和行业能够承担得起这一技术的应用。这将进一步推动重力仪在市场上的普及和应用，为更多行业提供高质量的动态测量解决方案。

量子重力仪的操作方式将更加用户友好

量子重力仪有望采用先进的数据处理算法和人工智能技术，以更有效地分析和解释测量数据。这将提高仪器的自动化水平，降低操作复杂度，使得仪器更容易被广泛应用于不同领域。这将有助于降低使用门槛，使得非专业人士也能够轻松操作和获取高质量的测量数据。

Q-CTRL通过软件技术，使得量子重力仪可以更自然地处理数据，因为它们的信号来源于物理学的基本定律，而不是现有的机械或电气系统，这些系统会随着时间的推移或在不同工作条件下退化。这种更可靠的输出意味着即使在挑战性的场地环境中，比如受到强烈振动影响的移动平台，量子重力传感器也能保持优势。

此外，通过简化仪器的操作界面、提供用户友好的软件接口等方式，量子重力仪将更容易被推广，进一步推动量子重力仪在更多实际场景下的应用拓展。

04 量子惯性测量

冷原子干涉加速度计与陀螺仪为下一代惯性导航的核心传感器

针对冷原子干涉加速度计，未来的发展方向之一是解决"死时间"问题，即在快速加速或急剧变化的情况下，仪器可能出现无法响应的情况。提高设备可用性将成为重要目标，确保在各种实际应用场景中保持高效、准确的感知和输出。

冷原子干涉陀螺仪将更加注重实现对三轴加速度的测量。这不仅可以提高导航系统对运动状态的感知，还有助于更全面地理解加速度场的变化，提升整体系统性能。

未来的发展方向还包括提高整体系统性能，通过优化仪器的各个组成部分，整合先进的控制算法，提高抗干扰能力和稳定性，从而满足不同应用场景下对高精度和高稳定性的需求。

陀螺仪将不断向着高精度、高可靠性、小型化、低成本等方向迈进

在高精度方向上，核磁共振陀螺仪通过自校准方法提高了偏置稳定性，NV色心陀螺仪的金刚石纳米锥结构有望影响微纳光学设计，提高整体系统性能。并且通过改进量子态的控制和测量技术，优化陀螺仪的核心部件，陀螺仪在导航、航天等领域中的性能将发挥更大的作用。未来，研究机构将继续致力于提高陀螺仪的精度，以满足更为精细和复杂的导航和授时应用需求。

在高可靠性和小型化、低成本方向上，针对陀螺仪，技术路线评估表明，整体系统性能的提升是未来关键任务之一。工程化应用和三轴加速度测量等技术研究，促进陀螺仪在微纳尺度的应用，如无人机和移动设备等，同时提高其在商业应用中的可行性。为了解决偏置稳定性问题，未来可能会引入新型材料或结构设计，使陀螺仪更适应复杂和高加速度的环境，更广泛地应用于实际工程场景，包括航天导航、高速交通工具、精密仪器等领域，并不断推动陀螺仪技术的不断升级和改进。

05 量子目标识别

量子雷达在中短期内将会以“经典 - 量子双通道”的系统形态出现

在保持当前经典雷达的应用场景和技术能力条件下，利用量子通道的高精度和高灵敏度特性，提高雷达性能。双通道系统形态使得量子雷达能够更好地适应各种复杂环境和极端天气条件。通过经典雷达提供的稳健性和量子雷达的高灵敏度，系统在恶劣条件下依然能够保持高效稳定的性能。双通道系统形态的采用将允许雷达系统在综合考虑雷达动态范围、灵敏度和带宽等综合因素的基础上，实现更为全面的性能提升。这将有助于解决量子雷达技术在探测多样性目标时面临的挑战。

