

2023

全球量子精密测量 产业发展展望

量子信息年度系列报告

2023年2月

序言

传感器技术是现代科技的前沿技术，许多国家已将传感器技术、通信技术和计算机技术列为同等重要的位置，称之为信息技术的三大支柱之一。而量子传感器更是传感领域的颠覆性变革技术，能将人们所能达到的精度又提升一个新的高度。

2022年，量子精密测量仪器在各技术路径方面都有所突破，之前停留在实验室运行的仪器也开始逐渐走出实验室。在今年早些时候，美国官方颁布了首份量子精密测量行业的撰写报告，有别于之前量子精密测量行业被量子信息科技行业“打包”分析的情况，量子精密测量行业的行业关注度被提升到了前所未有的高度。

2022年可以说是“冷原子技术元年”，技术原理方面，美国与中国的超冷柜被送入太空，在太空环境下对冷原子进行深度研究。应用方面，英国伯明翰大学领导的量子重力梯度仪走出实验室，法国iXblue也发布了首款商用量子重力梯度仪。随着原子钟、原子磁力计、量子重力仪、量子重力梯度仪等设备商业化的逐渐成熟，我们也可以展望一下，2023年量子精密测量的应用进展会是什么，是否会紧随量子计算其后出现“中性原子元年”带来原子天线的商业化突破？或是冷原子技术的再度演变，量子陀螺仪和量子加速度计产品落地？或是光钟的精度提升再一次重新定义“秒”？令人期待的是，每一项技术的突破都将让量子精密测量的产业规模呈现阶梯式上升。

虽然2022年的量子精密测量相关投融资活动相对放缓，但从全人类的发展和历史角度上讲，探索并掌握越来越高的精度是文明发展的必要的条件。我们相信，只要保持对量子精密测量领域的信心，持续发展，保持精进，人类社会的文明程度将勇攀高峰，更上一层楼！

ICV 前沿科技咨询总监、高级副总裁：Jude Green



声明

本报告阐明的观点力求独立、客观，不构成任何广告。

本报告数据以公开信息为主，以及对公开数据的整理。

本报告版权归ICV TAnK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，需要注明来源（2023全球量子精密测量产业发展展望. ICV TAnK &光子盒 2023.02）。

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、复制或发表。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。

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。

本报告涉及动态数据，表达截至发稿时的情况，不代表未来情况。

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。

如有其它问题，请联系infer@icvtank.com，zhangxinyu@quantumchina.com。

致谢

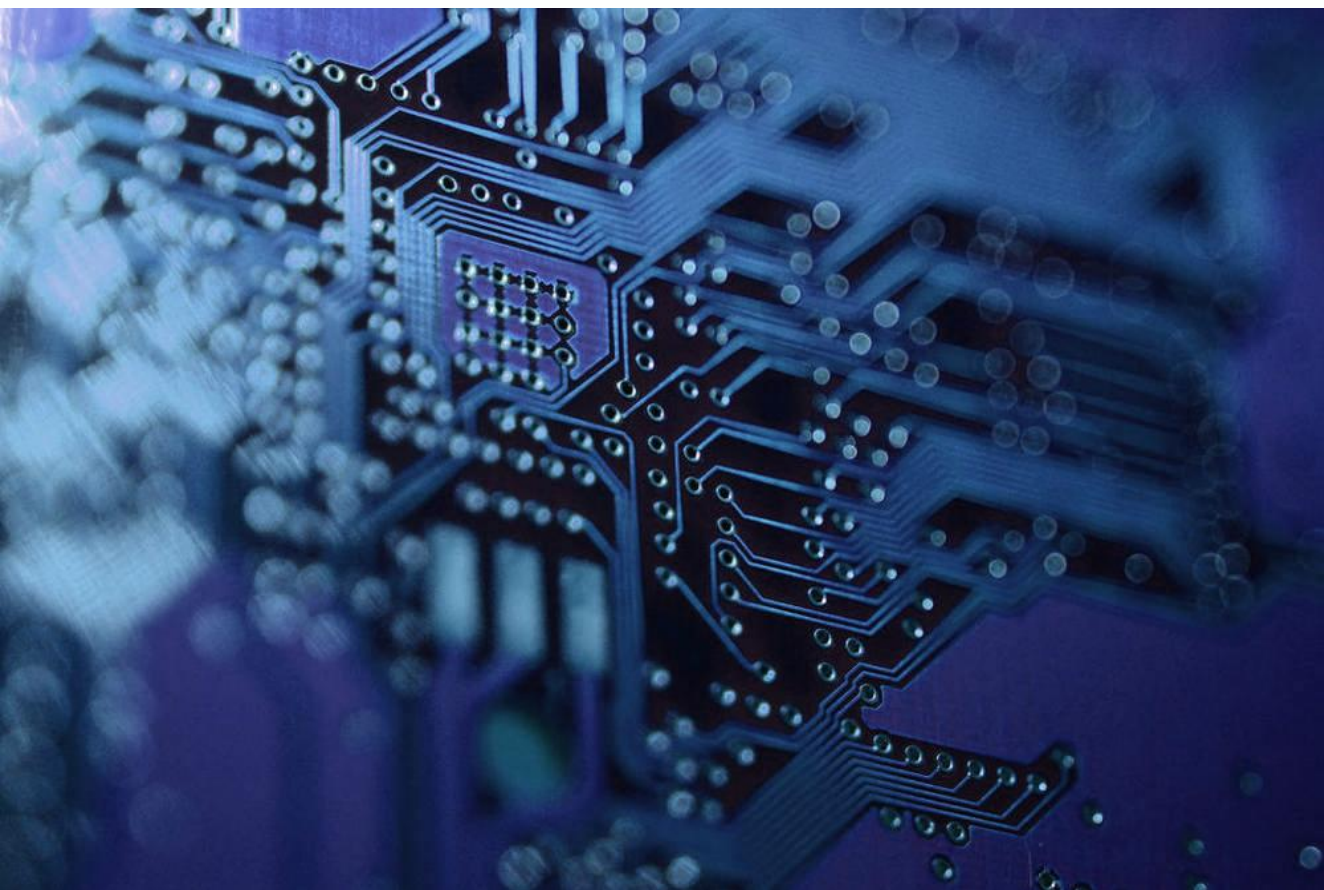
本篇报告由全球前沿科技咨询机构ICV邀请中国量子科技平台公司光子盒联合研究和发布。

感谢包括但不限于以下公司给予技术和素材的支持：



目录

1	行业研究定义-----	05
2	行业进展 -----	08
3	产业链分析 -----	25
4	投融资分析 -----	44
5	市场规模分析 -----	51
6	附件 -----	61



Chapter 1

行业研究定义

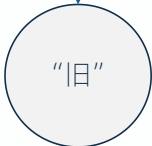
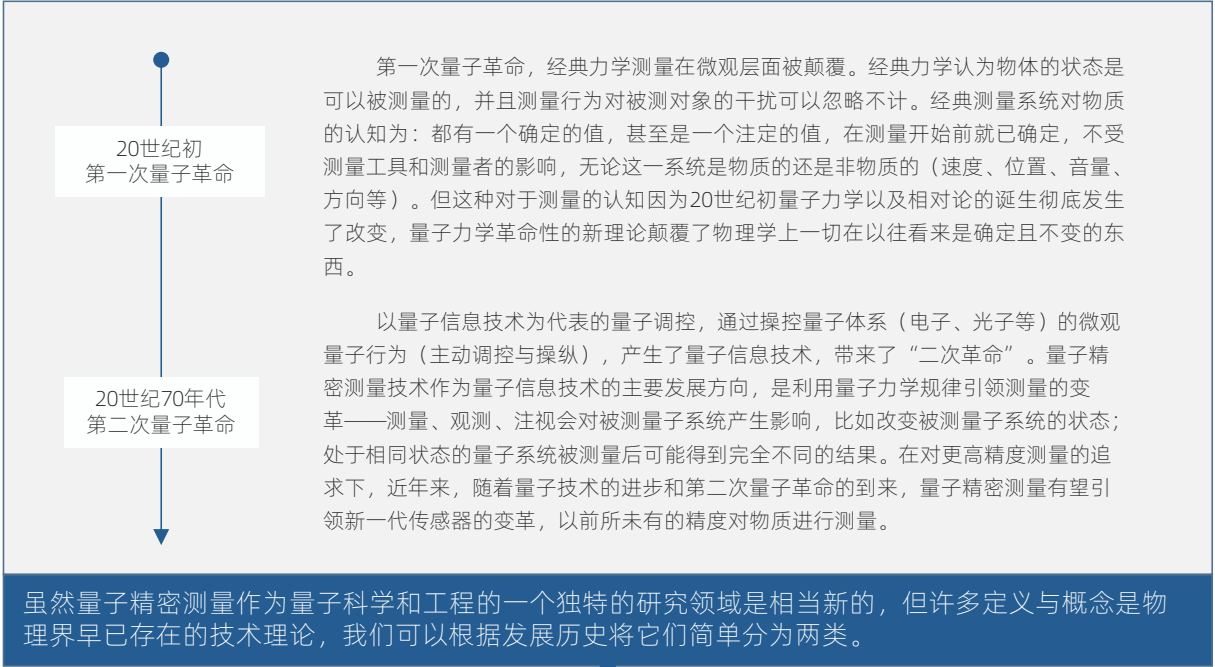
1.1 量子精密测量的由来

“ 我们能找到一个有希望的量子力学的现实世界应用，利用它最违反直觉的特性吗？自20世纪初的量子理论发展以来，物理学家们被这个问题一直吸引着。

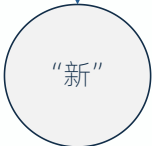
量子计算机和量子通信被广泛认为是最有前途的量子应用，但技术研发进展较慢，其中主要原因之一是源自量子系统的弱点——它们对外部干扰的强烈敏感性。量子精密测量便是利用这核心弱点，实现对外部某些物理量的测量，也是近年来量子信息技术的新兴应用定义。

近年来，量子精密测量已经成为量子信息科学和技术领域的一个独特且快速增长的研究分支，以量子力学系统为基础来测量各种物理量，从磁场和电场，到时间和频率，到旋转，到温度和压力。量子信息的发展趋势可以让人想起半导体的历史，例如，基于硒光电管的测光表（硒测光表），其比计算机早几十年得到了商业应用。

图表1-1 量子科技革命和产业变革正在孕育兴起



量子概念出现后被囊括的相关学科，部分技术理论经过几十年的发展已经变得相对成熟。例如高分辨率光谱学，微观物理的原子物理和磁共振等等。例如，原子钟、原子蒸汽磁强计和超导量子干涉装置。



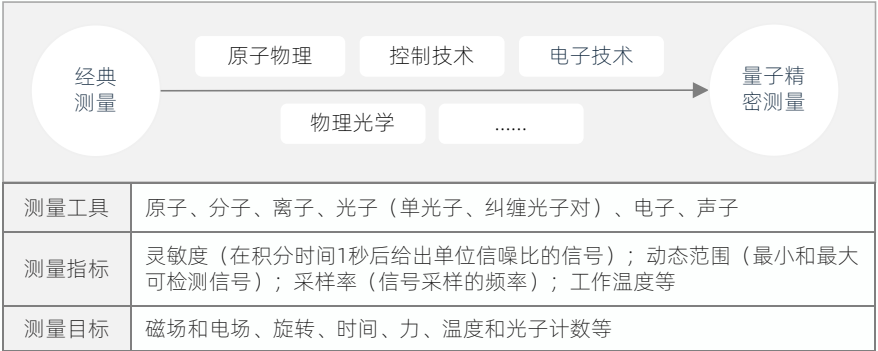
以及量子系统在单原子水平上的研究逐渐成熟，诞生的新技术。例如，量子纠缠被用作提高灵敏度，是专门为传感目的而设计的量子系统。例如，基于NV色心技术的磁力计、基于离子阱技术的原子钟。

随着量子力学基础研究的突破和实验技术的发展，人们不断提升对量子态进行操控和测量的能力，从而可以利用量子态进行信息处理、传递和传感，对一些关键物理量进行高精度与高灵敏度的测量。例如在时间、频率、加速度、电磁场等物理量上可以获得前所未有的测量精度。整个现代自然科学和物质文明是伴随着测量精度的不断提升而发展的，量子精密测量可以理解为经典精密测量在基础研究进步条件下的升级迭代。以时间测量为例，从古代的日晷、水钟，到近代的机械钟，再到现代的石英钟、原子钟，随着时间测量精度不断提升，通信、导航等技术才得以不断发展。

1.2 量子精密测量的介绍

最近，量子精密测量已经成为量子科学和技术领域的一个独特且快速增长的研究分支。“新”平台（自旋量子位、捕获离子和通量量子位等）有望在应用物理学和其他科学领域提供新的机会——特别是在高灵敏度和精度方面。

量子精密测量旨在利用量子资源和效应，实现超越经典方法的测量精度，是原子物理、物理光学、电子技术、控制技术等多学科交叉融合的综合技术。基本原理：外界的电场、温度、压力等物理量因素会改变电子、光子、声子等微观粒子的量子态，对这些变化后的量子态进行测量，从而实现对外界物理量的测量

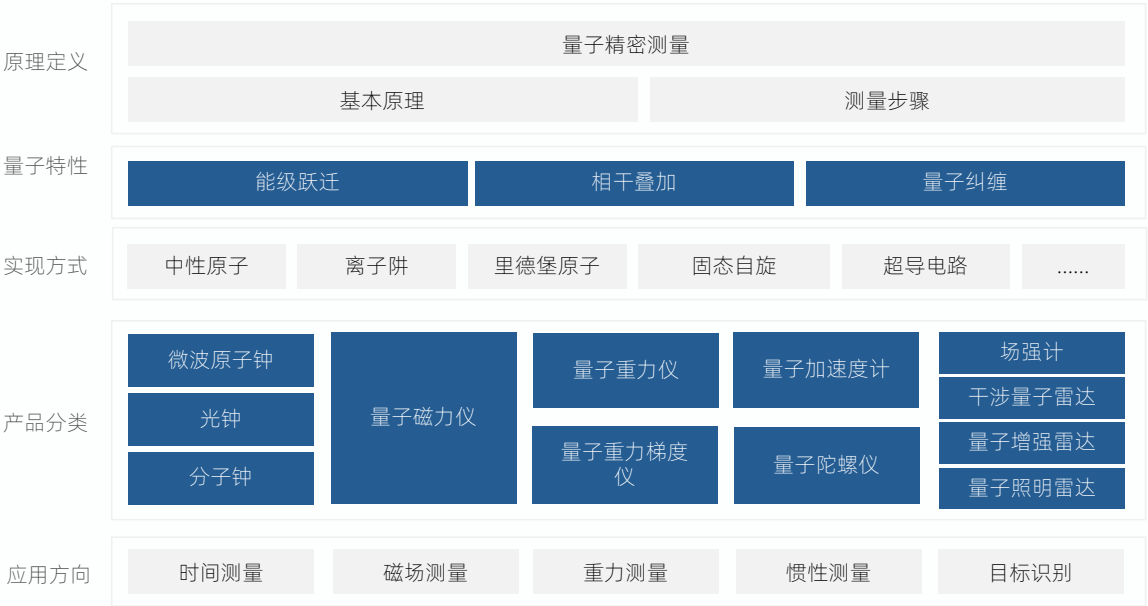


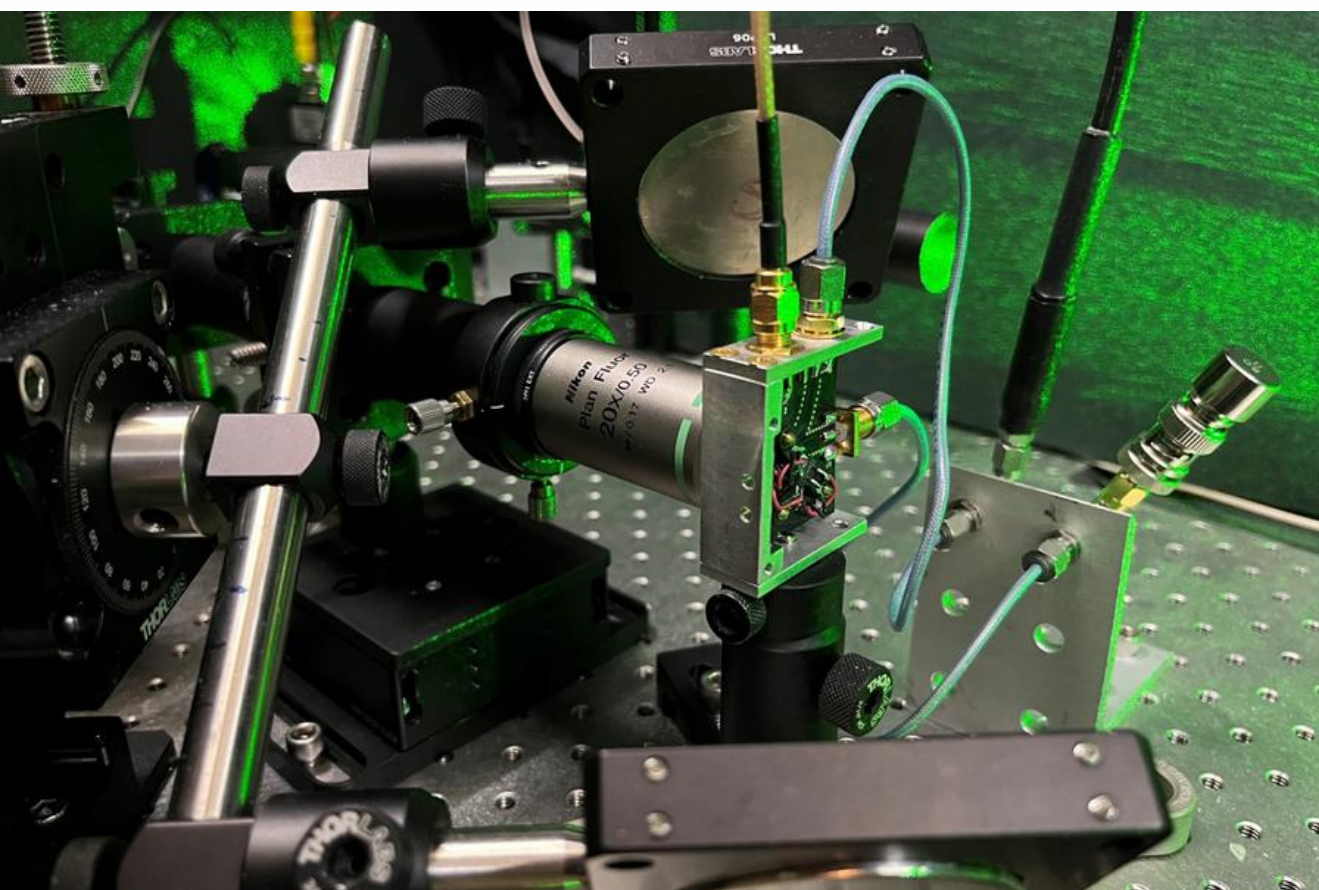
图表1-2 原理及定义

当前各类国家政策、报告等文献中因各国技术专长领域不同、语言不同等因素，导致出现多个不同的名称，本文将以“量子精密测量”指代这一技术和应用领域。特指以下分析框架中产品分类中的量子时间测量、量子磁场测量、量子重力测量、量子惯性测量和量子目标识别五大应用领域。根据被测物理量的不同进行划分。主要应用场景涵盖航空航天、防务装备、地质资源勘测、基础科研和生物医疗等众多领域，应用与产业发展前景广阔。

国家	时间	项目	名称	翻译
美国	2022	《将量子传感器付诸实践》	Quantum sensors and measurement devices	量子传感器和测量设备
英国	2020	《NQTP计划》	Quantum imaging, and quantum sensing and timing	量子成像、量子传感和计时
德国	2021	《量子系统议程2030》	Quantenmesstechnik and Sensorsysteme	量子测量技术和传感器系统

图表1-3 报告分析框架





Sources: Guoqing Wang, MIT website

Chapter 2

行业进展

2.1 主要进展

主要进展通过梳理行业进展及科技进展（详见Appendix-1&2），筛选出对量子精密测量未来发展具有重要意义的进展进行列举。2022年，量子精密测量技术路径百花齐放。随着量子精密测量工程样机的持续迭代，越来越多样机走出实验室，迈向产品化。

2.1.1 美国首次发布量子精密测量行业独立战略规划报告

美国官方颁布了首份量子精密测量行业的撰写报告。同时，各国政要对量子精密测量行业的关注持续增加，有别于之前量子精密测量行业被量子信息科技行业“打包”分析。

除美国外的主要量子精密测量科技国（如：德国、中国、英国、日本等）尚未发布独立的量子精密测量报告，然而，美国在2022年4月发布量子传感器战略政策——Bringing Quantum Sensors Fruition（将量子传感器付诸实践），这是首次有国家针对量子精密测量这一领域发布独立战略规划报告。目前，中国、英国、德国、法国等已在不同程度、不同技术领域提高对量子精密测量领域的重视度，未来，各国将有可能随着技术进步，发展路线清晰化，经过审慎评估后，发布单独的计划，更加详细的指出未来战略发展方向。主要发展方向如下图所示：

