融中咨询
BRIDGE CONSULTING

【融中咨询行研报告】

量子测量：超高精度引领仪器设备产业突破

BRIDGE CONSULTING

www.chinabridgeglobal.com

目录

1. 量子测量市场现状 5
1.1 背景 5
1.2 行业定义及发展历程 6
1.2.1 行业定义 6
1.2.2 发展历程 6
1.3 量子测量行业现状分析 8
1.3.1 政策情况 8
1.3.2 行业特性 9
1.3.3 应用情况 10
1.3.4 投融资情况 11
1.3.5 技术驱动 12
1.4 市场规模及竞争格局 13
1.4.1 行业市场规模 13
1.4.2 竞争格局 14
1.5 产业链图谱 15
2. 行业深入分析 18
2.1 量子探测成像 18
2.1.1 商业模式 18
2.1.2 场景痛点及用户需求 18
2.1.3 解决方案 18
2.1.4 企业展示 19
2.2 量子磁力计 20
2.2.1 商业模式梳理 20
2.2.2 场景痛点及用户需求梳理 20

2.2.3 解决方案梳理 21
2.3.4 企业展示 21
2.3 量子时钟 21
2.3.1 商业模式梳理 22
2.3.2 场景痛点及用户需求梳理 22
2.3.3 解决方案梳理 23
2.3.4 企业展示 23
2.4 量子惯导 24
2.4.1 商业模式梳理 24
2.4.2 场景痛点及用户需求梳理 24
2.4.3 解决方案梳理 24
2.4.4 企业展示 25
2.5 量子重力测量仪 26
2.5.1 商业模式梳理 26
2.5.2 场景痛点及用户需求梳理 26
2.5.3 解决方案梳理 27
2.5.4 企业展示 27
3. 行业未来发展趋势 29
4. 风险与挑战 30

图目录

图表 1 量子测量产品类型 5
图表 2 量子测量历史 7
图表 3 量子测量相关政策 8
图表 4 量子测量特性 10
图表 5 量子测量下游应用情况 10
图表 6 量子测量应用领域 11
图表 7 2018-2025 年中国量子精密测量行业代表性企业融资事件汇总 12
图表 8 量子精密测量行业技术 12
图表 9 量子精密测量全球规模占比 14
图表 10 量子精密测量细分行业 15
图表 11 量子精密测量上下游情况 16
图表 12 量子精密测量产业链 17
图表 13 量子探测成像应用领域 19
图表 14 量子惯导应用领域 25
图表 15 中国科大量子重力仪团队研制历程 26

1. 量子测量市场现状

1.1 背景

目前，中国在量子精密测量领域正积极抢占领先位置，量子测量正迎来产业化的重要窗口期。量子测量利用冷原子、氮空位色心、单光子、里德堡原子等技术路线，广泛应用于时钟同步、重力测量、量子雷达、量子定位等高精度领域。2022 年全球量子精密测量市场规模约 13 亿美元，2030 年有望达 25 亿美元。根据预测，到 2030 年全球量子测量市场规模将达数十亿美元。面对这一重大机遇，我们要加快技术突破和成果转化，抢占全球竞争制高点。

随着传感器技术、人工智能算法等关键技术的突破与融合发展，2018-2022 年量子测量专利申请量开始显著攀升。中国科学院等机构在量子传感器基础研究和关键技术攻关方面屡获成果，自主研发的高精度原子钟已达到国际先进水准。2025 年截至 11 月，专利申请数量为 76 项。截至 2025 年 11 月 11 日，中国是全球量子精密测量专利最多的国家，专利数量为 1033 项，占比高达 89%。其次是美国和日本，分别占比 3%和 2%。

目前可以商用的量子测量设备产品包括量子时钟、量子重力仪、量子磁力计及其衍生产品、光量子雷达等。

图表 1 量子测量产品类型

类型	核心技术/原理	精度/能力	应用领域
量子化学传感器	电子-核双共振（ENDOR）光谱与氮-空位（NV）色心核磁共振光谱法；监测电子自旋与核自旋的相互作用	原子级精度，能解析溶液中有机分子的三维结构	化学分析，分子结构鉴定
量子原子钟	激光冷却的单离子或中性原子囚禁于电磁陷阱或光学晶格；基于原子能级间的精确跃迁（如铯原子微波跃迁）	每 300 亿年误差 1 秒	时间基准，导航，精密测量
量子重力仪	激光冷却至近绝对零度的铷/铯原子在真空中自由下落；通过物质波干涉测量相位变化	可测地球表面重力加速度的十亿分之一变化（微伽级，10^{-6} m/s^2）	地质勘探，地球物理研究，重力场测绘
量子成像（幽灵成像）	利用纠缠光子对的量子关联特性；一个光子与物体作用，另一个作为参考，通过复合测量重建图像	超越衍射极限，可在弱光或恶劣环境下清晰成像	生物医学成像（对光敏感样本），恶劣环境探测