里德堡原子天线将朝着高灵敏度、宽频带及高瞬时带宽、多阵列探测方向发展

里德堡原子天线的应用可以提高量子雷达在微波频率范围内的灵敏度，使其更为敏感地探测微弱信号。这对于军事、通信系统和天文学观测等领域的应用具有重要意义。未来的里德堡原子天线将追求更宽的频带和更高的瞬时带宽，以适应不同频率和时间尺度上的信号探测需求。这将增强量子雷达在不同应用场景下的适应性和灵活性。为了提高目标定位的准确性和系统的整体性能，里德堡原子天线有望发展成支持多阵列探测方向的结构。这将使得量子雷达能够同时监测多个方向上的信号，提高系统的全向性和多目标探测能力。

06 量子电场测量

未来里德堡原子电场强计将着重于提高带宽灵敏度，并逐步完善相关行业标准

在量子电场测量领域，目前里德堡原子已经展现了其可重复、精确和稳定的优势。里德堡原子场强计的高灵敏度和分辨率将有助于科学家们深入研究电场对物质的微观影响，推动科学研究在电场调控下的新突破。这将在材料科学、量子信息等领域带来更为深入的认识。

未来的研究将更加侧重于这些领域，在高频电场测量中取得更为精确的结果，为科研和应用提供更全面的信息，推动其在实验室环境中成为研究微小尺度物理现象的不可或缺的工具。

随着量子电场测量技术的不断进步，制定相关标准将变得至关重要。里德堡原子电场强计的发展将强调标准制定的必要性，以确保不同实验室和研究团队之间的测量结果具有可比性和可信度。国际标准化组织（ISO）等机构可能需要参与制定这些标准，促进该技术在各领域的广泛应用。

金刚石NV色心场强计未来将着重于提高其对复杂环境的适应性，在医疗领域有着更大发挥空间

金刚石NV色心作为电场测量中的关键技术，展现了在10纳米级电场成像和电荷态精确调控方面的优越性。未来的研究将致力于提高金刚石NV色心场强计的测量稳定性和分辨率。通过优化实验条件和技术参数，可望实现更为准确的电场测量，特别是在微小电场强度下的高灵敏度检测，使其在未来电场测量中更为广泛地应用于实际场景，如通信、医学、环境监测等领域。

未来的发展将着重于提高其对复杂环境的适应性，确保在实际应用中能够提供可靠的测量解决方案。这包括对不同物质的适应性以及在复杂电场背景下的性能稳定性。此外，金刚石NV色心的生物友好性将成为该技术在医学影像等应用中的竞争优势。未来应更加注重金刚石NV色心电场强计的生物友好性，使其能够广泛应用于医学等领域。

07 软件算法平台

软件与算法、平台相融合，提高系统灵活性和自适应性

未来的软件发展将聚焦于实现量子精密测量系统中软件、算法和平台的整体融合。这将使得软件与硬件之间更加贴合，从而能够动态调整参数和配置，以适应不同应用场景，为用户提供更加精准的测量结果。

美国Infleqtion 通过结合机器学习与量子传感，展示了软件配置、支持量子的高性能加速度计。美国Sandbox AQ与美国空军成功测试了基于量子传感器的磁异常导航系统，该系统是人工智能和量子（AQ）技术的复合系统，为GPS无法使用或被拒绝的环境提供了替代方案。

未来量子精密测量软件，除了基本的测量功能外，还会在平台上集成更多的辅助功能，包括机器学习、AI数据可视化处理、结果预测分析、故障诊断等，进一步提高用户的工作效率。

以强化学习算法和深度神经网络，提升量子传感器的实用性与适用性

未来算法的发展将更加注重通过强化学习算法和深度神经网络的结合，实现对多参数估计的优化这将为量子传感器提供更为高效和精确的性能。算法的设计将考虑到不同量子测量类型的特点，实现更全面的性能覆盖，从而满足不同应用场景的需求。

罗马第一大学团队提出的无模型方法结合了强化学习算法和深度神经网络，实现了对多参数估计的优化，可广泛应用于优化量子传感器的性能。这种方法利用深度神经网络对复杂的量子系统进行建模，并通过强化学习算法实现对测量策略的优化，可以有效提高量子传感器的性能。