图2-1 美国量子精密测量报告五类主要仪器

	工作原理	应用领域
原子钟	当标准GPS信号不可用时，使用原子钟辅助网络和高精度时间传输协议可以为导航系统提供弹性	地质学、地震学、石油勘探、电网运营和金融服务业等
原子干涉仪	在基础物理学领域的应用包括万有引力常数（大G）的测量、等效原理（自由落体的普遍性）的测试、毫米级的引力测量、暗物质粒子的搜索以及引力波探测的可能替代方法	火山学、地下水、矿藏、潮汐动力学和冰层等地球科学研究，陀螺罗盘、卫星定位、制导、导航重力测绘和海底避障等应用
光学磁力器	基于蒸汽、玻色凝聚体或固态系统（如金刚石中的氮-空位（NV）中心）中原子自旋的光学磁力计	用于神经功能的生物医学研究，支持生物样本的无创检测和表面科学的新工具
利用量子光学效应的装置	利用量子光学效应的设备提供了突破显微镜、光谱和干涉测量中的标准量子极限的机会。非经典状态的光子使测量达到海森堡极限	DNA测序、酶活性跟踪、粒子物理学、暗物质搜索、量子网络协议和微光遥感
原子电场传感器	使用里德堡原子态作为换能器或量子天线，来测量从直流（0 Hz）到太赫兹（10 ¹² Hz）的宽频率范围内的电磁场	应用于遥感和电测领域，其他应用包括扩大蜂窝塔之间的距离，以及采集具有宽动态范围的信号

2.1.2 量子时间测量多方面取得突破与进展

叶军团队制作出全球最精确的原子钟，可验证广义相对论；中国梦天实验舱送入太空首个高性能光钟

叶军团队开发出了全球最精确的原子钟，在1毫米高度差上，时间相差约1千亿亿分之一，即3000亿年差1秒，符合广义相对论预言。这次，首个高性能的"光原子钟"随梦天实验舱一起进入了太空，受到广泛关注。光钟可以更精确地测量时间，中国也有望建成全球最高精度的轨道时间频率系统。

2.1.3 量子重力仪、量子梯度仪产业化进展显著，量子重力测量市场会迎来三大增长因素

量子重力测量仪器方面取得重要突破。量子重力测量仪器正在完成从实验室至商业化的转型，传统测量行业的竞争格局正被量子精密仪器的商业化改变

根据各国技术成熟度、研发进度、商业化进展综合来看，量子重力测量市场会迎来三大增长因素：

目前量子重力仪技术优势得到论证，商业化逐渐走向成熟将带来市场份额的快速增长。例如，中国重力测量仪器打破垄断，将持续替换目前的传统仪器设备，并随着重力网的建设完善而得到市场的扩张；

全球量子重力梯度仪开始从实验室向商业化和军用转型，预计3年后完成过渡，可落地的应用场景丰富；量子应用技术基础研究的进步会带动量子精密仪器相应产品数据的提升，由此增加的应用场景和市场份额将带动市场规模指数型增长。

重力测量领域的测量仪器主要分为重力仪和重力梯度仪，根据功能的不同又分为相对、绝对测量仪器。量子重力测量仪器方面，因为基于冷原子干涉仪的量子重力测量仪器属于绝对测量仪器，所以仪器主要分为量子绝对重力仪和量子绝对梯度仪。

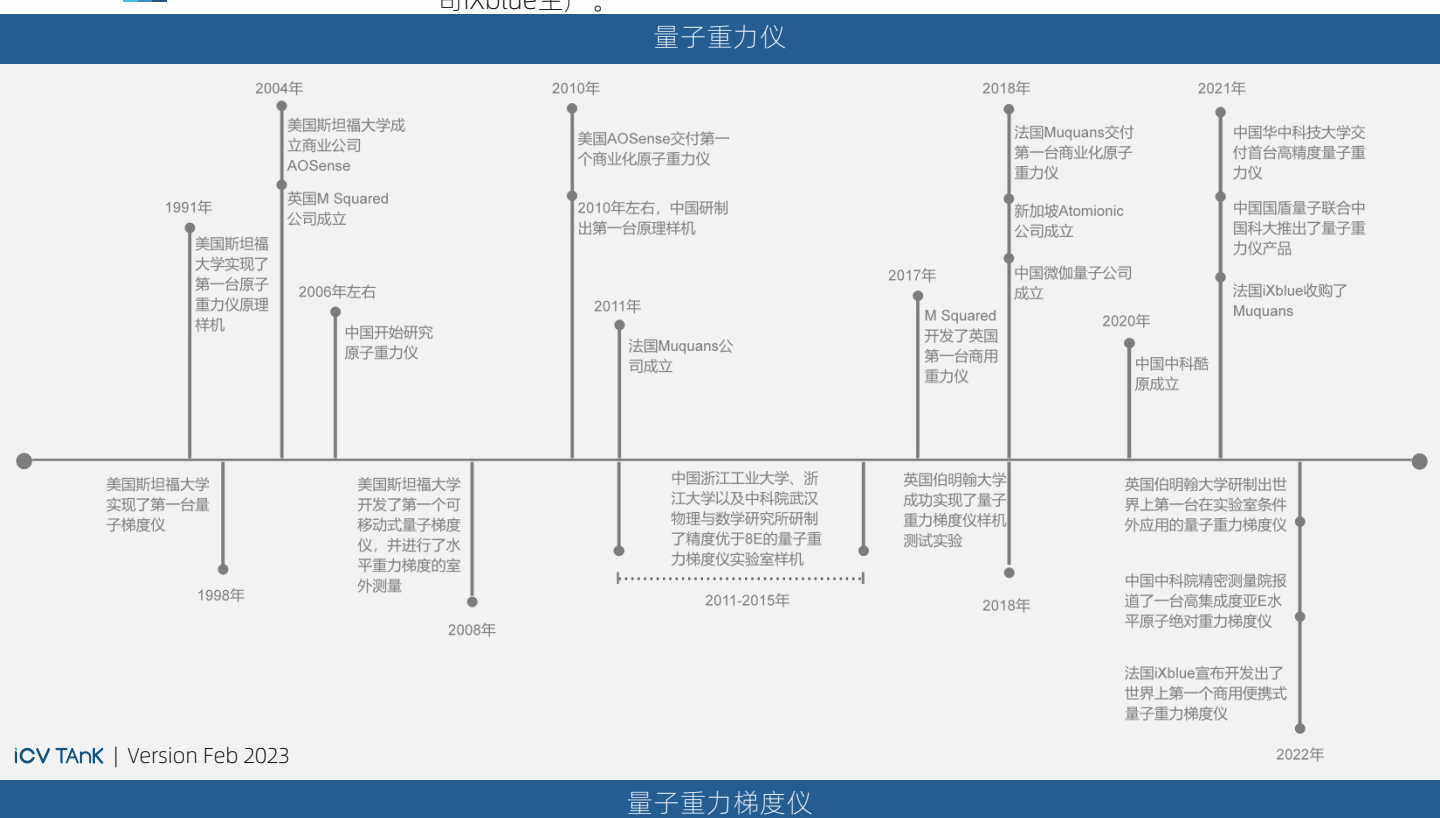
随着冷原子测量绝对重力技术的快速发展以及量子重力梯度传感器的突破，基于高精度量子地球重磁场传感器的量子地球物理探测技术已经成为深部战略矿产资源、火山活动监测、地球结构等精细化探测的颠覆性技术之一，成为国际地球物理探测装备的重点发展方向。

美国、德国、中国、日本、英国等国家在量子精密测量技术领域的研发起步较早，其研究水平始终站在前沿技术的制高点，尤其在重力场与地球物理探测方面，经过长时间的技术积累和设备迭代，技术水平相对领先、装备相对成熟。

中国的重力测量市场目前是处于被其他国家技术垄断的局面，主要进口商业量子重力仪是美国Mi-crog Lacoste公司生产的FG5-X。当前，中国本土企业正在完成量子重力仪从实验室到商业化的转型，有望通过量子信息技术在重力精密测量领域实现“弯道超车”打破垄断局面，并由此进入精密测量仪器行业。长期来看，全球精密测量行业的竞争格局可能迎来转折点。

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。量子重力梯度仪方面，其实之前已经在实验室条件下较为成熟了，2022年伯明翰大学团队首次首次将该类仪器带到非实验室环境下进行首次演示，这为商业化进展带来了重要突破，为考古、导航、城市规划等领域的传感应用打下了基础。总体来讲，量子重力梯度仪商业化相对起步较晚，但2022年也有商业化突破。据公开资料显示，首款量子重力梯度仪于2022年5月发布，由法国公司iXblue生产。

图表2-2：量子重力仪与量子重力梯度仪的发展历程



“ICV预测，量子重力仪市场快速增长点可能出现在2023年；量子重力梯度仪快速增长点可能出现在2026年。”

a. 美国发布最新量子传感政策



美国国家科学和技术委员会（NSTC）量子信息科学小组委员会（SCQIS）发布题为《将量子传感器付诸实践（Bringing Quantum Sensors to Fruition can be found）》的报告

美国在2022年3月发布量子传感器战略政策——Bringing Quantum Sensors Fruition（将量子传感器付诸实践），这是首次有国家针对量子精密测量这一领域发布独立战略规划报告。目前，中国、英国、德国、法国等已在不同程度、不同技术领域提高对量子精密测量领域的重视度，未来，将有可发布单独的计划，更加详细的指出未来战略发展方向。

报告以美国《量子信息科学国家战略概览》和《国家量子倡议（NQI）》法案为基础，讲述了当前主要应用的5类量子传感器是原子钟、原子干涉仪、光学磁力器、利用量子光学效应的装置和原子电场传感器，量子测量从研发到产业化阶段主要面临人才多样化、技术可行性、关键辅助性技术和组件和知识产权与技术转让4大方面挑战。报告针对量子测量研发、应用领域提出1-8年的短中期建议，其长期目标是通过量子技术的发展促进经济发展、安全应用和科学进步。该报告增强了美国QIS国家战略，体现出美国对量子测量领域的重视和决心。



b. 美国与中国于太空量子研究取得进展



美国宇航局空间站的超冷气泡量子研究



在美国国家航空航天局（NASA）的冷原子实验室（CAL）内，科学家将超冷原子气体变成超冷原子气泡，有助于为量子研究开辟新途径。

这种超冷原子气泡可以用于研究一种奇特物质状态的新型实验，即第五种物质状态（不同于气体、液体、固体和等离子体），这种物质状态被称为玻色-爱因斯坦凝聚态（BEC），是玻色子原子在

冷却到接近绝对零度时所呈现出的一种气态的、超流性的物质状态。在BEC中，科学家可以在肉眼可见的尺度上观察原子的量子特性。例如，原子和粒子有时表现得像固体，有时表现得像波，即呈现出“波粒二象性”的量子特性。

中国空间站解码梦天实验舱科学实验柜



空间站超冷原子物理实验系统（简称超冷柜，缩写CAPR）是中国空间站梦天实验舱主要科学载荷之一，期望为超冷原子物理研究提供一个长期在轨稳定运行的实验系统，是中国首个微重力超冷原子物理实验平台。

同时，梦天实验舱还搭载着原子钟的高精度时频实验柜I和高精度时频实验柜II。高精度时频实验系统通过舱内不同特性原子钟组合，将建成世界上在轨运行的精度最高的空间时间频率系统。该系统产生的高精度时间频率信号，利用安置于舱外的微波和激光时间频率传递载荷向地面和空间一定范围传递高精度时间频率信号。

太空量子研究其中包括了CPT原子磁力仪随中科院“力箭一号”火箭和“空间新技术试验卫星SATech”成功发射。中国把三台原子钟送入其空间站，以建立一套异常精确的天基计时系统，其中包括首台进入太空的锶原子光钟。



c. 英国与法国在量子重力测量研发方面取得成果



伯明翰大学量子重力梯度仪走出实验室

英国伯明翰大学研究人员23日在《自然》杂志上发表研究称，世界上第一台非实验室条件下的量子重力梯度仪问世。利用量子技术的传感器可找到隐藏在地下的物体，这是科学家们期待已久的里程碑，其对学界、业界和国家安全等将产生深远的影响。



法国iXblue宣布了一项科技突破，开发了首个工业世界上紧凑和便携的微分子量子重力仪（DQG）。iXblue紧凑型重力梯度仪具有高灵敏度和前所未有的稳定性，为近地表地球物理学、土木工程和重力辅助导航提供了新的视角。

iXblue推出首款量子紧凑型重力梯度仪



凭借其高灵敏度和未报告的稳定性，iXblue紧凑型重力梯度仪为近地表地球物理、土木工程和重力辅助导航提供了新的视角。由iXblue量子传感器部门开发（并验证）的DQG工业原型可以同时测量重力加速度及其垂直梯度的绝对值。



一方面，重力梯度对传感器附近的质量异常敏感，而其对振动的免疫力使其对较小物体更敏感。另一方面，重力对距离更远的较大物体更敏感。DQG提供了两全其美的结果，两个数据集的融合有望消除重力异常质量的确定及其位置之间的模糊性。

2.2 发展现状

主要进展部分主要内容为量子精密测量的商业进展、国家政策和投融资新闻等。本部分内容续接ICV联合光子盒发布的《2022全球量子精密测量产业发展报告》行业进展，起始时间节点为五月。总体而言，量子精密测量行业在2022年的商业进展中各国商业新闻活跃，受关注程度增加。

未来，随着技术成熟和系统优化，量子测量精度、稳定度、环境适应性、体积功耗等性能指标不断提升。除了相对成熟的量子频率基准、量子磁力计、量子重力仪、量子陀螺仪和量子目标识别五大方向，新技术方向和应用也不断涌现，拓宽了技术路线，为更多物理量（如温度、应力等）的精密测量奠定了理论和实验基础。未来，量子精密测量产业将沿着专用级（科研、国防）、工业级（能源、航空）走向民用级（医疗、交通）的市场方向发展壮大。

- 1. 替代现有精密测量行业市场份额。例如，芯片级分子钟替代高稳晶振；
- 2. 满足科技迭代后产生的新兴需求。例如，电池质量检测、脑机接口；
- 3. 制定新的行业标准和评估体系。例如，计量与标准制定。

图2-3: 当前量子精密测量主要技术路径进展

应用领域	传感器	阶段	落地时长
时间测量	原子钟 分子钟	商业化	现有/短期
磁力测量	磁力计	工程样机向商业化过渡	短期
重力测量	重力仪 梯度仪	工程样机向商业化过渡	短期
惯性测量	加速度计 陀螺仪	工程样机	中期
目标识别	原子天线	工程样机向商业化过渡	短期
目标识别	量子雷达	光量子雷达为工程样机； 量子纠缠雷达为理论研究	长期

ICV TAnK

总体发展态势方面，量子精密测量领域具有巨大的发展潜力和广阔的市场应用前景，各技术路径都有相应的研发进展。量子时钟源、量子磁力计、量子雷达、量子重力仪、量子陀螺、量子加速度计等量子传感器领域均有样机产品报道，主要为军事、航天航空、科学研究等领域应用。

量子测量技术产品精度已超出传统检测机构或者第三方认证机构的传统能力范围。需要研究建立量子测量的标准与测评认证体系，明确量子测量产品指标及测试方法，打通检测认证环节。

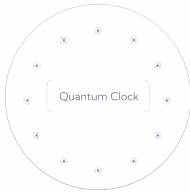
量子测量产业的下游民用市场还待挖掘，目前有原子钟在通信市场和电力市场运用。磁场测量在医疗与车载导航有相关报道，未来计量应用可能会更早进入民用市场，例如微波的量子计量、标准的计量设备。具体的应用结合点以及解决方案，有赖于量子测量企业与垂直行业用户深入交流合作才能明确。可通过在典型行业试点应用取得一定成果后，让更多用户了解量子测量技术优势，进一步开展跨行业领域推广。

未来量子传感器向小型化、低功耗、低成本发展将有效牵引上游产业发展，促进元器件、组件模块的加工工艺升级、性能指标提升以及制造成本下降，实现元器件的紧凑化、芯片化，从而反向带动量子传感器进一步小型化、降成本。

2.2.1 量子时钟

微波原子钟商业化发展成熟，正向芯片化、低成本发展。光学原子钟为目前重点研发方向，向更高时间精度突破

图表2-4: 量子时钟主要分类



原子钟的研究正从微波频带向光学频带转变。由于光学频率比微波频率高4~5个数量级，在相同的跃迁谱线宽条件下，光学原子钟的不确定度精度将优于微波原子钟。与此同时，芯片级分子时钟（CSMC）也取得了新的研究和商业化的进展。芯片级的原子钟（CSAC）也已经成熟，并已商业化可用。

光钟即是光学原子钟。也是目前量子精密测量研究的重要研究方向。目前原子光钟主要为原子和离子技术路径体系：一是囚禁冷却的中性原子团，二是囚禁冷却的单离子。目前，囚禁方法主要是利用光晶格和离子阱，冷却的话目前主要采用的是激光冷却方式。

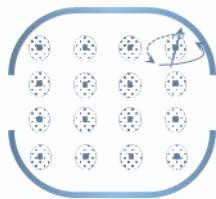
光学原子钟可以通过微波原子钟来进行理解，它们的原理和架构类似，包括发波振荡器、计波探测器和原子控制单元。光学频率也可以理解就是微波频率的升级。

不同的是，激光频率会远远高于微波，所以光钟结构更加复杂，并且要用不同类型的原子替换铷原子之类的原子，以便检验激光可靠性（对原子类型的主要要求，便是新原子必须能响应更高频率的光波），科研人员目前还在持续研究来判断哪一种原子适合光钟，目前候选原子主要为锶，镱，汞，钙、铝这类碱土金属。

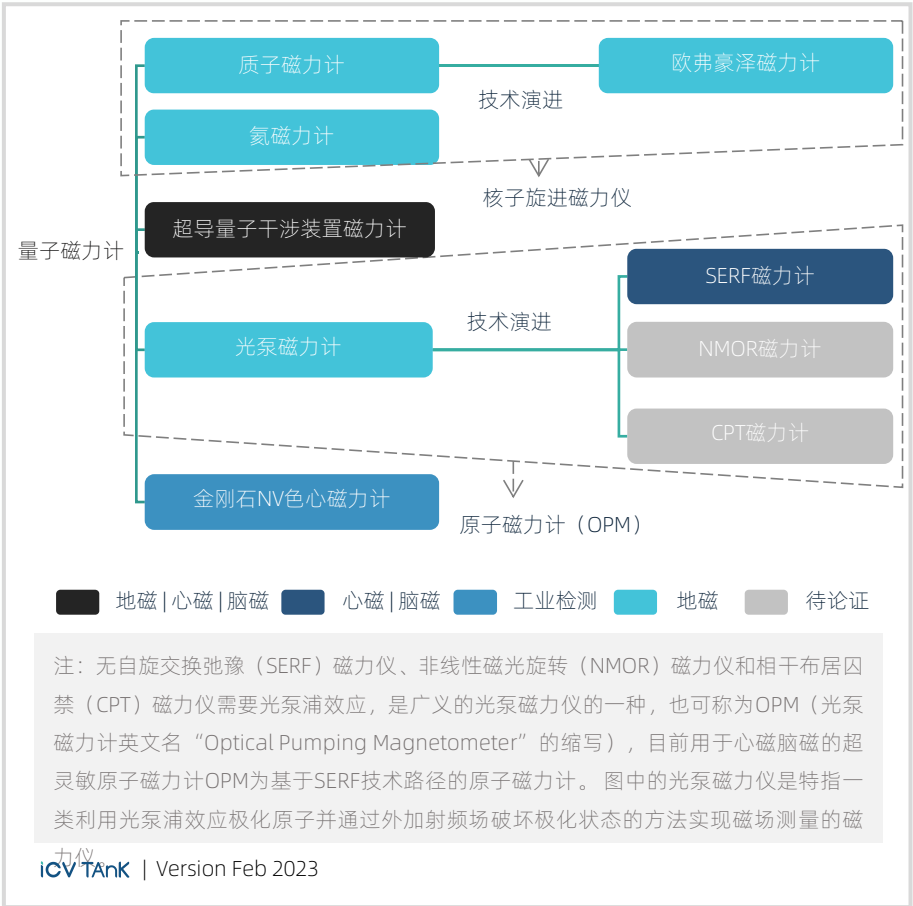
原子和离子的主要区别在于，离子光钟一般囚禁单个离子，而中性原子则囚禁较多数量的原子。离子光钟的单离子可以避免多个离子之间会有库伦相互作用，运动效应也会造成谱线增宽。但一般而言，光晶格钟囚禁了较多数量的原子，会为钟跃迁谱提供更好的信噪比，在不稳定度上可能会优于离子光钟。但最终这两类光钟直接输出的都是光频率信息，归类于光钟。

2.2.2 量子磁力仪

产业化进一步推进，在生物医学、科学研究、军事国防和工业检测等重要领域发挥重要价值。目前，原子磁力计与金刚石NV色心磁力计技术路线得到重点关注，可能推动高端医疗器械的更新迭代，并且成为纳米科学研究的重要工具



图表2-5: 量子磁力计主要分类



量子磁力计更是量子精密测量产业化中的主要代表之一，目前商业化相对成熟。其利用量子力学原理，量子精密测量技术有望突破经典测量的极限，在灵敏度等指标上有较大的优势。

趋势1：量子磁力计在国防军事应用中已有发展方向

量子磁力计在军事方面的用途包括不依赖于GPS等当前传统地理定位技术的地磁导航、反潜战等。当前，量子磁力计已在磁异常地图测绘与水上反潜技术得到应用，磁异常地图用于惯性导航与量子导航的定位，不依赖GNSS（全球导航卫星系统）与雷达，反潜技术主要通过水平面上的机载悬挂航空磁力仪对水下目标识别。

未来，量子磁力计将有以下几种军事应用融合发展：第一，量

子磁力计完成地理测绘地图后，可应用于量子导航系统，与量子重力仪等量子传感器配合使用，提供更精准的信息，减轻对GNSS、雷达的依赖；第二，用于反潜战的舰载磁力计的使能技术仍需提升，增强对潜艇或水雷的目标识别磁性探测能力，显著地提升水下作战能力；第三，可穿戴式的脑磁探测设备将有可能安装在士兵头盔中，远程实时反馈作战人员生理状态和指导作战，及时反馈作战人员情报汇报。

趋势2：经典磁测量传感器逐步“量子化”

一些基于经典物理技术的传感器正在逐渐过渡为量子传感器。这一趋势发展的原因一方面是量子传感器基于对量子的操纵，测量精度可突破经典极限；另一方面，量子系统赋予了量子传感器更好的稳定性，因其不受制造差异、缺陷、杂质或老化的影响，这使得它们更适用于精密测量。量子磁力计技术是经典传感器走向量子化的先锋，目前，商业化较为成熟的产品有质子磁力计、欧弗豪泽磁力计、光泵磁力计、SQUID磁力计；正在进入商业化的产品有SERF磁力计、金刚石NV色心磁力计。

经典传感器向量子传感器的发展也将推动社会诸多领域的发展。例如，卫星上使用的磁力计要求性能稳定、工作时间长，量子磁力计刚好符合这一特性；高端医疗设备的采购成本和运营维护成本降低，有助于其更广泛的应用从而普惠大众；新型快速精准检测器材的应用，可提升诊断效率，甚至在COVID-19时代或未来其他疫情下，极大地为社会带来便利；基于量子磁力计的电池缺陷检测技术有望短期能实施落地，维护人们的生命财产安全；高灵敏度的磁成像显微镜能推动基础科研发展。

趋势3：SERF技术将为下一代脑磁图仪器赋能

当前，医院使用的脑部与心脏诊断技术——脑磁图和心磁图绝大多数是利用SQUID技术获得磁场数据，但SQUID设备占地面积大、装置复杂、价格昂贵、运行环境苛刻（需液氦制冷、需磁屏蔽）等问题限制其大范围应用，广泛大众无法受益于这项高端医疗检查。并且，氦气属稀有气体，全球资源正在消耗，尤其是脑磁图，其背后的技术亟待新的方式来摆脱既往发展限制。

就目前发展状态来看，在OPM基础上发展的SERF原子磁力计有望改变现状。SERF不仅成本低于SQUID，并且具有对低频信号敏感、室温运行、功耗低、体积小、可穿戴等优点，分辨率也与SQUID接近或超越，适合大规模推广应用，这也是OPM在基础物理和实际应用研究中得到大量关注与研究的重要原因。公开信息显示，目前，基于SERF磁力计的脑磁图设备，价格约为SQUID磁力计的二分之一至三分之一，未来大规模商业化后，脑磁图设备的价格有望降得更低，将有更多的医疗机构有能力采购

，相关的诊断费用将大大降低。

趋势4：量子磁力计应用前景广阔，金刚石NV色心磁力计与原子磁力计具有巨大潜力

基于量子自旋技术的金刚石NV色心磁力计与原子磁力计是近些年最有望商业化的量子传感器，适用行业和应用场景也较为多样化。

目前，量子磁力计相对成熟的应用领域为生物医疗、物理科研和地磁勘探。在医疗领域，基于SERF磁力计的新一代脑磁图和心磁图在实验演示方面已经验证了可行性，短期内可实现商业化，有望替代SQUID市场份额，或打开新的小型化可穿戴弱磁测量市场。此外，SERF原子磁力计还能解决锂电池品质检测与分级等问题，CPT与NOMR技术的研发也让人期待原子磁力计实现更多落地应用。

在物理科研、地磁导航、军事国防、工业检测等应用领域，目前主要产品为质子磁力计等早期量子磁力计。短期内，金刚石NV色心磁力计可能会成为科学研究、无损探伤方面使用的主要量子磁力计，因其生物兼容性好，空间识别能力强，是目前各学术团队、各国家提及频次高、受关注度高、发展较快的技术。金刚石NV色心磁力计尚未实现物理上的极限，诸多团队正为之努力，它有望成为新一代量子磁力计，并满足研究单个细胞、蛋白质、DNA或进行单分子识别、单原子核磁共振等等新兴科研需求。

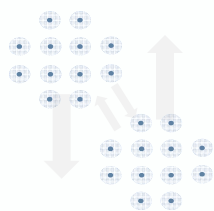
趋势5：多国发布政策支持量子磁力计研发，相关研究机构开展布局

美国、英国、德国、法国、中国、澳大利亚等国均公开了量子磁力计相关的研究计划和项目。其中，在量子传感器领域的磁测量相关研究的固态量子传感器（金刚石NV色心磁力计）与光泵碱磁力计（OPM）被提出是重点研究发展方向。美国最新发布的《将量子传感器付诸实践》（Bringing Quantum Sensors to Fruition）中，重点提出了光学磁力计与NV色心磁力计的研究进展与应用前景，举例说明了其巨大的应用价值与潜力。

此外，还有其他国家高校开展了相关基础研究布局。例如，日本东京工业大学展开对于固态量子传感器应用于MEG领域中的研究；中国北京航空航天大学大科学装置研究院开展了基于原子自旋SERF效应、基于金刚石色心等量子精密测量技术的研究。当前有很多处在不同研发阶段的量子传感器，多国均在统一协调，缩短产品推向市场的进程，并加快技术转让，同时也不断加强本国在各自领域的领导地位。在尽可能减少对性能影响的情况下，小型化、紧凑化、降低成本是各大中上游供应商的重点追求目标。

2.2.3 量子重力测量仪器

量子重力仪商业化进一步成熟，量子梯度仪商业化突破，首例商业产品出现；量子梯度仪比量子重力仪更有应用价值



图表2-6: 量子重力计主要分类



量子重力传感器原理为在真空环境中利用激光和磁场捕获、控制冷铷原子的量子态，通过测量不同能级的原子比率来实现重力场和重力梯度场的测量。

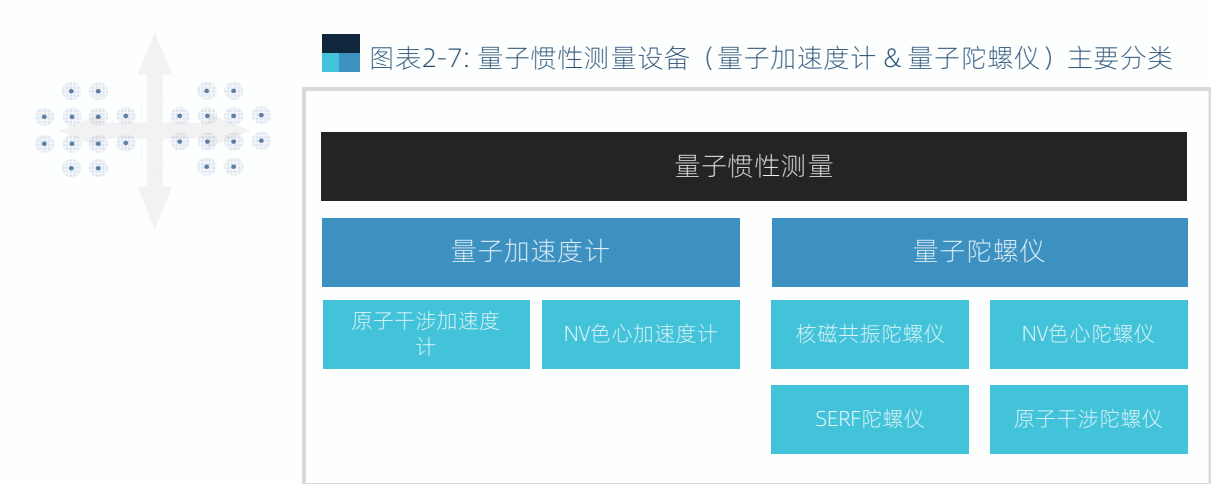
经典重力测量技术具备较高精度，但长期以来一直受到机械磨损和较低的采样率的限制，这使得它们无法在移动平台上进行长期的连续观测和应用。原子干涉重力仪和重力梯度仪具有高精度、低漂移、无机械磨损等优势，是极具应用潜力的新一代精密重力测量仪器。

量子重力仪方面，目前已经具备很高的成熟度并已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。

量子重力梯度仪方面，特性具有测量精度高、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。量子重力梯度仪可以测量绝对重力梯度，理论上不存在漂移，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。

2.2.4 量子惯性测量仪器

冷原子技术能实现自校准导航，将极大提升潜艇无源导航精度；NV色心技术可能使陀螺仪进一步小型化；全量子惯性导航与量子惯性辅助导航



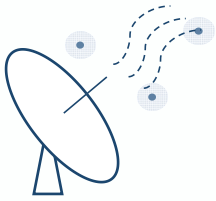
量子加速度计运用的技术主要是冷原子干涉技术，这个技术原理和目前受关注度比较高的冷原子重力仪一样，不过重力仪是测量重力加速度，加速度计是某个方向的加速度，需要激光或者阱去把垂向方向的重力影响给抵消掉。如果冷原子加速度计在太空的环境、重力影响相对较小的情况下，会相对容易实现一些。

和经典加速度计的比较，冷原子加速度计优势是高精度、无漂移、有引力图定位功能。不过冷原子加速度计也可以结合MEMS配合使用，可以通过自生特性和自校正功能，来避免经典仪器会产生的漂移和误差积累。目前，冷原子加速度计这类仪器体积偏大，所以装载的主体还是在大型载具上，比如潜艇、轮船。如果未来能将体积改进缩小，可能会有更多的应用场景。有相关文献显示，NV色心加速度计方面，优点是方便集成和微型化，并且会比传统上的MEMS更具有优势。单个NV色心就能同时完成三轴的加速度检测。

量子陀螺仪方面，技术路径相对会更多一些。发展方向为：提高灵敏度；小型化；开发将量子陀螺仪与其他传感器（如加速度计和磁力计）集成的方法，以提供更完整的环境图像；增强鲁棒性（提高量子陀螺仪的可靠性和稳定性，使其更能抵抗外部干扰和环境条件）；探索量子陀螺仪的新应用，例如在自动驾驶汽车和卫星的导航和控制系统中，以及在物理和工程中的精密测量中。

2.2.5 量子雷达

侦测目标；大气、风速等测量；单光子成像量子，增加探测距离，探测速度，生成图像。未来利用量子特性识别隐形目标



量子雷达根据发射端和接收端工作模式的不同为三类：

1. 量子发射、经典接收，主要包括干涉式量子雷达；
2. 经典发射、量子接收，如量子增强激光雷达；
3. 量子发射、量子接收，如量子照射。

根据探测信号形式的不同，量子雷达还可以分为单光子探测量子雷达和多光子探测量子雷达。

1. 单光子探测量子雷达：发射机发射单光子或纠缠光子脉冲探测目标可能存在的区域，如果目标存在，则信号光子将会以一定的概率返回至接收机处，通过对返回单个光子状态的测量可以提取出目标信息；
2. 多光子探测量子雷达：发射机发射相干态电磁波或纠缠态电磁波，利用发射信号中多个光子的关联性进行目标探测，接收机处通过对单个光子状态的测量和辨识完成目标探测。

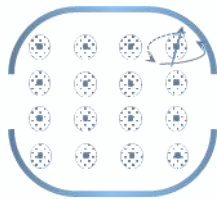
量子雷达是一种新兴的技术，它利用量子特性进行测量。量子雷达区别于经典雷达的特点主要包括：信息载体与信号体制不同、信号处理手段与信息获取方式不同、发射机与接收机结构和器件不同。以下是量子雷达的未来发展方向：

- 提高空间分辨率：通过提高量子源的纯度和效率，以及更好地利用量子信息，来提高空间分辨率。
- 提高深度探测范围：通过开发新型量子源和新型信息处理方法，提高量子雷达的深度探测范围。
- 增强鲁棒性：通过开发新型量子传感技术，增强量子雷达对干扰和环境的适应能力。
- 扩展应用领域：通过开发新型量子雷达系统，扩展量子雷达在医学、安全、环境监测等领域的应用。

总的来说，量子雷达未来的发展方向是提高测量精度、深度和鲁棒性，并扩展其应用领域。

2.2.6 量子天线

特种通讯系统性能增强，作战通信和保密，支持抗电子战，对军用天线性能进行强化

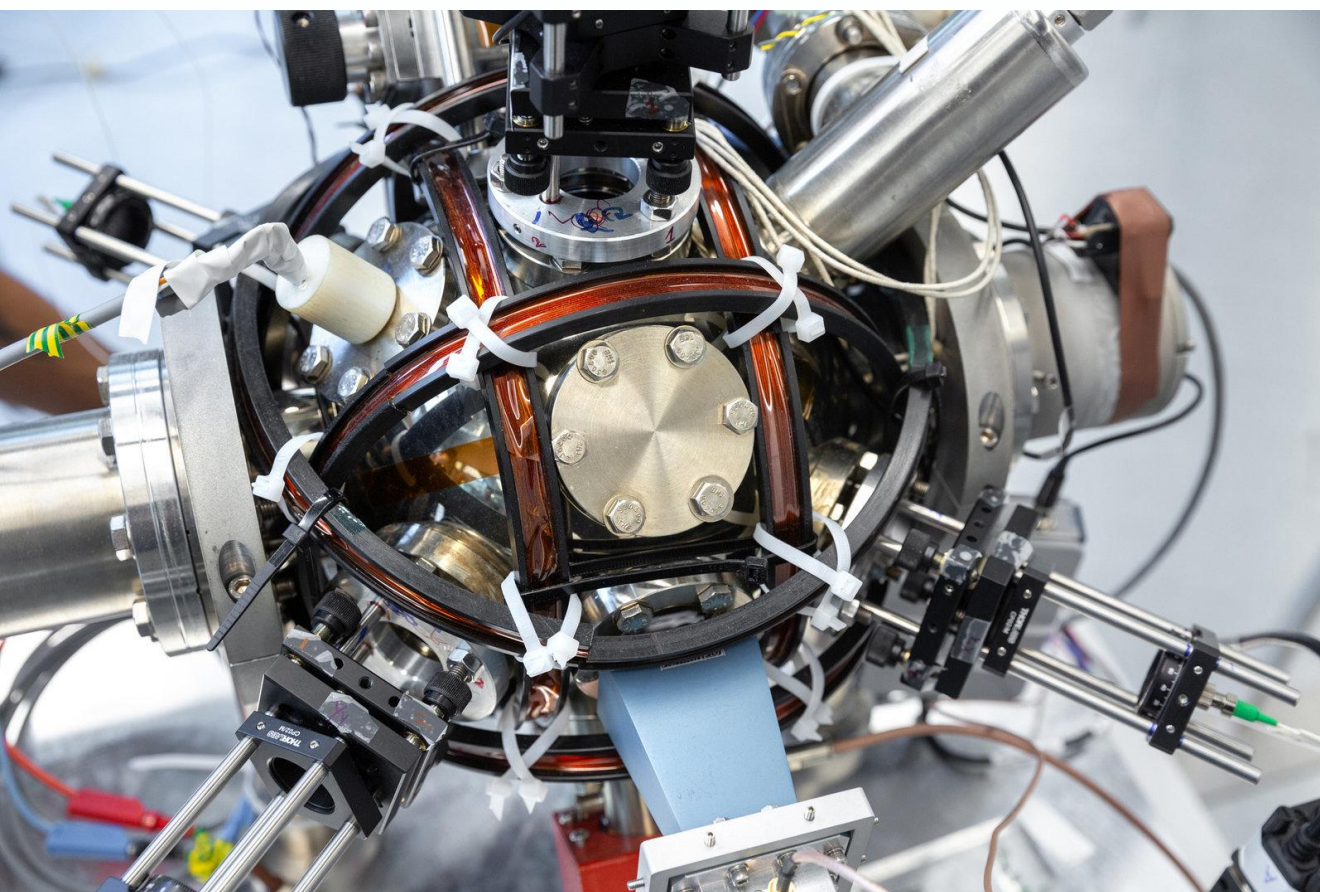


里德堡原子天线用于射频电场检测。原理为里德堡原子能够以高灵敏度和空间分辨率探测弱电场。目前，里德堡原子已被用于检测各种频率范围的电场，包括微波、太赫兹和射频（RF）场。里德堡原子电场检测的灵敏度可以达到每米几毫伏的量级，这比许多其他类型的电场传感器高得多。这项技术正在精密测量、安全和监视以及量子计算领域进行研究。

与传统天线相比，原子天线有可能通过提供改进的信号接收和传输能力来彻底改变无线通信技术。未来，原子天线的发展很可能集中在：

- 小型化：减小原子天线的尺寸，使其适用于便携式设备，例如智能手机和笔记本电脑。
- 与现有技术集成：开发将原子天线与现有通信系统（如 5G 网络）集成的方法，以增强其性能和功能。
- 提高效率：提高原子天线的效率，以降低能耗并提高其整体性能。
- 改进功能：探索原子天线的新应用和功能，例如量子通信，以扩大其潜在用途。

总的来说，原子天线的未来是光明的，许多激动人心的发展即将出现，有望以创新的方式增强无线通信技术。



Sources: M square quantum accelerator

Chapter 3

产业链分析

3.1 产业链上游分析

产业链上游多数为美国、英国、德国、日本的企业，提供可为量子系统使用的激光、低温系统、磁体环境、真空系统、电子元器件、线缆、材料（特殊金属、金刚石、稀土等）等。

图表3-1：产业链上游企业图谱

电子元器件	
激光	
低温系统	
磁体环境	
真空系统	
材料	

注：作为产业生态图，以上LOGO在上游和中游仅体现商业化公司。以上LOGO仅出现一次，但不代表公司在其他环节无布局或无产品。

ICV Tank | Version Feb 2023

目前，量子测量技术路线繁多、原理差异性大、产业的上游材料、器件提供商种类较多。当前全球量子精密测量产业发展在早期阶段。产业资源集中在核心系统设计及整机的工程化开发中，导致上游有实力的元器件及工艺厂商在面向量子产业的研发投入不足，制约产业整体发展。

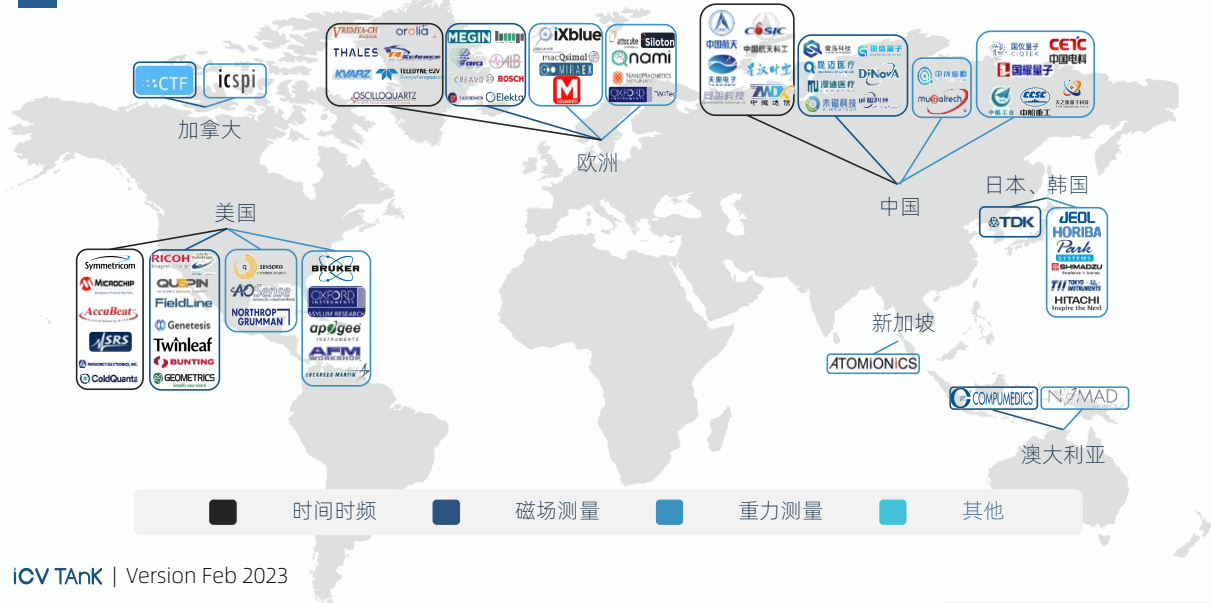
量子精密测量产业的上游发展现状包括以下几个方面：

- 研发和生产：这部分包括对量子精密测量技术和设备的研发和生产，如量子传感器、量子计量仪器等。
- 器件供应：量子精密测量需要一系列的器件，如稳定的激光器、低温技术等。
- 技术支持：这部分包括技术培训、技术服务等，为客户提供技术支持和咨询。