北京计算科学研究中心提出的量子随机游走算法实现了正算子测量的普适、高效简单的方法，并在物理应用中成功进行了演示。该方法利用了量子随机游走的特性，为量子精密测量算法的发展提供了新的思路。

平台将向更加智能化、高度集成化和全面服务化的方向发展

智能化方面，平台通过引入人工智能和机器学习技术，实现数据的自动分析和处理，可提高其数据处理的效率和准确性，帮助用户更快速地获取精确的测量结果。高度集成化，即平台整合多种不同类型的量子传感器和测量设备，实现多样化的精密测量功能，可大幅降低用户的采购和管理成本，提高设备的利用率。全面服务化包括设备的远程监控和维护、数据的存储和管理、测量结果的分析和解释等。平台将强调云端服务的分析和管理功能，以便用户能够实时监控、分析和管理其量子测量系统，加速研究和应用的进展。

2023年， Infleqtion推出了的Oqtant平台。该平台是目全球少有的产品平台，为研究人员、创新者和学生提供创新的量子应用。在此基础上，Oqtant还提供了强大的数据管理和分析工具，使用户能够对实验数据进行高效的处理和分析，从而加速研究进展和创新成果的产生。这些分析服务可能涉及到数据可视化、模式识别、机器学习等技术，以帮助用户挖掘出隐藏在数据中的宝贵信息和规律。

此外QLM Technology的量子气体激光雷达和QLM Cloud提供了高性能和准确性，通过云端分析和管理数据，为用户提供了更好的服务和体验。中国电力科学研究院的电力量子测量平台则利用量子技术建立了高稳定性的电学量子计量基础标准体系，为电力行业提供了更可靠和精确的测量方法。

09

附件

目录 09 附件

01. 全球量子测量硬件整机供应商评价体系

02. 全球量子精密测量研究进展

03.量子测量标准

04.参考链接

01 全球量子测量硬件整机供应商评价体系

CTF模型是一个未来产业参与者的评价分析模型。ICV TA&K 的CTF模型是帮助公众了解前沿技术领域及对应公司的发展情况，前沿科技具有技术路线未收敛、技术发展存在高度不确定性、商业化推进处于早期等诸多特点，随着技术的不断发展，对公司的评价需要一套合理的模型，对特定时期前沿技术供应商的综合评估形成“共识”。

CTF模型由4层不同大小的扇形区域纵深呈现，以及3维坐标共同构成。横向坐标Maturity of Technology（技术层面，即供应商的技术、研发、团队等）、侧向坐标Commercialization of Technology（商业层面，即供应商的营收、客户、用例等）以及隐含变量Implicit Variable（底蕴层面，即供应商长期经营所积淀的能够助推企业发展的要素）。CTF模型根据供应商在不同维度的综合表现，将其划分入如下四个扇面中：Pilot（领航员）、Overtaker（超越者）、Explorer（探索者）和Chance-seeker（寻机者）。

由于新兴技术处在高速成长期，也存在高度不确定性，因此，各细分领域的CTF图需要不定期进行更新。

- Fan1—Pilot：这一板块的公司特点是企业规模较大，在前一次技术发展周期中积累了诸多经验，为它们进入新的前沿技术领域打下坚实基础。这些公司有能力和资源成为新一轮前沿技术的领航者，并有可能对行业未来的发展方向产生深远的影响；
- Fan2—Overtaker：这一板块的公司经过一段时间的发展已经初具规模，它们的一大优势是强大的新技术研发实力。基于它们在特定技术领域已取得的积累，这些公司将来有望“超车”成为行业领军者；
- Fan3—Explorer：这一板块的公司体量较小，但是它们较早地走上了新兴技术发展轨道。特定技术的开发仍处于早期阶段，与Pilot和Overtaker相比，它们通常在整体技术实力方面有所差距；
- Fan4—Chance-seeker：这一板块的公司商业嗅觉敏锐，是新进入行业的新兴公司，它们的规模不大，但创始团队成员拥有一定的资源，能够让公司在新的赛道上获得发展机会。这些公司目前少有产品的工程原型，市场展现机会较少。