目前，随着技术的不断提高和市场需求的增長，量子精密测量产业的上游正在快速发展。同时，国家的支持政策也对其发展产生了积极影响。

3.2 产业链中游分析

图3-2：量子精密测量全球主要参与者分布



全球量子精密测量初创企业主要位于欧洲、美国和中国		国家	企业数量
根据量子精密测量产业生态图，将中游市场化的供应商进行国家/地区、技术领域标注，可以看出，全球当前主要的量子精密测量市场参与者主要分布在北美（美国22家、加拿大2）和欧洲（25家）；其次是亚太地区，中国（20家）、日本（6家）、澳大利亚（3家）、韩国（2家）、新加坡（1家）。 美国、欧洲、中国在时间时频、磁场测量、重力测量、科研和工业仪器等方面均有涉及。中国还在量子雷达领域拥有相关的初创公司。日本与韩国目前在磁场测量、科研和工业仪器方面发展比较成熟，但在时间时频与重力测量领域仍保持在实验室研究阶段，没有企业可以提供具体产品。加拿大与澳大利亚在磁场测量、科研和工业仪器方面有所涉及。新加坡在重力测量领域有一家初创公司提供量子重力仪相关产品与服务。 目前，欧美国家在量子测量领域研究基础深厚，技术产品种类比较丰富，产品类型包含原子钟、原子重力仪、量子磁力计、金刚石色心显微镜、里德堡原子、量子陀螺仪、量子加速度计等多个技术和应用领域，并积极在通信网络、地质勘探、航天国防、电力能源等领域探索应用。其中部分企业已获得各国国防部门军事研发订单。量子测量企业主要由高校和科研院所的科研团队创立，产品类型大致相近，相较于国外缺少量子陀螺仪与量子加速度计的商业化公司。目前，部分企业的客户同时兼顾军民两用。近年来各企业与科研机构正在不断扩展市场，探索量子测量技术在不同领域、不同行业的应用场景与解决方案。		欧洲	25
		美国	22
		中国	20
		日本	6
		澳大利亚	3
		加拿大	2
		韩国	1
		新加坡	1

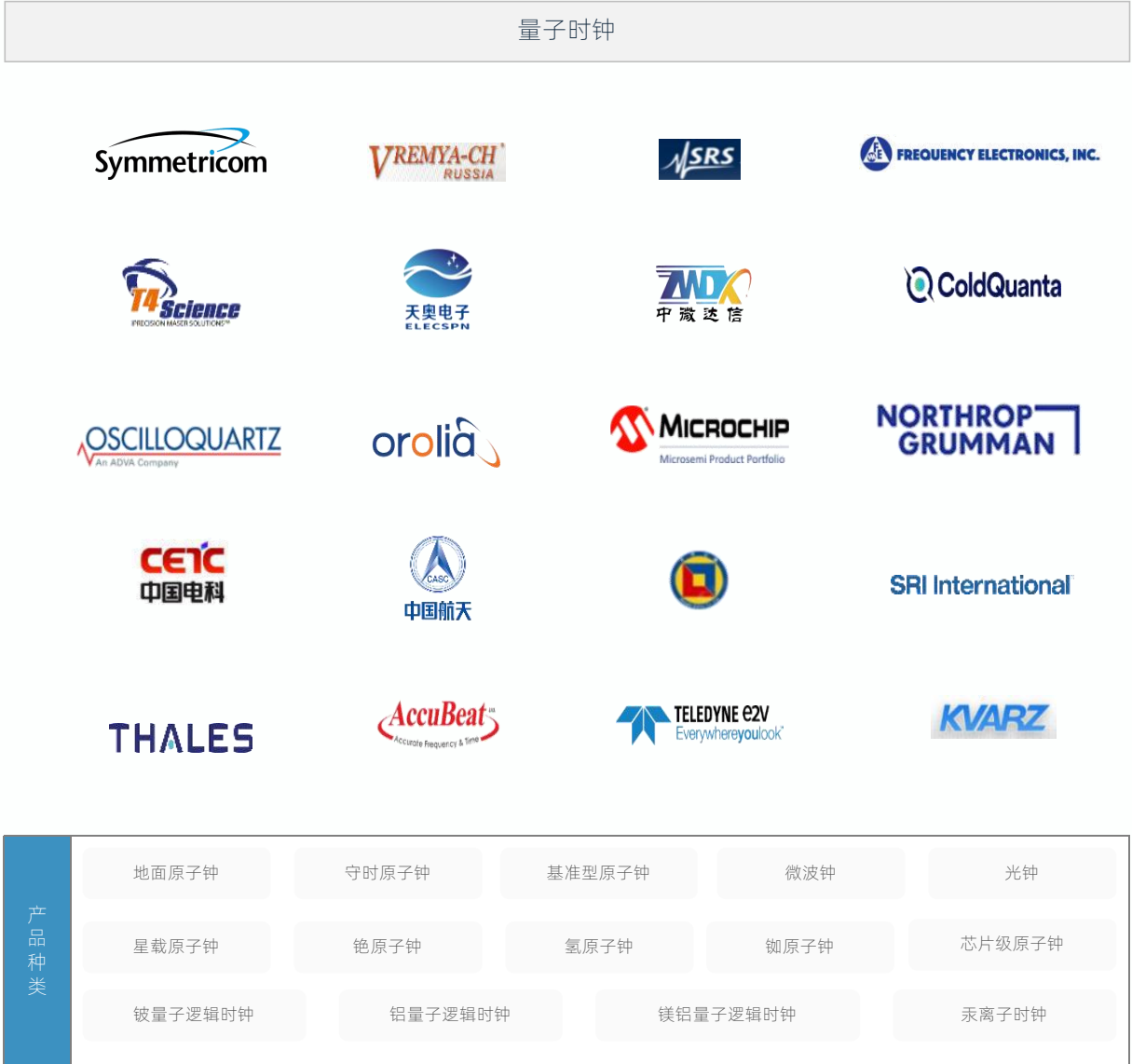
量子测量技术门槛比较高，目前大部分量子测量企业都是从高校或者科研院所孵化

量子精密测量是军民两用技术，目前技术路径研究方向众多，应用领域覆盖面广。量子精密测量的主要发展方向为军事运用与科学研究，全球范围逐步开始出现由高校和科研机构转化，专注于量子测量技术产品研发和应用推广的初创企业。量子精密测量领域已有较为成熟的军用产品与使用案例，并且部分成熟技术方向已开始进入从工程样机向商用产品的过渡阶段。但是总体而言，量子测量商业化应用和产业化规模仍较为有限，发展还处于初级阶段，产业链及生态尚不成熟。量子测量技术门槛比较高，需要量子物理学和测试计量等领域的知识和技术积累，对高端专业人才素养要求严格。目前大部分量子测量企业都是从高校或者科研院所孵化。

3.2.1 量子时钟产业链分析

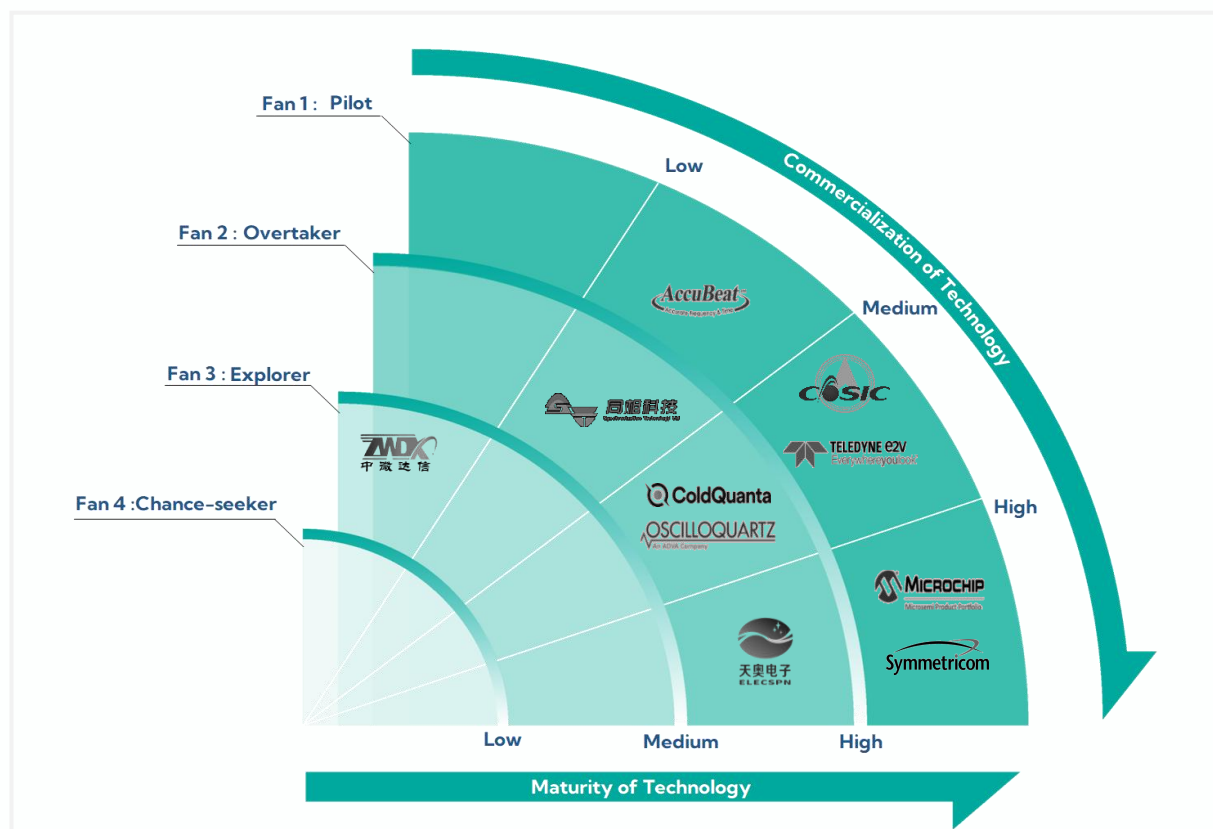
量子精密测量领域的产品和技术种类较多，产业生态尚在发展中，但微波原子钟、超导干涉仪磁力计、冷原子重力干涉仪、原子力显微镜、电子顺磁共振波谱仪等相对成熟的产品已有相关产业链。其他已在实验室完成原型机或逐步商业化的产品其产业链也已逐渐成型

图表3-3：量子时钟企业图谱



注：作为产业生态图，以上LOGO在上游和中游仅体现商业化公司。以上LOGO仅出现一次，但不代表公司在其他环节无布局或无产品。

图表3-4: 量子时钟领域CTF模型



ICV TANK | Version Feb 2023

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）。

量子时钟方面，光钟为Microsemi（Microchip）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。

3.2.2 量子时钟主要公司介绍



Microchip Technology Incorporated

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。2001年由DARPA资助，参与者包括NIST、桑迪亚实验室、Symmetricom（现为Microchip，Microsemi的母公司）、Teledyne Scientific公司等。



图表3-5：Microchip芯片级原子钟示意图



OscilloquartzSA

Oscilloquartz 是一家瑞士公司，专门从事各种应用的频率控制和同步解决方案的开发、生产和销售。其产品组合包括振荡器、石英晶体、GPS 和 GNSS 规范振荡器、频率合成器、保持单元和计时设备。该公司服务于广泛的行业，例如电信、数据中心、能源和公用事业、军事和航空航天



天奥电子

中国公司，成立于2004年，于2015年上市（天奥电子，002935），中电十所控股43.3%。主要从事时间频率产品、北斗卫星应用产品的研发、设计、生产和销售。根据公司年度报告显示，产品主要分为北斗卫星用产品、频率系列产品、时间同步系列产品。





中微达信

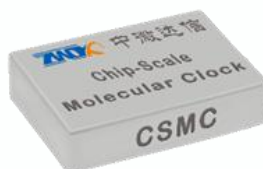
中国公司，成立于2017年，在量子计算领域提供测控系统已拥有常温量子测控系统超导&硅基量子点，将开发低温量子测控芯片，在量子精密测量领域已开发了全球首款芯片级分子钟，将开发量子温度传感器芯片量子时频同步、量子孔径阵列等创新产品。



图表3-6：中微达信芯片级分子钟原型产品图



微波时钟



光学时钟



ColdQuanta

美国公司，成立于2007年。公司专注于冷原子量子技术，当前产品包括特高压玻璃电池、冷原子源、磁光阱、阿尔伯特：量子物质机器、俘获离子装置、原子钟、射频接。公司已为国防部、海军研究办公室开发便携式原子钟，这一新的原子钟可以实现精确计时，为基础设施提供GPS支持。



图表3-7：ColdQuanta公司原子钟产品图



微波时钟



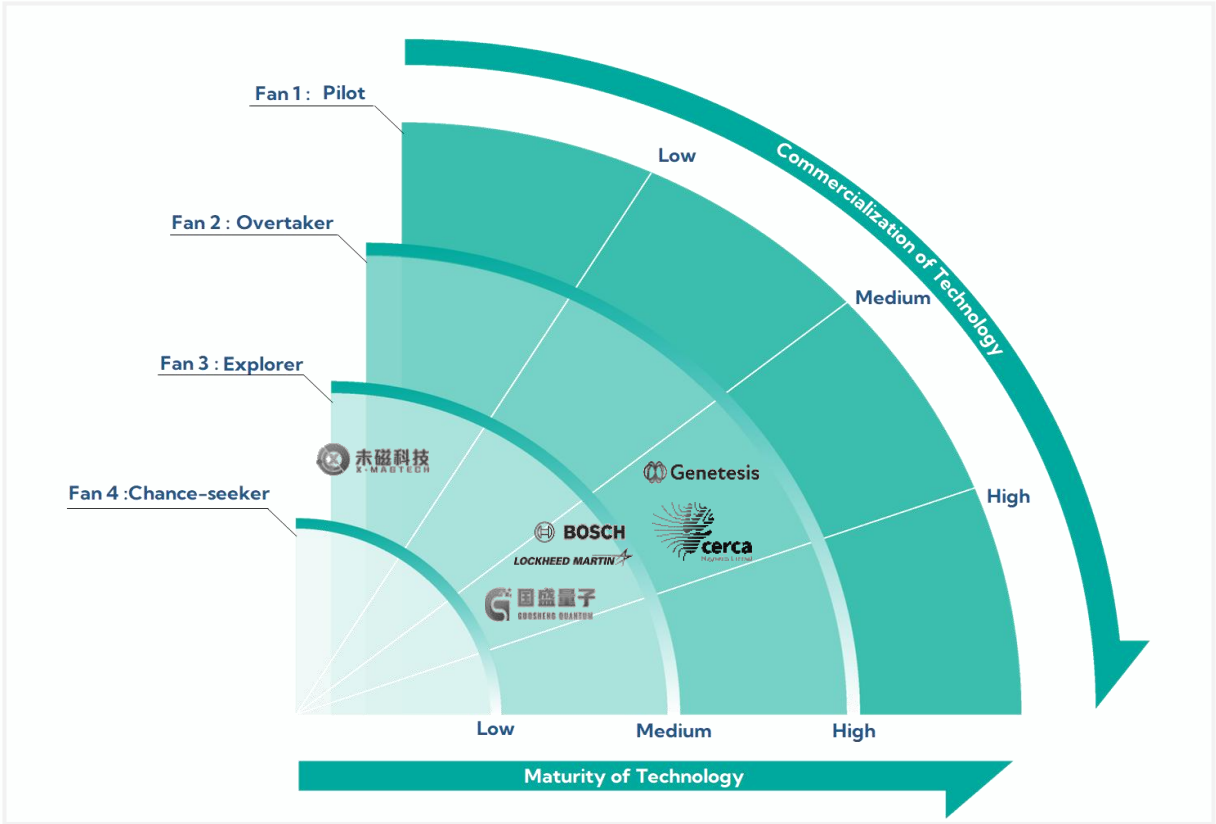
光学时钟

3.2.3 量子磁场测量产业链分析

图表3-8：量子磁场测量企业图谱



图表3-9: 量子磁场测量领域CTF模型



iCV TANK | Version Feb 2023

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色心磁力计可能会去抢夺市场，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。中国虽然初创企业多，但脑磁图测量相关招投标信息都为其他国家厂家制造。

3.2.4 量子磁场测量主要公司介绍



Genetesis

2017年通过采购原子磁力计开始进行基于原子磁力计的心磁图仪开发，推出了全球首台基于原子磁力计的非超导式心磁图仪CardioFluxTM，并通过云计算平台采用机器学习算法远程实现数据收集与处理。产品于2019年获得美国FDA 510K认证，并在2020年12月正式获得了FDA的“突破性影像设备”的资质认证，在美国多家医院使用。据公布，其临床试验人数已接近2000人。



QuSpin

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。目前已拥有零场磁力计与全场磁力计。零场磁力计是一种超灵敏矢量磁力计，可在低场环境中工作，主要应用在脑磁图、胎儿心磁图、磁松弛测量等方面。全场磁力计是一种紧凑的高灵敏度标量磁力计，可以在地球的磁场中运行，可以解决非常微小的场变化，主要应用在地球物理学、空间、矿物和能源勘探、未爆弹药探测等方面。



图表3-10：Quspin公司磁力计产品图





Cerca Magnetism Limited

肯特Magnetic Shields Limited (MSL) 与诺丁汉大学合作开发。将向市场推出世界上最先进的功能性可穿戴大脑扫描仪。它旨在让人们在被扫描时自由移动。市场的主要竞争对手正在收购中小型企业，以扩大其产品组合并提高其制造能力。



杭州昕磁科技有限公司

杭州昕磁科技有限公司2015年孵化于浙江大学创新技术研究院，是一家医疗高端弱磁成像设备研发商，目前与国外同步研发出新一代基于量子精密测量技术（基于原子磁力计的）一心脏生物磁检测系统（QBM-C2049型）。该系统的核心技术和产品拥有完全自主知识产权，设备研发复杂度、生产成本和使用成本等超越国外同类仪器



安徽省国盛量子科技有限公司

成立于合肥国家大学科技园，目前已研制出基于量子技术的多款传感设备和量子系列产品，主要面向的客户包括全球研发制造、生产检测等单位，主要涉及领域包括：量子测量、量子传感、量子光学、量子芯片、量子材料、量子教育等。



3.2.5 量子重力测量产业链分析

图表3-11：量子重力测量公司图谱

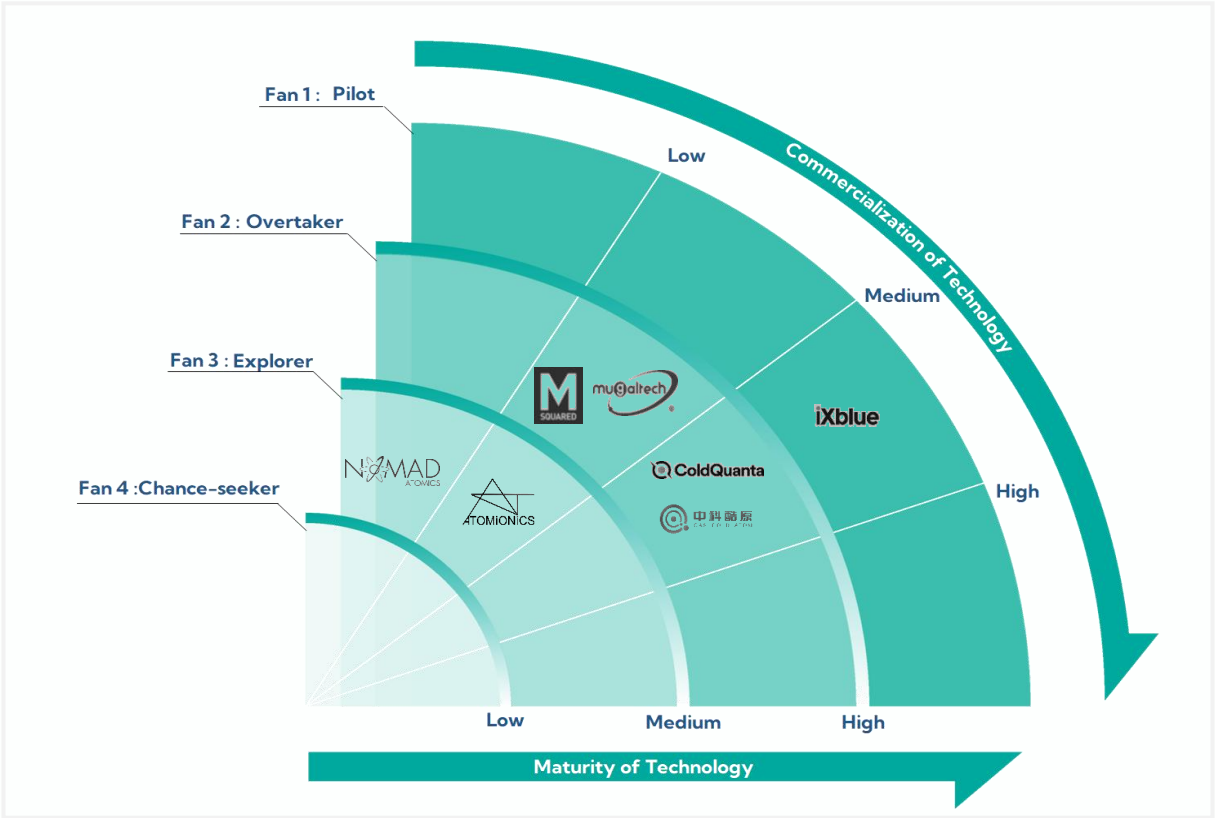


量子重力测量方面，目前仅有基于冷原子干涉仪技术路径，并且都为绝对测量仪器，该类仪器被国外垄断并且市场成熟，时常搭配相对重力仪使用。目前，美国2家、英国1家、澳洲1家、中国2家。量子重力测量仪器的主要参与者包括：AOSense（美国）、M squared（英国）、Atomionics（新加坡）、iXblue（法国）、Muquans（法国，被IXblue收购）、国盾量子（中国）、中科酷原（中国）、微伽量子（中国）、Nomad Atomics（澳洲），全球分布如图所示。

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。



图表3-12: 量子重力测量（量子重力仪 & 量子重力梯度仪）领域CTF模型



3.2.6 量子重力测量主要公司介绍

iXblue

iXBlue是一家领先的海洋科技公司，总部位于法国，成立于2000年。公司专注于为海洋科学、勘探和渔业等领域提供创新的解决方案。其产品包括海洋观测和调查系统、导航和定位系统、水下机器人、频率管理解决方案等。iXBlue与世界各地的海洋研究机构和政府部门保持着密切的合作关系，以推动海洋科学和技术的发展。

iXblue

图表3-14: iXblue公司重力测量产品图



量子重力仪



量子重力梯度仪



中科酷原科技（武汉）有限公司

中国公司，成立于2020年，公司致力于原子重力传感器及其相关光学、电子等产品的研发和技术服务，为重力精密测量相关研究和应用提供可靠的产品和解决方案。公司技术团队由中国科学院精密测量科学与技术创新研究院从事冷原子物理研究的核心队伍组成。公司技术团队先后研制了原子重力仪、原子重力梯度仪等量子传感器。

中科酷原
CAS COLD ATOM

图表3-15: 中科酷原重力测量设备等产品图



量子重力仪



桌面磁光阱(Compact-MOT)



AOsense

美国公司，成立于2004年。公司在精密导航、时间和频率标准、重力测量领域，的创新原子光学传感器的领先开发商和制造商。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DARPA、空军、陆军、海军、NASA、NSF、DTRA 和情报界资助的众多政府资助项目设计和建造了最先进的冷原子技术。曾经获得过美国国防部 SBIR/STTR项目资助。



M Squared Laser Ltd.