使用CTF模型，可以帮助前沿科技领域的客户评估对于某个技术供应商的采购与投资。特别需要留意的是，处于领航员扇面的供应商并不一定总是最佳选择，在企业的实际需求情况下，处于超越者或探索者扇面的企业可能是更好的选择。

02 2023全球量子精密测量研究进展

1月

- 科罗拉多州立大学、科罗拉多矿业大学研究团队在《物理评论快报》上发表了结合经典和量子光学实现超分辨率成像的研究，利用单光子干涉仪和单像素成像技术，提高了图像分辨率和抗噪声能力，为生物样本的高精度观测提供了新方法

2月

- 美国空军研究实验室正在研发下一代量子原子钟、量子传感器和组件技术，以提高空间领域的定位、导航和计时能力，利用冷原子传感器和超轻暗物质模型，实现了动态范围和精度的提升，为量子计算和网络提供了基础
- 南京大学研究团队在《npj量子信息》上发表了一种无模型的量子成像协议，利用未检测到的光子对结构物体进行无交互的单像素量子成像，降低了检测要求和样本损伤，为在硅可检测波长下用单像素成像表征精细样品的应用铺平了道路
- 北京大学、清华大学研究团队在《自然·通讯》上发表了在冷原子光晶格体系中观测到不同量子物态之间不同的准粒子行为的研究，利用改良的能带映射方法和非绝热线性响应理论，为探测量子多体系统的平衡态关联提供了新思路和新方法
- 罗马第一大学、光子学与纳米技术研究所（IFN-CNR）团队开发了一种无模型的强化学习算法，用于优化多个参数的估计，并将其与深度神经网络相结合，实现了快速非扫描的量子态层析方法，提高了量子传感器的性能
- 中科院合肥研究院固体所、中国科学技术大学、四川大学团队在《纳米快报》上发表了高压环境下碳化硅双空位色心自旋量子态的相干调控和高压磁探测研究，利用碳化硅双空位色心作为新型的量子传感器，实现了对高压下的磁场的精确测量，为高压物理和材料科学提供了新工具

3月

- 中国科学技术大学团队在《自然·通讯》上发表了利用SiC中硅空位色心实现量子增强的微波测距的研究，利用微纳量子传感与电磁场的深亚波长局域，实现了10-4波长精度的定位，为量子通信和量子成像提供了新技术
- 波士顿学院团队使用量子传感器将外尔半金属中的光转化为电能，利用金刚石中氮空位中心的量子磁场传感器来成像光电流产生的局部磁场，并重建光电流的完整流线，为寻找其他高度光敏材料开辟了新方向
- 上海交通大学团队针对量子多参数估计的量子精度极限不相容问题，提出了度量参数间精度极限不相容程度的理论判据，并设计了能使两个不相容物理参数量子测量精度同时逼近理论极限的量子探针，首次实现了对同一光束的纳米级横向位移与纳弧度级角向偏折的同时测量
- 悉尼大学和瑞士巴塞尔大学团队展示了操纵和识别少量相互作用的光子（光能包）的能力，这些光子具有高度相关性，为量子技术发展的一个重要里程碑
- 中科大团队在《自然·通讯》上发表了利用SiC中硅空位色心实现量子增强的微波测距的研究，利用微纳量子传感与电磁场的深亚波长局域，实现了10-4波长精度的定位，为量子通信和量子成像提供了新技术

5月

- 伊利诺伊大学厄巴纳-香槟分校t团队化学添加的氮空位（NV）杂质使金刚石具有不寻常的电场敏感性。这使NV色心能够测量强电场，并能够基于它开发可靠、坚固的传感器
- 魏茨曼科学研究所团队在《自然》上发表了一种全新的扫描探针显微镜——量子扭曲显微镜，能够在原子尺度上研究二维材料之间的干涉现象，探究其引人入胜的物理学，为科学家们进一步研究量子材料奠定了坚实的基础
- 中国载人航天机构、中国科学技术大学等团队完成了神舟16号飞船与天宫空间站的交会对接，并进行一系列在轨测试和实验，包括量子现象、高精度空间时频系统、广义相对论的验证以及生命的起源等各个领域

6月

- 俄亥俄大学、阿贡国家实验室、伊利诺伊大学芝加哥分校等团队拍摄到了世界上第一个只有一个原子的X射线信号，将同步辐射X射线与量子隧穿过程联系起来，可能彻底改变科学家检测材料的方式
- 英国皇家海军、帝国理工学院等团队成功测试了量子导航系统，该系统能够确定船只在全球的精确位置，而无需依赖GPS，为海上导航和作战提供了新的创新方法
- 中科院团队完全测量了Ar^8+与He电荷交换产生的反冲离子动量矢量二维谱，并证实了低能高电荷态离子电荷交换碰撞中电子—电子相互作用的重要性
- 那不勒斯腓特烈二世大学、弗罗茨瓦夫大学和卑尔根大学等团队研究了粒子传播的量子引力模型，并发现了支持预测这种效应的量子引力模型的初步证据，标志着量子引力研究领域的一个重要里程碑
- 加州大学伯克利分校和美国劳伦斯伯克利国家实验室等团队展示了首个使用硅的量子光源，并实现了超过30倍的发光强度的增强、接近1的原子-腔耦合效率以及8倍的单光子发射率的加速，为大规模集成全硅量子光学器件和系统打开了大门
- 香港城市大学等团队提出了一个新的量子理论，解释了物质的“光诱导阶段”，并预测了它的新功能，为室温量子光子学和量子控制领域的研究提供了新思路

8月

- 麻省理工学院研究团队通过激光或微波光束调控金刚石自旋密度，实现了自旋密度的两倍变化，为先进量子设备带来新的可能性。

9月

- 斯坦福线性加速器中心实现了世界上最强大的X射线激光器，可制作分子级的原子和电子“电影”，预计将推动化学、生物学、量子材料和光学技术的发展。
- 中国科学院上海微系统所与赋同量子科技成功研制了移动式超导单光子探测系统，为未来移动平台上的高性能单光子探测应用铺平了道路。
- 北京理工大学提出了物理驱动深度学习的高分辨大规模单光子成像技术，通过对多元物理噪声建模，实现了高分辨、高保真的大规模单光子成像。
- 圣安德鲁斯大学科学家们取得了紧凑型激光技术突破，制造了具有世界纪录光输出的OLED，结合聚合物激光结构，实现了发射绿色激光束的新型激光器。

10月

- 北京计算科学研究中心薛鹏教授团队在量子行走应用中提出了实现正算子测量的普适、高效方法，并演示了正算子在量子态层析中的应用。
- 中科大团队并利用金刚石中氮-空位（NV）色心作为固态自旋量子传感器探测了神经元突触在外部刺激下的动态连接，展示了类脑神经系统中多通道信号传递和处理过程

11月

- 纽约市立大学和加州理工学院团队展示了世界首例具有高脉冲峰值功率的电泵浦锁模激光器，产生了超短光脉冲，为纳米光子学平台下锁模激光器树立了最高水平。
- 苏黎世联邦理工学院研究小组在人工生产的材料中检测到一种新型铁磁性，磁矩对齐方式不同，为材料科学带来新的发现。
- 研究人员利用超导纳米线单光子探测器进行非视距成像的首次演示，扩展了成像技术的光谱范围，对无人驾驶车辆、机器人视觉等领域具有潜在应用。
- QDM.IO推出量子金刚石显微镜，通过氮空位钻石量子技术测量纳特斯拉灵敏度的磁场，图像分辨率卓越，为科研机构提供试验装置。

03 量子测量标准

首个中国量子测量领域省级地方标准发布并实施

2023年11月，由安徽省国盛量子有限公司与中国科学技术大学共同编制的首个省级地方标准《固态自旋量子磁力测量技术性能表征》正式实施。该标准确立了固态自旋量子磁力测量技术的核心指标要求与相关术语的描述，明确规定了技术指标的测试环境要求与测试方法。这是全国首次确立该技术的指标要求与测试方法。