M Squared 是一家总部位于英国的光子学和量子技术公司，成立于 2003 年。M Squared 的产品包括激光器、显微镜、量子设备和仪器（用于实验室激光平台的 ICE BLOC 系列）。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。该公司的产品组合还包括互补的光学和电子产品。凭借在高端量子产品工程 and 商业化方面的深厚实力。



杭州微伽量子科技有限公司

浙江省科技型中小企业，并已通过ISO9001质量管理体系认证。公司自主掌握重力仪产品的核心技术，并与浙江工业大学、浙江大学等单位形成紧密的产学研合作关系。公司重力仪产品中标整机采购项目，模块化产品服务于多家科研院所和企业用户，业务规模稳定增长。

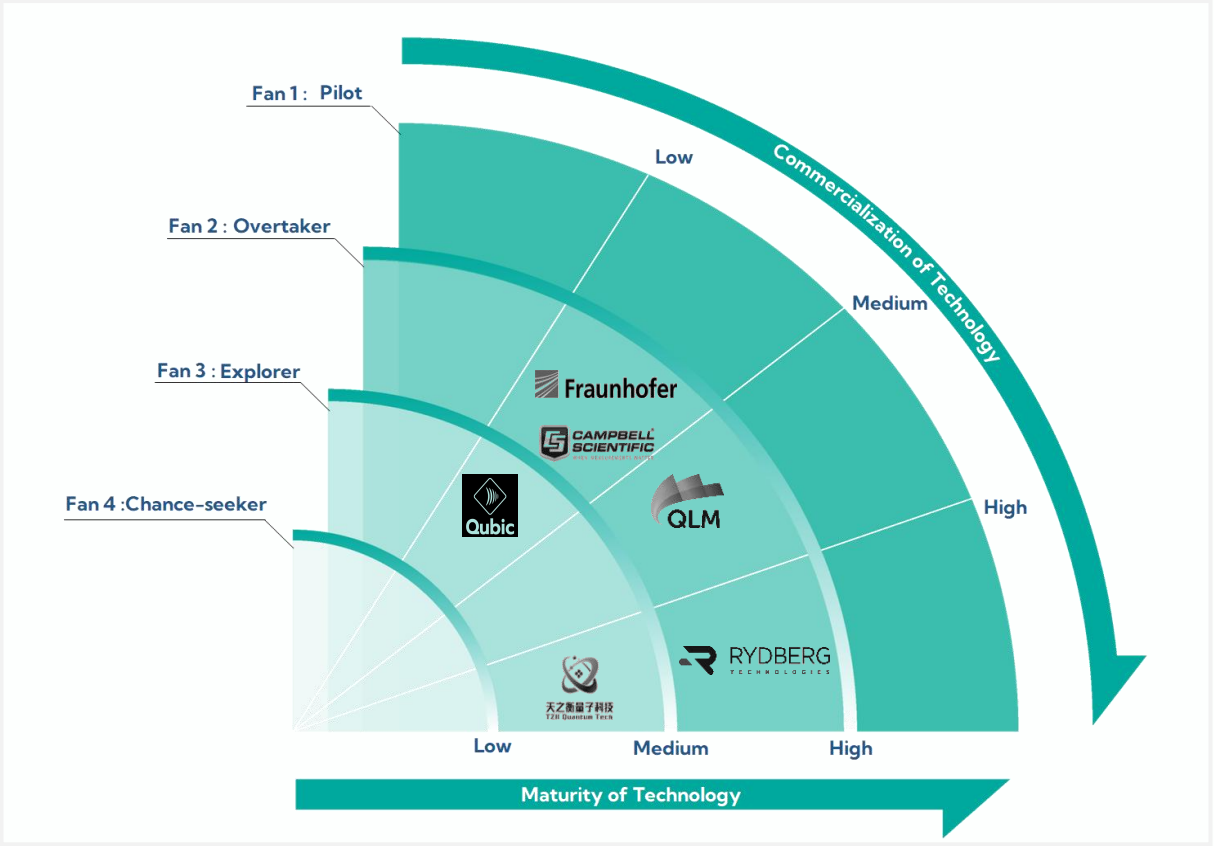


3.2.7 其他量子精密测量设备主要公司介绍

图表3-16: 量子重力测量（量子重力仪 & 量子重力梯度仪）领域CTF模型

其他量子精密测量设备					
产品种类	ADDED SCIENTIFIC ALTER alTRAN apogee INSTRUMENTS MIRA EX mulberry sensors NVISION OEwaves CAMPBELL SCIENTIFIC WHEN MEASUREMENTS MATTER PHOTON FORCE Fraunhofer QinetiQ QDTI QUBITRIUM Raytheon Intelligence & Space RSK RYDBERG TECHNOLOGIES DEVICE THALES UNIKLASERS 国耀量子 zeropoint motion Qubic 中国电子科技集团公司第十四研究所 COSIC 中国航天科技集团公司 China Aerospace Science and Technology Corporation Siloton QLM SHG SILICON MICROGRAVITY SENSORIX A MEMBER OF QED-C Ferro Quantum GRAD Gravity Research and Development General LightHouse Authority of the UK & Ireland Geomatrix EARTH SCIENCE LTD LI-COR QuantAD LLC				
	量子雷达				
	原子天线				
	量子加速度计				
	量子陀螺仪		量子光学仪器	EPR	AFM
					

图表3-17:量子精密测量其他设备领域CTF模型



ICV Tank | Version Feb 2023

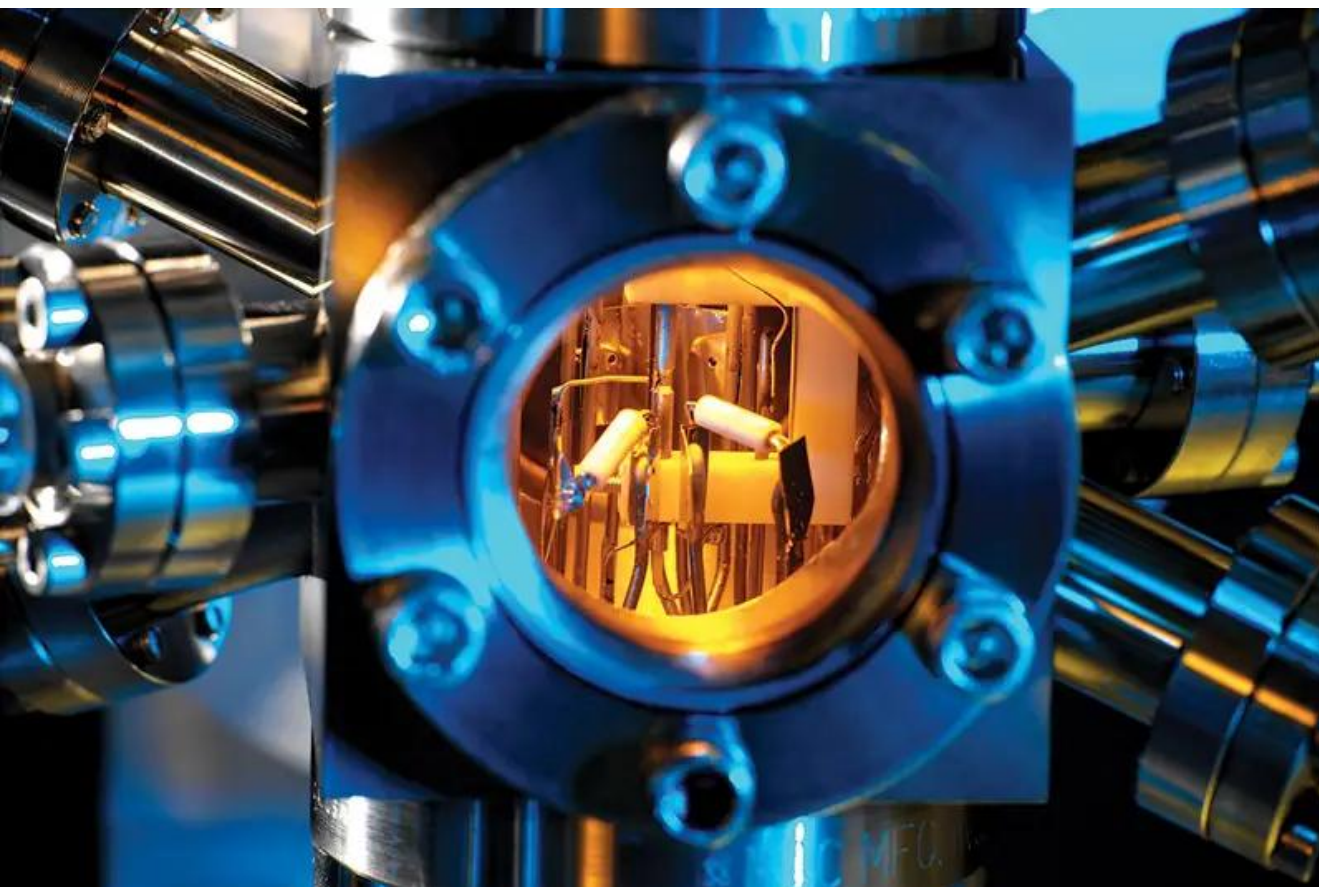
其他类型主要包含目前产业化与商业体系暂不成熟的领域。例如，量子雷达、原子天线、量子加速度计、量子陀螺仪、量子光学仪器等量子其他仪器。

相对成熟的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，AFM和EPR/ESR都是成熟的商业化产品。AFM的供应商较多，北美有美国和加拿大；欧洲有英国、德国、法国、瑞士、俄罗斯、奥地利、意大利、匈牙利；亚洲有日本、以色列、中国。

3.3 产业链下游分析

目前主要的下游应用还是集中在军事国防和科学研究领域，医疗领域的突出主要是因为磁力计对生物弱磁的探测能力优越，卫星导航和通信领域主要是原子时钟的高精度时频时准应用。





Sources: Andrew Brookes, National Physical Laboratory/SPL

Chapter 4

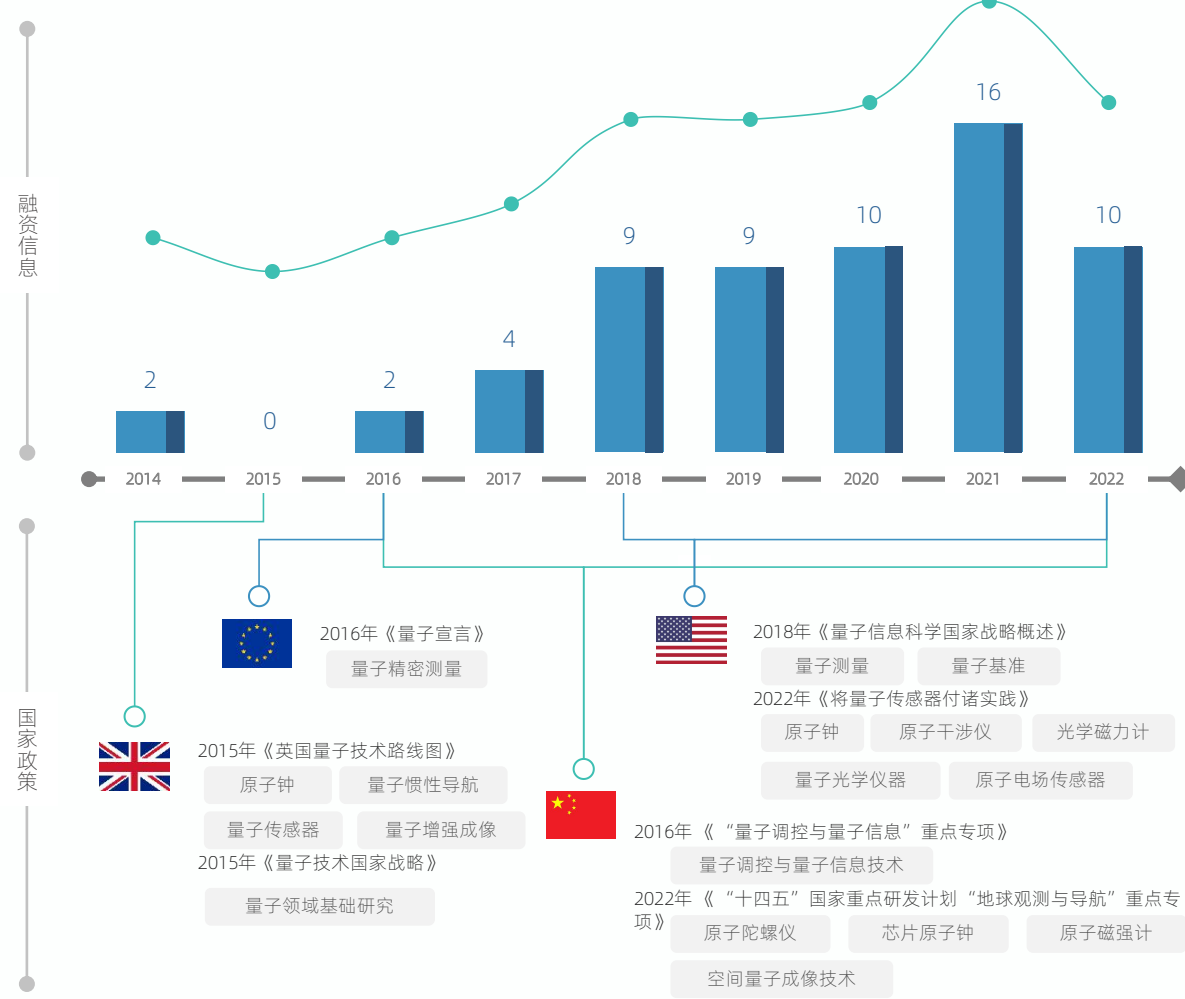
投融资分析

4.1 历史融资笔数及国家政策分析

量子精密测量行业是人们公认的能最早实现“量子商业化”的赛道，在量子信息科技领域中商业化应用进度领先。但事实上，量子精密测量领域的划分是晚于量子计算与量子保密通信的，其主要原理是利用后者“量子系统易受外界干扰”的缺点而诞生。量子精密测量涉及量子态的制备，其研究路径不仅复杂繁多，并且微观理论不方便人们理解，这些原因的集合导致了行业有极高的认知壁垒，让投资人们望而却步。

国家作为公信力的代表，其对技术路径的专项研究是作为投资人的重要参考指标。各国政策对量子的研究部署能作为资方的“明灯”指引方向。本章节将从国家政策方面结合分析投融资市场，以此发现受资方喜好的公司特点并作出对未来趋势的判断。

图表4-1：融资轮次趋势及国家政策图览
(2014-2022) (单位：融资轮次)



注：部分政策涵盖量子信息科技全景战略，图示部分仅摘取量子精密测量及量子传感部分的主要技术路径及器件

4.1.1 国家政策

到目前为止，各科技技术强国不仅明确了如上图表中所展示的技术路线，并且强调了量子领域基础研究、技术转化、技术应用、产业推广、人才培养和国际合作方面等方面都给予重要支撑。其中部分政策报告对技术领域可能的商业化时间和发展路线图进行了分析和研究。

中国明确提出要在核心技术、材料、器件等方面突破瓶颈，实现量子相干和量子纠缠的长时间保持和高精度操控，并应用于量子精密测量等领域。《计量发展规划（2021-2035）》加强量子计量，实施“量子度量衡”计划。

美国白宫科技政策办公室国家科学技术委员会发布的《量子信息科学国家战略概述》中提到：量子测量有望为军事任务提供先进的传感器，发展新的测量科学和量子基准，改善导航和定时技术。2022年发布《将量子传感器付诸实践》进一步促进量子精密测量相关产业实现应用落地。

4.1.2 融资轮次数量

近三年（2020-2022）融资事件主要发生在中国、美国、英国、瑞士、新加坡、澳大利亚，共计35轮次。其中，中国融资事件最多，共计20轮次，占全球公开融资信息的57%；其次为美国，共计6轮次，占全球17%；英国排第三，共计5轮次，占全球14%；澳大利亚共2起，占比6%，瑞士和新加坡各报道1次相关融资事件，各占比全球的3%。总体来看，量子精密测量的主要领导者为中国、美国、英国。

总体来看，量子精密测量的主要领导者为中国、美国、英国。其中，中国的量子精密测量市场的投融资最活跃，其总数占全球的一半以上，但中国市场投融资均无公开金额报道，无法展开具体金额的统计，但据公开信息显示，国仪披露其融资金额接近10亿，可能是目前中国量子传感领域融资金额最高的企业。

4.1.3 趋势预测

量子精密测量的为投融资主要爆发点为2018年，被关注的技术路径和各国政策方向密切相关。例如，中国初创企业主要为2016年及之后成立，其和重点专项的颁布时间吻合，并于2017年企业开始得到融资。

近年来，全球孵化出多家量子测量领域初创公司，产品在不断的工程化迭代中逐渐成熟，并挖掘各类应用场景，推动量子商业化进展。预计2022后，在中国、美国的新政策下会涌现更多的初创企业与投融资活动，尤其是政策中涉及的相关技术路径。

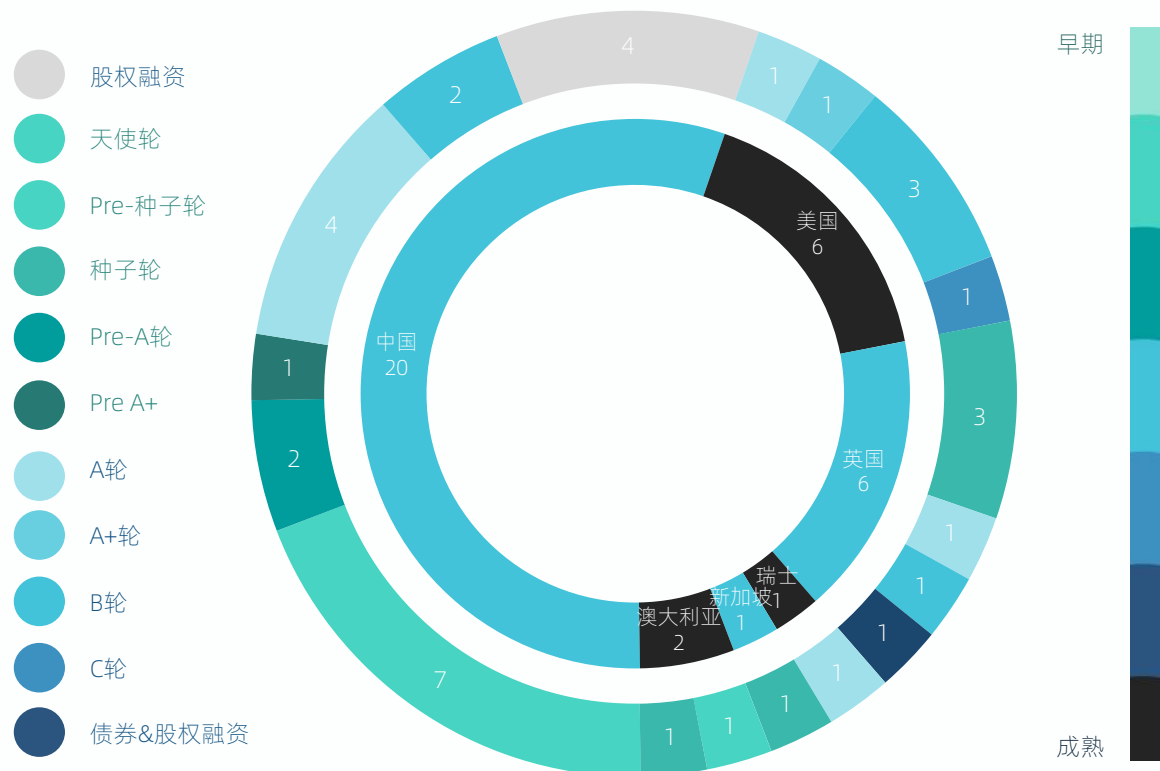


图表4-2: 量子精密测量融资信息
(2020-2022)