图表 量子精密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

iCV TA&K | Version Feb 2024

相关领域标准正逐步推进

图表 量子精密测量领域在研标准情况

下达时间	计划号	标准名称	项目周期
2021.08	20213258-T-469	精密光频测量中光学频率梳性能参数测试方法	24个月
2021.10	20214293-T-469	量子精密测量中里德堡原子制备方法	24个月
2021.10	20214288-T-469	量子测量术语	24个月
2021.10	20214289-T-469	原子重力仪性能要求和测试方法	24个月
2021.10	20214287-T-469	光钟性能表征及测量方法（外文版计划）	24个月
2021.10	20214291-T-469	单光子源性能表征及测量方法	24个月
2022.12	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
2022.12	20221340-T-469	基于扫描氮-空位探针的微弱静磁场成像测量方法	12个月

iCV TA&K | Version Feb 2024

04 参考链接

https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-wins-funding-to-develop-and-manufacture-the-uks-first-optical-atomic-clock-301862654.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtions-atomic-clock-tiqker-wins-platinum-military--aerospace-electronics-innovators-award-301971239.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-wins-funding-to-develop-and-manufacture-the-uks-first-optical-atomic-clock-301862654.html
https://finance.yahoo.com/news/cesium-atomic-clock-provides-autonomous-120000702.html
https://finance.yahoo.com/news/adtran-launches-satellite-time-location-120000438.html?.tsrc=fin-srch https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20231019-deutsche-bahn-brings-5g-timing-to-german-railways-to-meet-new-frmcs-standards-with-adtran
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230928-ocp-tap-approves-adtrans-osa-5400-timecard-for-precise-resilient-data-center-timing
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230905-adtrans-oscilloquartz-optical-cesium-clock-outperforms-in-tests
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230516-adtran-expands-oscilloquartz-pnt-platform-for-enhanced-protection-of-critical-timing
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20221208-advas-new-osa-3350-seprc-optical-cesium-clock-breaks-records
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-wins-funding-to-develop-and-manufacture-the-uks-first-optical-atomic-clock-301862654.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtions-atomic-clock-tiqker-wins-platinum-military--aerospace-electronics-innovators-award-301971239.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-wins-funding-to-develop-and-manufacture-the-uks-first-optical-atomic-clock-301862654.html
https://finance.yahoo.com/news/cesium-atomic-clock-provides-autonomous-120000702.html
https://finance.yahoo.com/news/adtran-launches-satellite-time-location-120000438.html?.tsrc=fin-srch https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20231019-deutsche-bahn-brings-5g-timing-to-german-railways-to-meet-new-frmcs-standards-with-adtran
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230928-ocp-tap-approves-adtrans-osa-5400-timecard-for-precise-resilient-data-center-timing
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230905-adtrans-oscilloquartz-optical-cesium-clock-outperforms-in-tests
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230516-adtran-expands-oscilloquartz-pnt-platform-for-enhanced-protection-of-critical-timing
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20221208-advas-new-osa-3350-seprc-optical-cesium-clock-breaks-records
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-wins-funding-to-develop-and-manufacture-the-uks-first-optical-atomic-clock-301862654.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtions-atomic-clock-tiqker-wins-platinum-military--aerospace-electronics-innovators-award-301971239.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-wins-funding-to-develop-and-manufacture-the-uks-first-optical-atomic-clock-301862654.html
https://finance.yahoo.com/news/cesium-atomic-clock-provides-autonomous-120000702.html
https://finance.yahoo.com/news/adtran-launches-satellite-time-location-120000438.html?.tsrc=fin-srch https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20231019-deutsche-bahn-brings-5g-timing-to-german-railways-to-meet-new-frmcs-standards-with-adtran
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230928-ocp-tap-approves-adtrans-osa-5400-timecard-for-precise-resilient-data-center-timing
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230905-adtrans-oscilloquartz-optical-cesium-clock-outperforms-in-tests
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230516-adtran-expands-oscilloquartz-pnt-platform-for-enhanced-protection-of-critical-timing

https://doi.org/10.19650/j.cnki.cjsi.J2311513
Combined Polarization/Magnetic Modulation of a Transverse NMR Gyroscope,Sensors - X-MOL
https://ieeexplore.ieee.org/document/10054162
https://orcid.org/0000-0002-9248-2574
https://optics.org/news/14/1/40 https://phys.org/news/2023-02-interaction-free-single-pixel-quantum-imaging-undetected.html https://www.nature.com/articles/s41467-023-36929-8
https://newatlas.com/science/quantum-microscope-entanglement-double-resolution/
https://www.imperial.ac.uk/news/245114/quantum-sensor-future-navigation-system-tested/
https://www.nature.com/articles/s41567-023-02113-4
https://qlmtec.com/news/post/?id=64b467cac329a2fe2c59dc84
https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRev-Lett.131.053803
https://www.nature.com/articles/s41467-023-40620-3
https://finance.yahoo.com/news/sandboxaq-awarded-u-air-force-170000329.html?guccounter=1&guce_referrer=aHR0cHM6Ly93d3cuZ29vZ2xlLmNvbS8&guce_referrer_sig=AQAAAFgcs8uKrnN3aefMxHvI33hSQyeITRekMoisCiGgQJoRLqbTcVhrG62HaC0vDvS95PQWkvS9urslpqI9To-YP05Fs2azpsOR4gs https://www.quantumcomputinginc.com/press-releases/quantum-computing-inc-receives-subcontract-award-to-support-nasa-to-test-quantum-sensing-solutions-for-monitoring-climate-change/ https://www.nvision-imaging.com/news-publications
https://qlmtec.com/news/post/?id=649b59e577ba2ec8a02b2d5a
https://www.quantumcomputinginc.com/press-releases/quantum-computing-inc-federal-subsidiary-qi-solutions-demonstrates-unprecedented-capability-to-detect-landmines-up-to-2-5-feet-below-dense-underground-surface/
https://www.quantumcomputinginc.com/press-releases/quantum-computing-inc-federal-subsidiary-qi-solutions-signs-five-year-overarching-cooperative-research-and-development-agreement-ocrada-with-u-s-special-operations-command-ussocom/
https://www.quantumcomputinginc.com/press-releases/quantum-computing-inc-launches-the-first-quantum-photonic-vibrometer-featuring-groundbreaking-capabilities-in-detecting-highly-obscured-and-non-line-of-sight-objects-at-great-distances/
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-and-l3harris-collaborate-to-develop-and-deploy-new-quantum-rf-sensing-technology-solutions-302008799.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtions-quantum-rf-solution-excels-at-army-c5isr-netmodx23-assessment-301946377.html
https://qlmtec.com/news/post/?id=656fbd3b4ef3dd9e906ce31e
https://qlmtec.com/news/post/?id=655178eeec400278b8bc30d3
https://pubs.aip.org/aip/apl/article-abstract/122/16/161103/2884499/Sensitivity-extension-of-atom-based-amplitude?redirectedFrom=fulltext
https://epjquantumtechnology.springeropen.com/articles/10.1140/epjqt/s40507-023-00184-z
https://scitechdaily.com/a-cutting-edge-diamond-sensor-for-neutron-experiments-and-quantum-information-science/
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-wins-funding-to-develop-and-manufacture-the-uks-first-optical-atomic-clock-301862654.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtions-atomic-clock-tiqker-wins-platinum-military--aerospace-electronics-innovators-award-301971239.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtion-wins-funding-to-develop-and-manufacture-the-uks-first-optical-atomic-clock-301862654.html
https://finance.yahoo.com/news/cesium-atomic-clock-provides-autonomous-120000702.html
https://finance.yahoo.com/news/adtran-launches-satellite-time-location-120000438.html?.tsrc=fin-srch https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20231019-deutsche-bahn-brings-5g-timing-to-german-railways-to-meet-new-frmcs-standards-with-adtran
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230928-ocp-tap-approves-adtrans-osa-5400-timecard-for-precise-resilient-data-center-timing
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230905-adtrans-oscilloquartz-optical-cesium-clock-outperforms-in-tests https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20230516-adtran-expands-oscilloquartz-pnt-platform-for-enhanced-protection-of-critical-timing https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20221208-advas-new-osa-3350-seprc-optical-cesium-clock-breaks-records