国家	公司	融资轮次	原始货币	公布时间
美国	ColdQuanta	B轮	1.1亿美元	2022.11
		A+轮	2000万美元	2021.05
		A轮	3200万美元	2020.11
	Genetesis	C轮	1750万美元	2022.10
		B轮	-	2021.03
		B轮	920万美元	2020.04
	中科酷原	A轮	数千万人民币	2022.03
		天使轮	数百万人民币	2020.11
	中科启迪光电子	股权融资	未披露	2021.06
	中微达信	天使轮	数千万人民币	2022.05
中国	漫迪医疗	Pre A+轮	未披露	2021.05
		A轮	数亿万人民币	2021.09
		Pre-A轮	数千万人民币	2020.07
	昆迈医疗	Pre-A轮	数千万人民币	2022.07
		天使轮	未披露	2020.04
	微伽量子	天使轮	未披露	2020.06
	国仪量子	C轮	数亿人民币	2021.12
		B轮	数亿人民币	2021.01
		A轮	数亿人民币	2022.06
	未磁科技	股权融资	未披露	2021.07
		股权融资	未披露	2021.05
		天使轮	数千万人民币	2020.10
	昕磁科技	战略融资	400万人民币	2021.11
		A轮	未披露	2021.09
		天使轮	未披露	2021.08
英国	国盛量子	天使轮	未披露	2022.07
	Siloton	种子轮	47万英镑	2022.02
	M Squared Lasers	股权、债权融资	3250万英镑	2020.10
	Zero Point Motion	种子轮	258万英镑	2022.03
	Cerva Magnetics	风险投资	未披露	2020.11
瑞士	Creavo	B轮	未披露	2021.03
	Qnami	A轮	400万瑞士法郎	2021.05
新加坡	Atomionics	种子轮	-	2021.03
澳大利亚	Nomad Atomics	种子轮	151万新元	2021.01
		Pre-种子轮	-	2020.06

4.2 量子精密测量全球融资分析

图表4-3：国家及各融资轮次数量
(2020-2022) (单位：融资轮次)



ICV TANK | Version Feb 2023

融资轮次方面，从图片数据来看，全球范围内对量子精密测量的投资分布如下：中国以51.61%的投资轮次份额领跑量子精密测量领域的投资；美国以19.35%的投资轮次份额位居第二；英国以16.13%的投资轮次份额位居第三；新加坡以 6.45% 的投资位居第四；澳大利亚和瑞士的投资伦次水平相同，均为 3.23%。

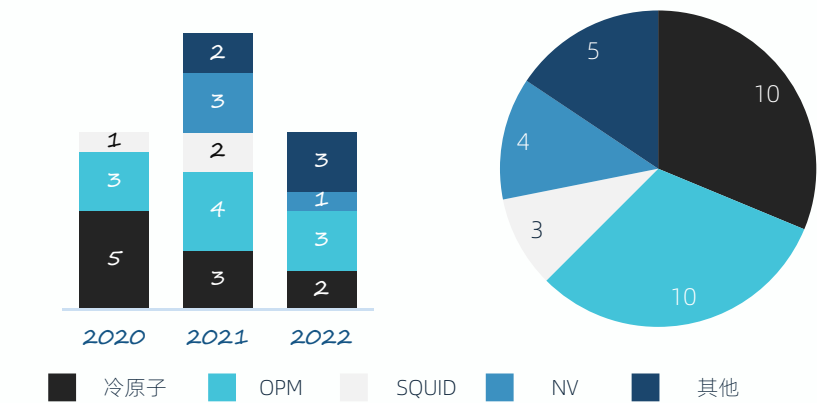
这一数据表明，量子精密测量领域的投资高度集中在少数几个国家，其中中国占据了最大份额。这些国家的高水平投资表明这些地区对量子技术的开发和商业化有着浓厚的兴趣。数据还表明，全球量子技术投资可能存在竞争格局，不同的国家都在寻求成为该领域的领导者。需要注意的是，此数据可能并不代表当前的全球情况。

融资阶段方面，中国主要为天使轮与种子轮等早期投资为主；美国方面，近期融资信息投资阶段进展相对成熟，由ColdQuanta、Genetesis构成，分别专注于冷原子技术与OPM原子磁力计技术；英国方面，最近即出现初创企业得到的种子轮融资，又有融资轮次相对成熟的企业。例如，基于冷原子技术的M Squared Lasers。澳大利亚、瑞士、新加坡的量子精密测量企业都处于早期阶段。

4.3 量子精密测量全球技术路径融资分析

“冷原子技术”和“光泵磁力计（OPM）技术”目前是量子技术领域投资者最感兴趣的两种技术

图表4-4: 按技术路径市场分类历史融资笔数
(2020-2022) (单位: 融资轮次)



注：冷原子技术包含冷原子钟与冷原子干涉仪等；OPM为光泵磁力计技术；SQUID为超导量子干涉器件；NV为金刚石NV色心技术；其他为量子光学传感器、量子雷达等其他器件

ICV Tank | Version Feb 2023

量子精密测量融资数量正在稳步上升，冷原子和OPM是当前融资热门技术路径，商业化发展和融资轮次较为成熟；NV色心目前逐渐引起关注，为融资初期；其他类型中的量子光学传感器在各国政策推进下也得到关注。

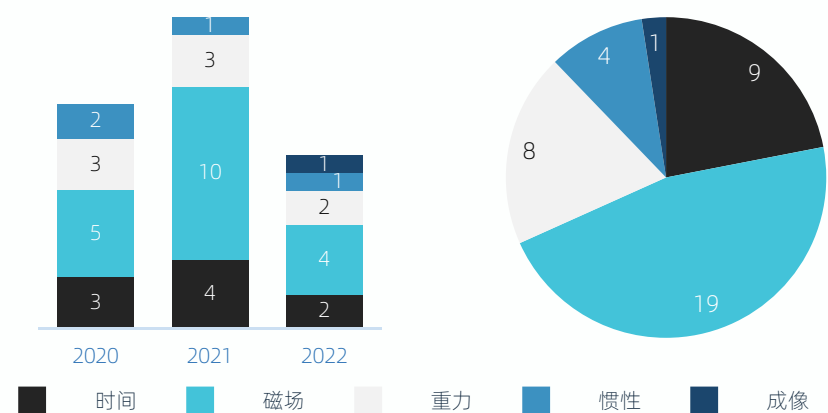
技术路径融资最多的技术路径为冷原子和OPM，均为10例。其中投资活动最多的为冷原子，在2020年总计5轮次。OPM原子磁力计在各时段受关注程度较为均衡，SQUID的技术融资信息总共3轮次，在2022年并没有融资信息。NV色心目前逐渐得到关注并获得4轮融资，在2021年获得3次融资和冷原子相当，略少于OPM原子磁力计。从三年总量来看，所有技术路径融资次数为32次，冷原子企业与OPM企业均融资10次（均占总数约三分之一份额）；SQUID融资3次（占比9.38%），NV融资4次（占比12.5%），其他新技术路径为5次（占比15.6%）。总体来说冷原子与OPM依然占据行业大部分份额。

总体而言，从表格中可以看出“冷原子技术”和“SERF技术”目前是量子技术领域投资者最感兴趣的两种技术。然而，“SQUID技术”，“金刚石NV色心技术”，和“其他量子技术”的融资数量要少得多，分别是3笔，4笔，和5笔。这表明这些技术目前的吸引力较低，或者可能需要进一步提高其影响力才能吸引更多的投资者。

4.4 量子精密测量全球应用方向融资分析

按应用市场分类历史融资轮次数来看："量子磁场测量"，"量子时频时准"，"量子重力测量" 应用类别在量子技术领域比较受投资者关注

图表4-5：按应用市场分类历史融资轮次数
(2020-2022) (单位：融资轮次)



注：单个技术路径可能包含多个应用场景。例如，冷原子技术可以组成时间时频、磁场测量、惯性测量共三个方向

ICV TANK | Version Feb 2023

近三年，量子精密测量领域主要由时间时频、磁场测量、重力测量、惯性测量与量子成像共五部分构成。其中占比最大的是量子磁场测量。左图是显示各个量子应用领域的融资轮次数。从时间范围可以看出，表格涵盖了三年（2020年至2022年）的数据。

总的来说，从这张表格可以看出，量子磁场测量领域的融资情况最为活跃，而其他领域的融资较为稳定。不过，由于表格数据仅涵盖了三年，因此不能得出更多关于量子科学领域融资趋势。

右图展示了不同类别的量子技术应用在融资方面获得的数量从表格中可以看出，"量子磁场测量" 应用类别的融资数量最高，达到了 19 笔。"量子时频时准" 和 "量子重力测量" 的融资数量也比较高，分别为 9 笔和 8 笔。然而，"量子惯性测量" 和 "量子成像" 应用类别的融资数量明显要少得多，分别仅为 4 笔和 1 笔。

从这张表格中，我们可以看出目前 "量子磁场测量"，"量子时频时准"，"量子重力测量" 应用类别在量子技术领域比较受投资者关注，而 "量子惯性测量" 和 "量子成像" 应用类别目前的融资数量较少，可能需要进一步努力提高其吸引力。



Sources: University of Birmingham

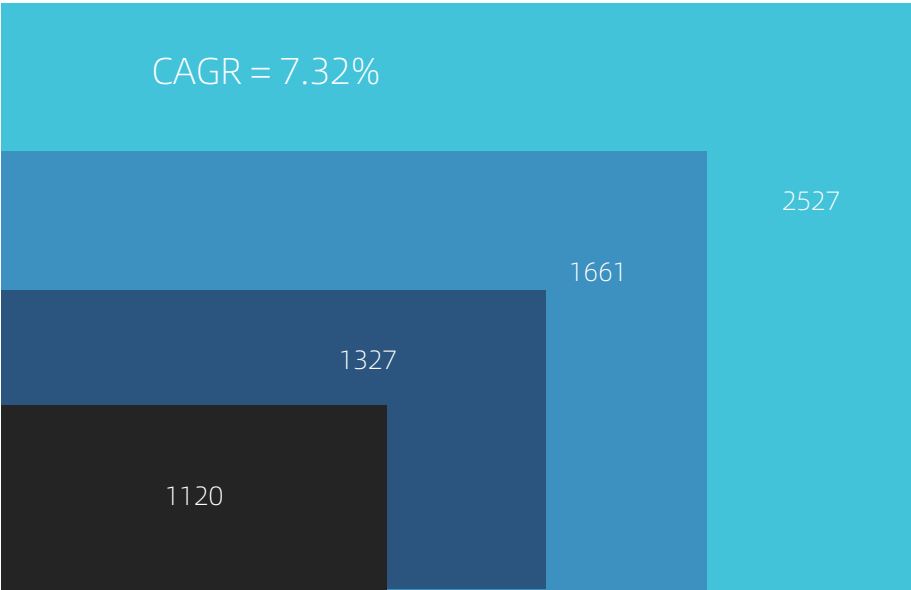
Chapter 5

市场规模分析

5.1 量子精密测量全球市场规模预测

这些数据显示了量子精密测量市场从2019年到2030年的市场规模，以及2019年至2030年的年复合增长率。市场正在快速发展，并且具有较高的增长潜力

图表5-1:量子精密测量全球市场规模预测
(2019, 2022, 2025, 2030) (单位: 百万美元)



ICV Tank | Version Feb 2023

2022：产业商业化进一步成熟，整体初具规模

上图市场规模主要包含了量子时间测量、量子磁场测量、量子重力测量、以及其他量子精密测量仪器。全球量子精密市场规模预计从2019年的11.2亿美元增长到2030年的25.27亿美元，市场规模呈现不断上升趋势，年复合增长率为7.97%。

2030E：产业化发展成熟，目前数据基于现有应用推测。未来随着量子信息科技的发展，会有更多的量子精密测量设备可能会让市场进一步扩大

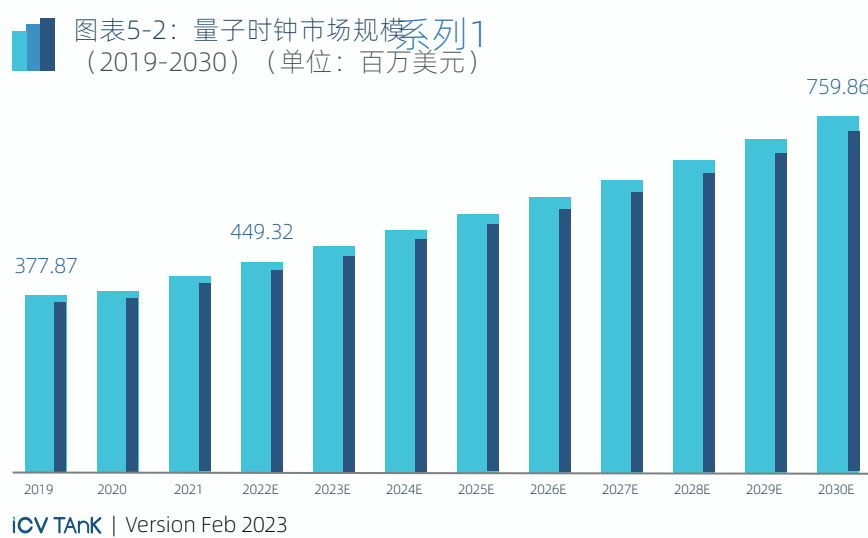
预计2030年，量子精密测量市场数据增长到25.27亿美元。从数据来看，所有量子精密测量仪器的市场份额都在随着时间的推移而增加，表明对这些技术的需求不断增长。与其他仪器相比，量子时钟的市场份额增长速度较慢，但在所有仪器中仍占据最大份额。量子磁力计和重力计的市场份额增长更快，表明这些技术在各种应用中变得越来越重要。此外，其他仪器的市场份额也在增长，表明对这些技术的需求也在增长，未来量子陀螺仪、量子加速度计及量子天线等设备商业化成熟会让量子精密市场进一步扩大。

量子精密测量领域的部分产品已经相对成熟，因此接下来本文将对商业化较为成熟的细分应用领域进行市场分析。具体而言，我们将分别对以下三个细分领域进行分析：量子时间测量、量子磁场测量和量子重力测量。我们将研究这些市场的地区分布和应用领域的市场规模及份额。

5.2 量子时钟全球市场分析

5.2.1 量子时钟全球市场规模预测

量子时钟的市场规模在2022年达到449.32百万美元，预计到2030年将增长到759.86百万美元，2019 - 2030年CAGR为6.56 %，量子时钟市场具有一定的增长潜力，仍有很大的发展空间。未来，量子时钟商业化的进一步演进使量子时钟降成本和小型化逐渐成熟，并且光钟等技术的更新迭代下，量子时钟可能在未来会出现阶梯式的快速增长。



随着5G网络的构建，人工智能和信息社会的进展，传递的大数据对各类智能移动终端的时间同步提出了更高的要求。量子时钟可以为移动网络终端远程控制和各类人工智能设备提供高精度的时间基准。在军事应用领域，量子时钟可以安装在增程炮弹等各种武器上，提高打击精度。它还可以被安装在各种便携式单兵设备上，以保持移动作战单元与指挥系统之间的高精度时间同步。预计原子钟将在信息化战场上发挥重要作用。因此，量子时钟市场具有广阔的发展前景。

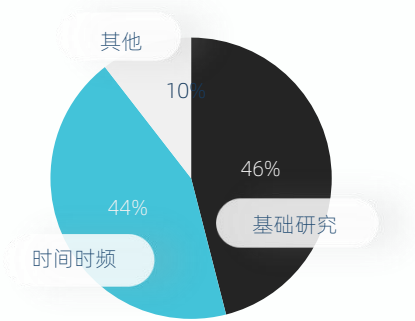
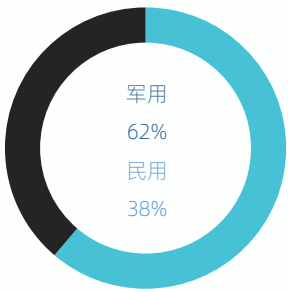
量子时钟的市场规模在2022年达到4.5亿美元，预计到2030年将增长到7.6亿美元，2019 - 2030年CAGR为6.56 %。

从上图中，可以看出量子时钟市场规模在2019年为3.78亿美元，在2030年到达约7.60亿美元。2020-2030 年的年均增长率（CAGR）为6.96%，在预测期内，量子时钟市场规模呈现出逐年上升的趋势。总体而言，在未来技术迭代，量子精密测量商业化的逐渐成熟下，量子时钟市场具有一定的增长潜力，仍有很大的发展空间。

5.2.2 量子时钟全球市场份额分析



图表5-3:量子时钟主要应用领域份额及民营领域细分领域份额 (2020)



iCV TanK | Version Feb 2023

量子时钟目前主要为军用，未来在5G及信息社会的基础建设上会更多向民用发展。

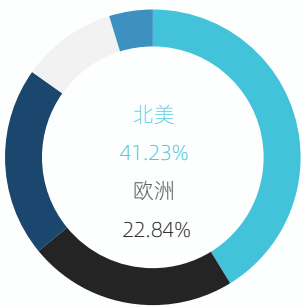
全球对量子时钟的需求主要由军工部门推动，航空航天是主要的下游应用。近年来，随着移动通信的发展，海事领域规模增加，民用领域市场份额增长较快，市场规模增长较快。

据ICV推测，2022年量子时钟应用份额主要为军事应用，约占比62%。根据ICV预测，量子时钟市场以后会在民营领域快速增长。据推测，2022年民用领域约占38%。民用场景主要分为右图所示，分为基础研究的46%；时间时频的44%；以及其他领域的10%。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。

总的来说，未来量子时钟的民用场景对比相对稳定的军工应用会相对增加。军用市场也有可能诞生新的应用，量子时钟市场具有很大潜力。



图表5-4:量子时钟按不同地区的市场份额划分
(2020-2022)



ICV TANK | Version Feb 2023

注：ICV主要将地区分为北美、欧洲、中国、亚太（不包括中国）、其他。

量子时钟目前市场主要分布在北美，其次为欧洲及中国，目前各国都在大力发展量子时钟，未来可能份额变化不大。

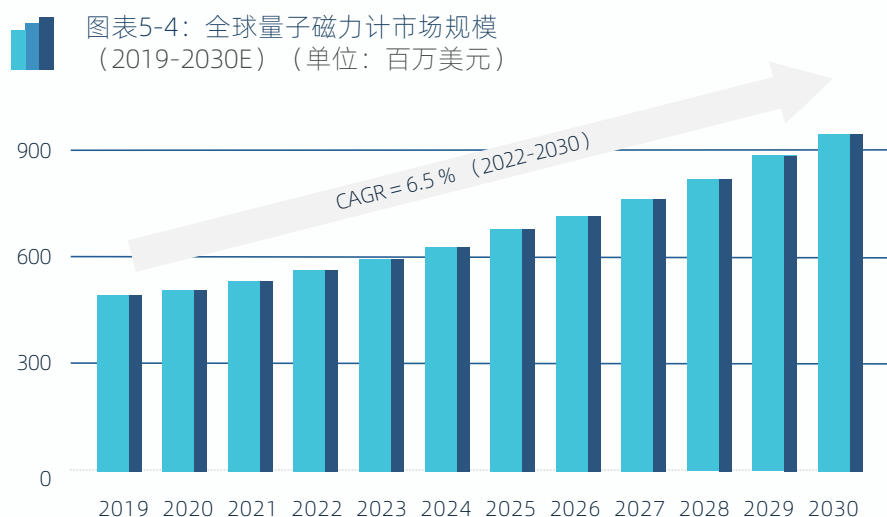
量子时钟的市场份额主要分布在北美、欧洲、中国、亚太地区除中国外的其他地区，市场份额从大到小依次为：北美（约41%）、欧洲（约23%）、中国（约21%）、亚太地区除中国（约10%）、其他地区（约5%）。

总体来看，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，总共占据44%，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。

5.3 量子磁力计全球市场规模分析

5.3.1 量子磁力计全球市场规模预测

量子磁力计市场主要划分为四大领域：生物医疗、军事国防、物理及科研、其他。其中，生物医疗、军事国防、物理及科研是量子磁力计较为成熟的三个应用领域；“其他”包括已有原型机但未公开实际市场应用产品，例如，洛克希德马丁公司（Lockheed Martin）的黑冰（Dark Ice）、博世公司（BOSCH）的量子磁力仪和量子陀螺仪的演示系统。物理科研领域指地磁勘探、材料检测和空间探测等多个领域。



ICV Tank | Version Feb 2023

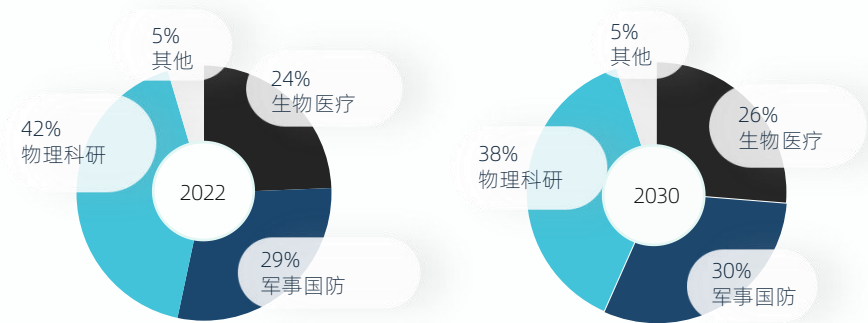
目前，量子磁力仪技术主要基于微观粒子自旋系统的磁测量，SQUID基于超导约瑟夫森效应和磁通量子化现象。新一代量子磁力仪的主要目标是进一步提高微磁测量的精度，降低成本并提高其使用和推广也是主要的发展方向。目前，原子磁力仪可以在室温下工作，其测量精度已经超过SQUID磁力仪。

据ICV推测，2022年量子磁力计全球市场规模约为5.5亿美元，2022-2030年复合增长率约为6.5%，预计到2030年，市场规模增长至9.1亿美元。其中，脑磁图市场有望在OPM产品优势下加快商业化进展，2022年生物医学市场份额约为1.34亿美元，复合增长率约为7.5%（2022-2030）；2022年军事国防领域，市场份额约为1.59亿美元，复合增长率约为7.1%（2022-2030）；2022年物理科研领域，占比最高（42%），市场份额约为2.31亿美元，复合增长率约为5.3%（2022-2030）；2022年其他市场份额约为0.25亿美元，复合增长率约为7.8%（2022-2030）。

5.3.2 量子磁力计全球市场份额分析



图表5-5：全球量子磁力测量应用市场份额
(按行业划分) (2022 & 2030E)

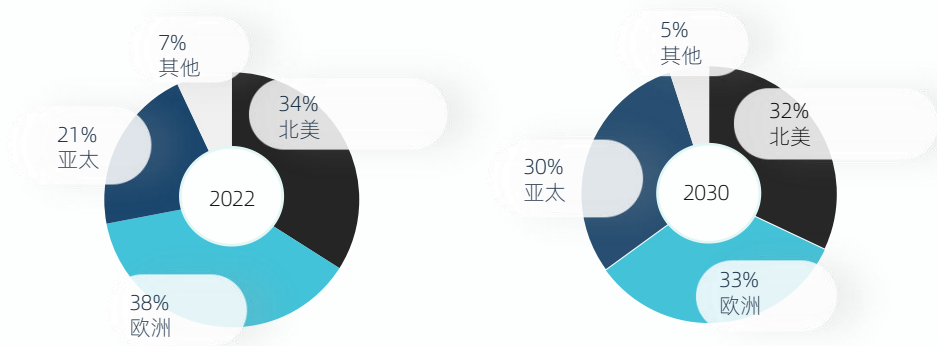


ICV TANK | Version Feb 2023

ICV报告显示，从全球市场的地理区域分布来看，目前量子磁力计市场主要集中在欧洲与北美地区，总占比超过总体市场的2/3。其中，欧洲市场占比最大，约为38%，其次是北美，占比约为34%，亚太地区市场占比约为21%，量子磁力计在欧美地区技术发展更为成熟，产业化进程更快。未来，若亚太地区持续并加大对OPM、NV色心磁力计等新型量子磁力计的研发力度，将有望抢占一部分脑磁图、工业检测、物理科研市场，预计2030年亚太市场占比将扩大到约30%，北美和欧洲市场份额在2030年分别约为32%与33%，其他区域约为5%。



图表5-6：全球量子磁力测量地区市场份额
(按地区划分) (2022 & 2030E)



ICV TANK | Version Feb 2023

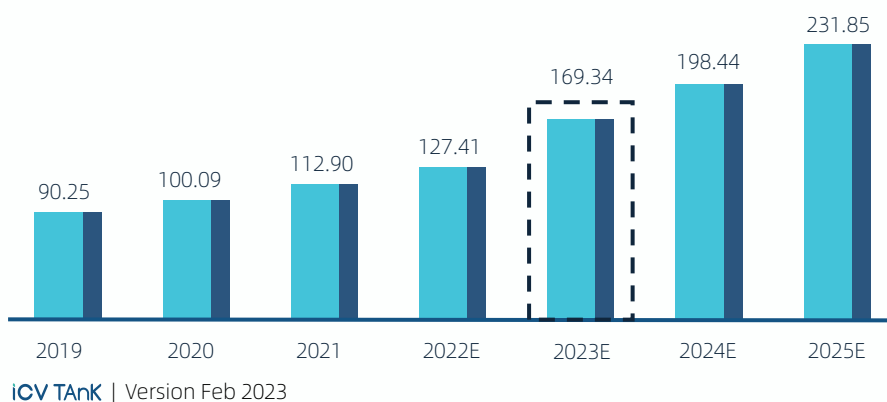
从全球各行业应用领域来看，ICV认为2022年物理科研领域的量子磁力计市场份额占比最高，约42%；其次是军事国防领域，占比约为29%；生物医学占比约为24%；其他领域约占5%。

5.4 量子重力仪全球市场规模分析

5.4.1 量子重力仪全球市场规模预测

ICV预测，2022年量子引力测量市场规模将达到1.2741亿美元，2025年将达到2.3185亿美元，复合年增长率为17.03%。量子重力测量仪器市场的主要突破点可能会在2023年

图表5-7：量子重力测量市场规模
(2019-2025E) (单位：百万美元)



市场分析根据行业特点分为量子重力仪和量子重力梯度仪两种进行阐述。按平台类型可分为车载平台、船舶平台、机载平台和卫星平台。地区分为北美、欧洲、亚太地区、其他。

本文分析了该产品的主要应用领域，以及不同领域的消费规模、发展现状和未来趋势。应用领域分为军事、实验室研究和商业应用。目前，量子重力仪的技术优势已经展现出来，商业化的逐步成熟将带来市场份额不断增加的趋势。ICV预测，2022年量子重力测量市场规模达到1.2741亿美元，2025年将达到2.3185亿美元，复合年增长率为17.03%。ICV提出，量子重力测量仪器市场的主要突破点可能会在2023年。因为量子重力仪在全球的技术成熟度和商业化程度将进一步提高，并且量子重力梯度仪已经在2022年出现了第一个商业化产品。

5.4.2 量子重力仪全球市场份额分析



图表5-8：量子重力测量应用市场份额
(2022 & 2025E)



iCV Tank | Version Feb 2023

量子重力仪应用领域将在未来更多向民用场景转化，主要集中在油气勘探领域

ICV公开部分数据提供研究分析。在市场份额&行业分析（部分）中，数据显示ICV在2022年应用市场的份额预测量子重力测量仪器主要用于军事领域，高达51%（统计包括重力测绘应用和星载重力仪）。二是用于研究的份额占27%。其余的是与汽油勘探相关的民用市场的 23%。



图表5-9：量子重力测量地区市场份额
(2019-2025E)



iCV Tank | Version Feb 2023

目前量子重力测量设备的地区份额份额主要为美国和亚太，分别为40%、32%，用于地质勘探和科学研究等领域。占比ICV预估了2025年不同地区的市场份额，其中北美占比高达49%，亚太地区占比约27%，欧洲占比21%，其他占比3%。完整的内容还包括不同领域的估计分析和趋势分析。文章还展示了量子重力仪和量子重力梯度仪在不同平台上的划分。

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 and 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。



光子盒创立于2020年2月，作为一家量子产业服务平台，光子盒通过推送前沿量子科技新闻、科普量子知识、解读量子技术、发布年度和专题报告等形式，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。

Appendix 1 - ICV TAnK-CTF模型（Cutting-edge Tech Fan）

CTF模型是一个未来产业参与者的评价分析模型。ICV TAnK 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”。

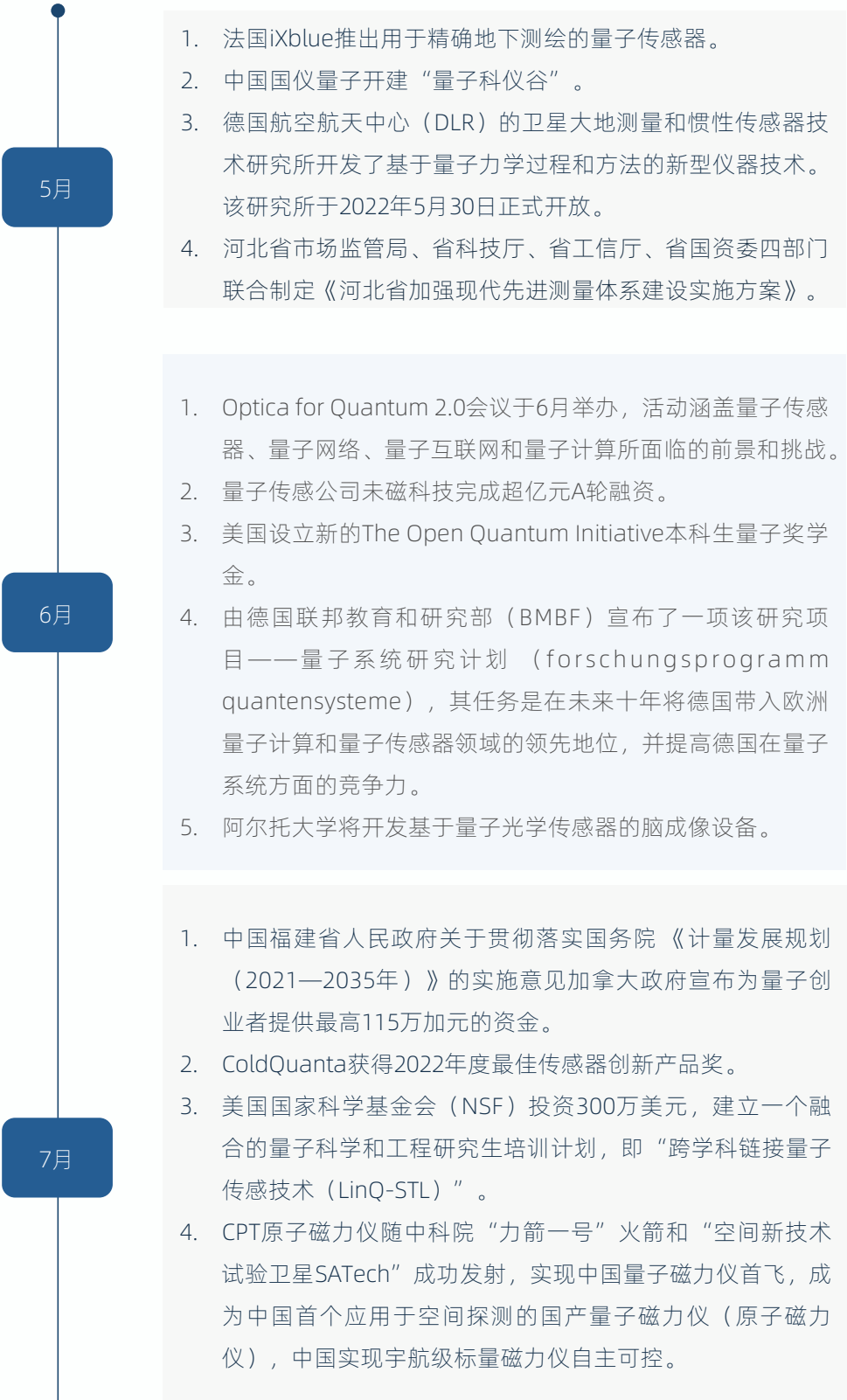
CTF模型由4层不同大小的扇形区域纵深呈现，以及3维坐标共同构成。横向坐标Maturity of Technology（技术层面，即供应商的技术、研发、团队等）、侧向坐标Commercialization of Technology（商业层面，即供应商的营收、客户、用例等）以及隐含变量Implicit Variable（底蕴层面，即供应商长期经营所积淀的能够助推企业发展的要素）。CTF模型根据供应商在不同维度的综合表现，将其划分入如下四个扇面中：Pilot（领航员）、Overtaker（超越者）、Explorer（探索者）和Chance-seeker（寻机者）。

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。

主要进展部分主要内容为量子精密测量的商业进展、国家政策和投融资新闻等。本部分内容续接ICV联合光子盒发布的《2022全球量子精密测量产业发展报告》行业进展，起始时间节点为五月。总体而言，量子精密测量行业在2022年的商业进展中各国商业新闻活跃，受关注程度增加。

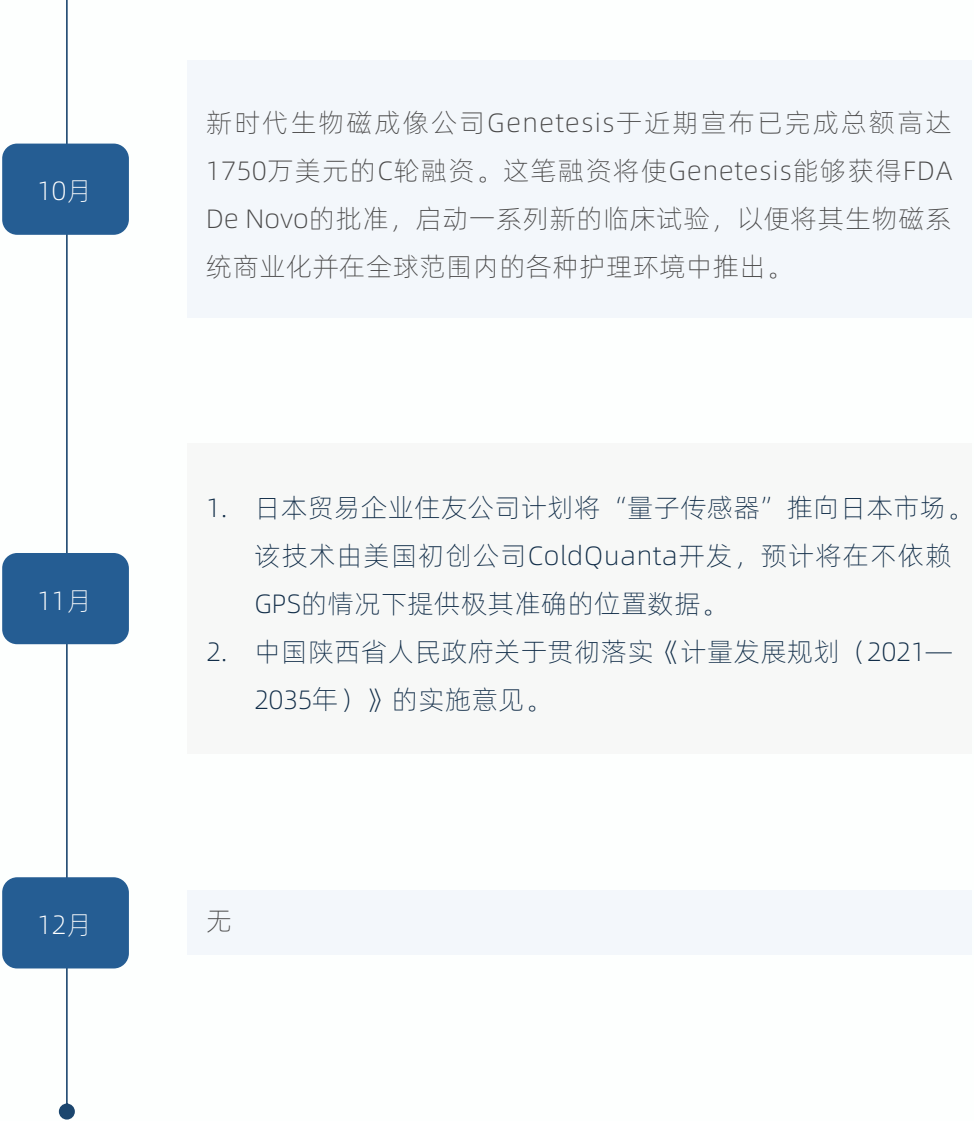


8月

1. 英国量子传感公司QLM Technology获得1200万英镑融资，英国光子学硬件和技术开发公司QLM Technology为其量子传感技术筹集了1200万英镑（1400万美元）。该公司开发了一种基于量子技术的激光传感器，可以测量甲烷的少量排放。
2. Q-CTRL公司成立量子传感事业部，澳大利亚量子技术公司Q-CTRL正在建立一个专门的传感部门，以满足最近6000万美元的合同，该传感部门成为了世界上最大的使用新一代超敏感软件定义的量子传感器的部门之一，用于测量重力、运动和磁场。
3. 牛津仪器宣布为英国量子传感项目提供稀释制冷机，近日，牛津仪器宣布已中标为英国隐藏区量子传感（the Quantum Sensing for the Hidden Sector, QSHS）项目提供Proteox——其下一代Cryofree®稀释制冷机和领先的磁体技术。
4. 量子技术初创公司 Q.ANT 与博世、通快和德国航空航天中心（DLR）建立了合作伙伴关系，共同开发符合太空标准的姿态传感器。旨在使用量子传感器控制卫星。

9月

1. 天津市人民政府关于印发天津市计量发展规划（2022—2035年）的通知德国投入2800万欧元开发用于卫星控制的量子传感器。
2. 近日，由Q.ANT、博世、通快和德国航空航天中心（DLR）组成的德国财团计划使用量子技术永久提高卫星测量稳定性。
3. 量子公司ColdQuanta获得2022年最佳传感器奖。
4. 近日，冷原子量子技术公司ColdQuanta的量子射频传感器平台Maxwell在Sensors Converge 2022会议和博览会上获得了仪器和测试类别的最佳传感器奖。
5. 中国把三台原子钟送入其空间站，以建立一套异常精确的天基计时系统。中国空间站上的新时钟将包括一台冷原子铷微波钟、一台冷原子锶光钟和一台主动型氢原子钟。



- 法国 PSL 大学研究发现：在光学腔中的里德堡超原子可高效操纵单光子。
- 美国宇航局空间站上的超冷气泡为量子研究开辟了新途径。

- 美国耶鲁大学夏丰年副教授、Yuan Shaofan和德克萨斯大学达拉斯分校Zhang Fan团队展示了一种原子级薄的智能量子传感器，可以同时检测入射光波的所有基本特性。
- 中国科大郭光灿院士团队在基于里德堡原子的低频射频电场测量上取得重要进展。该团队史保森、丁冬生课题组利用非共振外差方法实现了基于里德堡原子的低频射频电场精密探测。
- 在与英国国防科学与技术实验室的合作和资助下，伯明翰大学的一个量子物理学家团队设计了一个新方法，不仅可以减小下一代原子钟的尺寸，还可以使其足够坚固，可以走出实验室，在“现实世界”中使用。

- 奥地利科学院、奥地利因斯布鲁克大学和瑞士苏黎世联邦理工学院的研究人员的研究计算，被困在光学腔镜之间的纳米粒子的运动波动可能构成新型高精度量子传感器的基础。
- 印度拉曼研究所（RRI）的科学家对高度激发的里德堡态的跃迁频率进行了精确测量。
- 英国布里斯托大学、巴斯大学和华威大学的物理学家组成的研究团队表明，无需复杂的光量子态和检测方案就可以对重要的物理特性进行高精度测量。
- 德国研究团队发现了一种新方法，该方法结合了几个基本的量子光学概念，以实现一种简单、鲁棒且在高达100 kHz的采样率下工作低于经典噪声限制的量子光学位移传感器。
- 中国科学技术大学工程科学学院盛东教授与物理学院卢征天教授联合课题组开发了高精度的氦同位素共磁力仪。



7月

- 清华大学交叉信息研究院孙麓岩研究组与中国科学技术大学邹长铃研究组合作，在超导量子系统中首次利用玻色量子纠错编码来提升量子精密测量的灵敏度。
- 日本筑波大学的研究人员展示了如何使用超快光谱来提高量子传感器的时间分辨率。通过测量金刚石晶格内相干自旋的方向，他们表明即使在很短的时间内也可以测量磁场。
- 麻省理工学院（MIT）的研究人员开发了一种方法，使此类传感器能够检测任意频率，而不会丧失测量纳米级特征的能力。
- 中国科学技术大学中国科学院微观磁共振重点实验室彭新华研究组在自旋量子精密测量领域取得重要进展，首次提出和验证了Floquet自旋量子放大技术。
- 由英国埃克塞特大学和英国谢菲尔德大学等多所大学组成的研究团队表明，可以通过诱导和测量非线性相移到单个极化子水平来实现对光的控制。