https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=B691BB778743D126E05397BE0A0AF3B3
https://std.samr.gov.cn/db/search/stdDBDetailed?id=0B59A66097270F31E06397BE0A0A1D28
https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=E116673ECE4CA3B7E05397BE0A0AC6BF
https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=E116673ED27BA3B7E05397BE0A0AC6BF
https://std.samr.gov.cn/gfs/search/gfsDetailed?id=CE65C915AC84A2D6E05397BE0A0A137C
https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=E116673ED24DA3B7E05397BE0A0AC6BF
https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=BF8597F7975F3781E05397BE0A0A2974
https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=BF8698984568B2E5E05397BE0A0A35C9
https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=F0DFFD3EEB66E06BE05397BE0A0A129B
https://std.samr.gov.cn/gb/search/gbDetailed?id=D276B7EA40170DC2E05397BE0A0A18E9
https://www.quantumcomputinginc.com/press-releases/quantum-computing-inc-receives-subcontract-award-to-support-nasa-to-test-quantum-sensing-solutions-for-monitoring-climate-change/
https://www.afcea.org/signal-media/advances-quantum-sensing-and-timing
https://www.royalnavy.mod.uk/news-and-latest-activity/news/2023/may/26/20230526-royal-navy-and-imperial-college-london-team-up-to-work-on-cutting-edge-navigation-system
https://q-ctrl.com/blog/q-ctrl-to-partner-with-defence-on-quantum-navigation-technologies
https://www.einpresswire.com/article/676562237/rydberg-technologies-demonstrates-world-s-first-long-range-atomic-rf-communication-with-quantum-sensor
https://www.icvTA&K.com/newsinfo/889384.html?templateId=287088
https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnins.2022.1034391/full
https://hnp.fcbg.ch/project/meg-in-geneva/
https://www.electrooptics.com/news/pic-based-quantum-sensors-assess-climate-change-orbit
https://finance.yahoo.com/news/cesium-atomic-clock-provides-autonomous-120000702.html
https://www.prnewswire.com/news-releases/infleqtions-atomic-clock-tiqker-wins-platinum-military--aerospace-electronics-innovators-award-301971239.html
https://www.adtran.com/en/newsroom/press-releases/20221208-advas-new-osa-3350-seprc-optical-cesium-clock-breaks-records

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
QUANTUMCHINA

光子盒创立于2020年2月，作为中国量子科技产业服务平台，光子盒通过推送前沿量子科技新闻、科普量子知识、举办量子活动、链接产业化资源、开展量子产业研究等形式，致力成为中国量子科技产业最值得信赖的服务机构。

光子盒不断扩充自有量子科技产业数据库的广度与深度，建立多维量子产业数据信息，提供客观、专业、深入及具有时效性的量子行业报道与咨询服务。

未来，光子盒将继续联合量子产业科技公司、金融行业投资公司、国家/省级量子相关科研院所、政策战略研究单位等共同促进量子产业持续向好发展。

联系我们

iCV TA&K
Technology Advisory
& Knowledgebase

Canada

5250 Fairwind Dr.
Mississauga, Ontario,
L5R 3H4,
Canada

Singapore

101 Upper Cross Street,
#04-17,
People's Park Centre,
Singapore

infer@icvTA&K.com

https://www.icvTA&K.com/

光子盒
QUANTUMCHINA

北京市东城区朝阳门SOHO 1507

wangxin@quantumchina.com

https://www.quantumchina.com/