8月

- 量子重力仪首次被用于检测由火山过程引起的重力变化，这种设备可以在其他技术无法使用的条件下提供高质量的数据。
- 基金委“强场超快光学”创新研究群体黎敏教授、周月明教授、陆培祥教授等提出了一种精确测量隧穿时间的新方法，成功实现了原子隧穿电离时间阿秒精度测量。
- 中国科学技术大学中科院微观磁共振重点实验室彭新华教授、江敏副研究员等在量子精密测量和超越标准模型领域取得重要进展，利用超灵敏量子精密测量技术实现了超越标准模型的新玻色子直接搜寻，质量大于 $65\mu\text{eV}$ 的轴子观测界限提升国际纪录至少10个数量级。
- 北京大学物理学院现代光学研究所、纳光电子前沿科学中心、人工微结构和介观物理国家重点实验室肖云峰教授和龚旗煌院士课题组基于光学微腔-悬臂梁微光纤耦合体系，首次构建出了具有宽频响应的耗散型光声相互作用，并证明其在声波检测中的重要潜力。
- 中国首台基于量子逻辑技术的铝离子光钟原理样机的研制工作于近日取得重要进展，其不确定度达到 7.9×10^{-18} 。这是武汉量子技术研究院与中国科学院精密测量科学与技术创新研究院深度合作，加大关键核心技术攻关的重大成果。
- 中国科学技术大学卢征天教授团队利用激光冷原子方法对镱-171原子（Yb-171）的固有电偶极矩进行了首次测量，获得了该电偶极矩小于 $1.5\times 10^{-26}\text{e cm}$ 的上限结果，并对镱-171原子核的席夫极矩设定了上限。

- NASA工程师将其开发的量子点光谱仪用于太空传感。
- 日本东京工业大学的研究团队开发出一种新的装置，可以在更高分辨率下执行心磁图（MCG），他们的方法基于包含氮空位的金刚石量子传感器，这些空位充当特殊的磁性“中心”，对心脏电流产生的微弱磁场敏感。
- 美国国家航空航天局（NASA）研究中心戈达德太空飞行中心的工程师 Berhanu Bulcha表示，通过外差光谱仪可以放大特定频率，可明确识别和定位月球上的水源，将能够区分水、氢离子和含羟基化合物。其技术利用量子隧穿效应产生高功率太赫兹激光，填补了现有激光技术在月球上寻找水源的空白。

8月

- 美国俄亥俄州赖特·帕特森空军基地（AFRL）的空军研究实验室（纳米电子材料分部）正使用热流实验来操纵量子材料在更高温度下以新的和不同的方式发挥作用，研究无低温声子工程在将精密量子系统与嘈杂的热环境隔离开的限制。
- 芝加哥大学普利兹克分子工程学院（PME）的研究人员开发了一种优化灵敏量子传感器的方法，可以检测磁场或电场中的微小扰动等。
- 隶属于美国国家标准与技术研究院（NIST）的Emily D. Caldwell、Laura C. Sinclair和Nathan R. Newbury等研究员演示了一个高灵敏度的可编程频率光梳，其中脉冲时间和相位以 ± 2 阿托秒精度进行数字控制。

9月

- 中国科学技术大学潘建伟及其同事张强、姜海峰、彭承志等与上海技物所、新疆天文台、中科院国家授时中心、济南量子技术研究院和宁波大学等单位合作，通过发展大功率低噪声光梳、高灵敏度高精度线性采样、高稳定高效率光传输等技术，首次在国际上实现百公里级的自由空间高精度时间频率传递实验，时间传递稳定度达到飞秒量级，频率传递万秒稳定度优于 $4E-19$ 。实验结果有效验证了星地链路高精度光频标比对的可行性，向建立广域光频标网络迈出重要一步。
- 阿德莱德大学专家在内的国际科学家团队设计了一种量子温度计，用于测量爱因斯坦预测的超冷时空温度和量子力学定律。其理论设计基于用于构建量子计算机的相同技术，可用于测量超冷温度，并且具有传统温度计无法测量的精度。这将有助于在未来对加拿大物理学家William Unruh预测的时空结构的温度相当低的理论进行验证。
- 中国科学技术大学的杜江峰院士团队演示了一种直接利用可再生能源来获得运转所需能量的量子传感器。该设备利用阳光和环境磁场为自己供电，可以有效扩大量子传感器的使用范围，并有助于显著降低现有应用中量子传感器的能源成本。
- JILA和NIST研究员James K.Thompson的研究团队首次成功地将量子力学的两个“最诡异”特征——纠缠和离域化结合起来，制造出更好的量子传感器。
- 泰雷兹宣布，其超导量子射频天线获得了国际欧洲海军创新奖（EURONAVAL）。该天线提供宽频率范围的检测（VLF、LF和HF），并有望将传感器的尺寸、重量和功耗降低千倍。
- 中科大郭光灿院士团队在基于相变的精密测量上取得新进展。该团队的史保森、丁冬生课题组与丹麦奥尔胡斯大学的Klaus Mølmer教授和英国杜伦大学的Charles S. Adams教授合作，利用强关联系统的相变提高了里德堡原子对微波电场测量的精度和灵敏度。
- 桑迪亚国家实验室团队将量子惯性传感器设想为革命性的机载导航设备。如果可以将传感器重新设计成紧凑、坚固的设备，该技术可以安全地引导GPS信号被干扰或丢失的车辆。该团队成功建造了冷原子干涉仪作为实现他们愿景的一个重要里程碑，这是量子传感器的核心组件，其设计比典型的实验室装置更小且更坚固。

10月

- 由塔尔图大学实验物理学家Marta Berholts领导的一个团队创造了一种非常不同类型的“量子手表”，即不需要初始的时间零点作为参考点来进行时间测量。该团队通过向氦原子发射激光，直到它们达到具有特殊性质的兴奋里德堡状态来创建这种量子手表。
- 法国国家科学研究中心发表论文描述了一种量子加速度计，它使用激光和超冷铷原子以极高的精度测量三个维度的运动。这项研究将量子加速度计扩展到三维，可以在没有GPS的情况下实现准确导航，并可靠地检测地下有价值的矿物。
- 美国科罗拉多大学博尔德分校的光学和光子学研究小组及其合作伙伴在实验构建的光纤中纠缠增强传感现实模型中，预测并展示了基于光纤的量子增强遥感和在探测方面有重大意义的感光材料。
- 由麻省理工学院带领，包含明尼苏达大学和三星的研究团队开发了一种新型相机，可以在室温和压力下快速检测太赫兹脉冲，灵敏度高。可以同时实时捕获有关波的方向或“极化”的信息，这是现有设备无法做到的。该信息可用于表征具有不对称分子的材料或确定材料的表面形貌。该团队生产了两种可以在室温下运行的不同设备：一种利用量子点将太赫兹脉冲转换为可见光的能力，使该设备能够产生材料图像；另一种利用量子点将太赫兹脉冲转换为可见光的能力，产生显示太赫兹波偏振状态的图像。
- 由悉尼科技大学Igor Aharonovich教授和RMIT大学的Jean-Philippe Tetienne博士领导的澳大利亚研究小组已经开发出一种具有高分辨率灵敏度的显微镜原型。该团队的研究结果现已发表在《自然物理学》上。其研发的量子显微镜原型基于原子层面，在激光照射后，发出的光可以与其他物理量直接关联，例如磁场或电场附近的化学环境。
- 德国联邦物理技术研究所（PTB）QUEST研究所的研究人员近期与马克斯普朗克核物理研究所（MPIK）和布伦瑞克工业大学合作，在Quantum Frontiers卓越集群的范围内，首次实现了基于高电荷离子的光学原子钟计时。这种类型的离子因其具有非凡的原子特性和对外部电磁场的低灵敏度而适合应用于测量中。
- 慕尼黑工业大学（TUM）在内的跨学科研究团队正在努力推进基于量子的超极化器的开发，以便将其部署到临床应用。该机器旨在显着改善代谢过程的MRI成像，例如允许更早、更准确地评估肿瘤，以及改进肿瘤治疗的选择和监测。
- 美国国家标准与技术研究院NIST与科罗拉多大学博尔德分校学院合作，发表了一篇题为“具有集成超导双工器的RF约瑟夫任意波形合成器”的论文，其实验结果表明整体研究向宽带、集成、基于量子的微波电压源迈出了重要一步，有用功率高于-30 dBm。

11月

- 麦考瑞大学的Zixin Huang及其合作者通过实验建立了最终的量子极限，用于确定光谱吸收线的存在或不存在，是否存在更亮恒星源的暗源。
- 美国斯坦福大学的Benjamin K. Malia和Yunfan Wu等人组成的科研团队证明了网络节点之间的空间分发纠缠提供了更好的网络规模扩展。一个共享的量子非破坏性测量将一个时钟网络与最多四个节点纠缠在一起。与没有空间分布纠缠的网络相比，该网络的精度提高了4.5 dB，与在量子投影噪声极限下运行的传感器网络相比，精度提高了11.6 dB。团队同时展示了原子钟和原子干涉仪协议方法的普遍性，在科学技术相关配置中针对传感器输出的本质差分比较进行了优化。
- 隶属于Q-NEXT量子研究中心的研究人员展示了如何创建原子钟和加速度计的量子纠缠网络，并展示了该装置卓越的高精度性能。该研究由斯坦福大学、康奈尔大学和美国能源部布鲁克海文国家实验室的科学家组成的实验团队进行。团队首次将原子纠缠用作联网的量子传感器，特别是原子钟和加速度计。其实验装置产生了对时间和加速度的超精确测量，与不利用量子纠缠的类似设置相比，时间测量精度提高了3.5倍，加速度测量精度提高了1.2倍。
- 在《国家科学评论》杂志上的一项研究中，实验室使用系综-NV-金刚石磁力计进行了奇异的自旋相关相互作用的研究。在微米尺度上建立了对两种类型的外来相互作用的新实验约束。

11月

12月

- 日本电报电话公司NTT、日本产业技术综合研究所（AIST）、大阪大学量子信息与量子生命研究中心设计了使用量子态的高精度传感成为可能的算法。在量子传感中，未知噪声对精度有很大影响，因此减少其影响很重要。因此，新的算法利用为实现量子计算机而设计的量子错误抑制法，在世界上首次确认了未知噪声的影响可以大幅削减。这样就可以实现更高精度的量子传感，而无需对硬件进行任何修改。
- 清华大学电子系宁存政教授团队将激光加工的可控性大规模制作能力和二维宽禁带半导体材料氮化硼（hBN）的优异性质相结合，解决了目前单光子光源存在的几个关键问题，实现了空间可控地大规模制作高纯度、高亮度的单光子光源。
- 在物理学中，微弱的微波信号可以用最小的附加噪声放大。例如，基于超导电路的人工量子系统可以放大和检测单个微波模式，尽管是在毫开尔文温度下。研究人员可以使用自然量子系统通过受激发射效应进行低噪声微波放大；然而，它们在功能大于1开尔文时会产生更高的噪声。
- 科学家开发了基于金刚石的量子放大器，在这项发表在《科学进展》杂志上的新论文中，Alexander Sherman和海法以色列理工学院的化学科学家团队将金刚石中的电子自旋用作量子微波放大器，在液氮温度以上的量子限制内部噪声中工作。该团队报告了放大器的设计、增益、带宽、饱和功率和噪声的细节，这将促进迄今为止在量子科学、工程和物理中无法实现的应用。

<https://journals.aps.org/rmp/abstract/10.1103/RevModPhys.89.035002>
<https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2022/03/BringingQuantumSensorstoFruition.pdf>
<https://qt.eu/about-quantum-flagship/introduction-to-thequantum-flagship/sab-strategic-advisory-board/>
<https://insidehpc.com/2022/06/quantum-delta-nl-appoints-scientist-philippe-bouyer/>
<https://www.digitaljournal.com/pr/quantum-dot-sensor-industry-to-garner-539-9-million-by-2030>
<https://physicsworld.com/a/microcavity-could-make-a-platform-for-quantum-sensing/>
<https://www.techexplorist.com/precision-measurements-transition-frequencies-rydberg-states/47714/>
<https://www.eurasiareview.com/02062022-opticas-quantum-2-0-promotes-breakthroughs-in-quantum-research-and-applied-innovations/>
<https://www.bristol.ac.uk/news/2022/june/photonic-sensors.html>
<http://www.lmfvc.com/category/performance>
<https://www.fbh-berlin.de/en/media-center/press-releases/reliable-semiconductors-for-space-satellites-and-quantum-technologies>
<https://sciencex.com/news/2022-06-quantum-microphone-humans-advantage-technologies.html>
<https://qscience.org/evasive-quantum-phenomenon-makes-debut-in-routine-tabletop-experiment/>
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.231803>
<https://iis.tsinghua.edu.cn/show-9645-1.html>
<https://www.nature.com/articles/s41467-022-30410-8>
https://www.dlr.de/content/de/artikel/news/2022/02/20220530_dlr-eroeffnet-institut-fuer-satellitengeodaesie-und-inertialsensorik.html
<https://www.hpcwire.com/off-the-wire/undergrads-begin-summer-quantum-research-with-multi-institutional-support/>
<https://www.sciencedaily.com/releases/2022/06/220616121633.htm>

<http://news.ustc.edu.cn/info/1048/79579.htm>
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.233201>
<https://www.nature.com/articles/s41567-021-01392-z>
<https://medicalxpress.com/news/2022-06-brain-imaging-device-based-quantum.html>
<https://phys.org/news/2022-06-breakthrough-quest-evolve-quantum.html>
<https://ised-isde.canada.ca/site/innovative-solutions-canada/en>
<https://www.prnewswire.com/news-releases/coldquanta-named-a-2022-best-of-sensors-awards-winner-301578442.html>
<https://designerwomen.co.uk/quantum-sensors-market-to-hit-new-levels-of-growth-with-746-8-million-by-2027/>
<https://www.thetimes.co.uk/article/quantum-science-signs-distribution-deal-in-japan-fw3h770bz>
<https://news.utdallas.edu/science-technology/quantum-sensor-of-light-2022/>
<https://designerwomen.co.uk/quantum-sensors-market-size-worth-470-1-million-by-2028-to-rise-at-a-stellar-cagr-of-5-7-by-2028-exclusive-report-by-brand-essence-research/>
<https://source.wustl.edu/2022/07/nsf-funds-regional-training-program-to-boost-quantum-workforce/>
<http://www.quantumcas.ac.cn/2022/0722/c20525a563263/page.htm>
<https://journals.aps.org/prapplied/abstract/10.1103/PhysRevApplied.18.014045>
<http://www.quantumcas.ac.cn/2022/0719/c20525a562853/page.htm>
<https://opg.optica.org/optcon/fulltext.cfm?uri=optcon-1-5-1176&id=472776>
<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.128.230501>
<https://arxiv.org/abs/2204.12429>
<https://journals.aps.org/prxquantum/abstract/10.1103/PRXQuantum.3.020358>
<https://www.nature.com/articles/s41566-022-01019-6>
<https://phys.org/journals/nature-photonics/>
<https://link.springer.com/article/10.1140/epjd/s10053-022-00451>
<https://www.ixblue.com/ixblue-and-the-national-institute-of-geophysics-and-volcanology-present-the-first-application-of-quantum-technology-to-volcano-monitoring-on-mount-etna/>
<http://news.hust.edu.cn/info/1003/45742.htm>
<https://www.eenewseurope.com/en/qlm-raises-12m-for-quantum-sensor-technology/>
<http://www.quantumcas.ac.cn/2022/0805/c20525a563883/page.htm>
<https://mp.weixin.qq.com/s/NglgiTyQI9nldpWDYDGN2Q>
<https://www.eenewseurope.com/en/q-ctrl-sets-up-software-defined-quantum-sensing-division/>

<https://www.oxinst.com/news/oxford-instruments-nanoscience-wins-largest-uk-hidden-sector-project-bid/>

<https://scitechdaily.com/scientists-open-new-frontier-in-quantum-science-and-technology/>

<https://www.prnewswire.com/news-releases/coldquanta-secures-award-from-darpat-embedded-entrepreneurship-initiative-for-its-commercial-quantum-clock-301606447.html>

<https://www.torbayweekly.co.uk/qlm-bring-their-quantum-enabled-technology-to-epic/>

<https://link.springer.com/article/10.1140/epjd/s10053-022-00451-1>

<http://news.ustc.edu.cn/info/1055/80107.htm>

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2022/quantum-dot-instrument-enables-spacecraft-as-sensor-concept>

<https://phys.org/news/2022-08-currents-heart-millimeter-resolution-diamond.html>

<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2022/tiny-high-powered-laser-to-find-water-on-the-moon>

<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2022GL097814>

<https://www.nature.com/articles/s41377-022-00911-8>

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.129.051801>

<https://phys.org/news/2022-07-quantum-technology-constrain-particles.html>

<https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.129.073901>

<https://www.nature.com/articles/s41563-022-01329-8>

<https://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevLett.129.083001>

<https://www.nature.com/articles/s42005-022-00978-0>

https://www.photonics.com/Articles/Quantum_Sensors_for_Satellite_Control_Enable/a68320

<https://www.afrl.af.mil/News/Article-Display/Article/3133485/afrl-experiments-with-heat-flow-to-manipulate-quantum-materials/>

<https://pme.uchicago.edu/news/building-better-quantum-sensors>

<https://www.fiercееlectronics.com/sensors/coldquanta-wins-best-sensors-2022-maxwell-quantum-rf-sensor-platform>

<https://www.nature.com/articles/s41586-022-05225-8>

<http://www.quantumcas.ac.cn/2022/1006/c20525a573910/page.htm>

<https://phys.org/news/2022-10-ultra-precise-quantum-thermometer-temperatures-space.html>

<https://physics.aps.org/articles/v15/158>

<http://news.ustc.edu.cn/info/1055/80691.htm>

<https://www.thalesgroup.com/en/worldwide/group/news/euronaval-recognition-thales-quantum-technology>

<https://phys.org/news/2022-10-entangled-matter-wave-interferometer-spookiness.html>

<https://www.htworld.co.uk/news/genetesis-announces-17-5-million-series-c-financing/?amp=1>

<https://singularityhub.com/2022/10/31/new-3d-quantum-accelerometer-leaves-classical-sensors-in-the-dust/>

<https://www.vice.com/en/article/dy7kyv/scientists-invent-quantum-watch-a-mind-bending-new-way-to-measure-time>

<https://asia.nikkei.com/Business/Technology/Trading-house-Sumitomo-aims-to-bring-quantum-sensor-to-japan>

<https://phys.org/news/2022-11-group-advances-quantum-optical-fibers.html>

<https://news.mit.edu/2022/terahertz-camera-low-cost-1104>

<https://phys.org/news/2022-11-realmresearchers-prototype-quantum-microscopy.html>

<https://medicalxpress.com/news/2022-11-quantum-technology-cancer-imaging.html>

<https://techxplore.com/news/2022-11-collaboration-radio-frequency-synthesis-quantum-based.html>

<https://astrobiology.com/2022/11/ultimate-limits-of-exoplanet-spectroscopy-a-quantum-approach.html>

<https://www.nature.com/articles/s41586-022-05363-z>

<https://phys.org/news/2022-11-quantum-entangled-networks-atomic-clocks-accelerometers.html>

https://www.bmbf.de/SharedDocs/Publikationen/de/bmbf/5/31714_Forschungsprogramm_Quantensysteme.pdf?__blob=publicationFile&v=5

<https://news.mit.edu/2022/quantum-sensor-frequency-0621>

<https://journals.aps.org/prx/abstract/10.1103/PhysRevX.12.021061>

https://download.wezhan.cn/contents/sitefiles2053/10269541/files/533919..pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D2022%25e9%2587%258f%25e5%25ad%2590%25e7%25a3%2581%25e5%258a%259b%25e8%25ae%25a1%25e6%258a%25a5%25e5%2591%258a.pdf&response-content-type=application%2Fpdf&auth_key=1676524691-0762f95334da4f4a8d1b5af15c3376b1-0-51ce1333c9cff4ddf3ffa83d13cdf009

https://download.wezhan.cn/contents/sitefiles2053/10269541/files/533918..pdf?response-content-disposition=inline%3Bfilename%3D2022%25e9%2587%258f%25e5%25ad%2590%25e7%25b2%25be%25e5%25af%2586%25e6%25b5%258b%25e9%2587%258f%25e4%25ba%25a7%25e4%25b8%259a%25e5%258f%2591%25e5%25b1%2595%25e6%258a%25a5%25e5%2591%258a.pdf&response-content-type=application%2Fpdf&auth_key=1676524692-ad282997d6984305a84c93f5f48f03e9-0-0beef75229373d84409cc926881264af

Contact

ICV Tank

Technology Advisory
& Knowledgebase



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



(+1) 929 530 5901



infer@icvtank.com



<https://www.icvtank.com/>



光子盒
— QUANTUMCHINA —



北京市东城区朝阳门SOHO 1507



(+86) 10 6517 5590



zhangxinyu@quantumchina.com



<https://www.quantumchina.com/>