类型	核心技术/原理	精度/能力	应用领域
量子干涉仪	利用纠缠态量子粒子（如光子）的波动性，分成两路后干涉；量子纠缠增强关联性，放大路径差异	灵敏度比传统干涉仪提高数个数量级，可达海森堡极限	引力波探测，暗物质搜索，基础物理常数测量
量子磁力计	利用原子或电子自旋的量子特性测量磁场	可检测 10^{-15}T（飞特斯拉级）的磁场变化，相当于地球磁场的亿分之一	地球物理勘探（找矿），脑磁图（MEG），材料科学研究，国家安全（潜艇/地下设施探测）
量子温度计	利用量子纠缠和量子态对温度的敏感性	可测量纳开尔文（nK）级的极低温，比外太空寒冷十亿倍	超低温物理研究（量子相变，玻色-爱因斯坦凝聚等）

来源：融中咨询

1.2 行业定义及发展历程

1.2.1 行业定义

量子测量是量子力学中的关键概念，涉及对量子系统观察的其结果会导致量子系统的状态坍缩到确定态。与经典物理不同，量子系统的状态并不是一个确定的值，而是由多个可能的状态组成的概率波函数，测试过程在其中扮演了至关重要的角色。量子测量与经典物理中的测量有本质的不同。在经典物理中，我们可以通过合适的仪器对一个物体的某个属性（如位置、速度等）进行精确测量，而量子物理中的测量不仅仅是获取某个确定的值，而是根据概率的方式得到结果。量子测量是量子力学最基本和核心的问题之一，根据冯诺依曼测量假定，量子测量会导致量子态坍缩到待测物理量的本征态。

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。量子资源和量子调控带来了发展契机、新内涵新原理、新体系、新方法与新技术，有望实现如时间、电场、磁场、相位、重力、温度等物理量超越经典技术极限的量子精密测量。

1.2.2 发展历程

理论奠基阶段（1900-1925 年）：1900 年，普朗克提出量子假说，首次引入能量量子化概念，为量子理论奠定基础。1925 年，海森堡的矩阵力学与薛定谔

的波动力学相继诞生，标志着量子力学初步形成。这一理论突破为量子测量技术提供了核心框架，明确了微观粒子行为需通过概率幅描述，并引入不确定性原理，揭示了测量对系统状态的本质。

计量领域初步应用阶段（1960-1983 年）：1960 年，第 11 届国际计量大会首次采用自然基准——氪-86 原子的特定光谱波长重新定义长度单位“米”，替代了沿用百年的国际米原器。这一变革将量子特性引入计量体系，成为量子测量技术实用化的开端。随后，国际计量大会于 1967 年以铯-133 原子基态超精细跃迁频率定义“秒”，1979 年通过辐射强度标准重新定义“坎德拉”，1983 年进一步以光速值（基于米与秒的量子定义）反推“米”的定义，形成时间、长度、发光强度的量子化计量标准，巩固了量子在精密测量中的地位。

全面量子化阶段（2018-2019 年）：2018 年，第 26 届国际计量大会通过决议，将全部七个基本单位（千克、米、秒、安培、开尔文、摩尔、坎德拉）均基于量子基本特性重新定义。例如，千克采用普朗克常数，开尔文基于玻尔兹曼常数，安培关联电子电荷量。2019 年 5 月 20 日，新定义正式实施，标志着人类计量体系完全脱离实物基准，进入基于量子物理的“自然基准”时代，量子测量技术成为全球科技竞争的核心领域。

中国突破与产业化阶段（近年）：近年来，中国在量子测量领域取得多项突破。例如，成功研制高灵敏度量子磁力仪，利用超导量子干涉器件（SQUID）或原子磁强计等技术，实现地磁场、生物磁场等微弱磁场的精准探测；此外，在量子陀螺、量子重力仪等方向亦有进展，推动量子测量技术向导航、地质勘探、生物医学等领域延伸，形成从基础研究到产业应用的完整链条。

图表 2 量子测量历史

阶段名称	时间范围	关键事件与突破	主要意义与影响
理论奠基阶段	1900-1925 年	1900 年：普朗克提出量子假说，引入能量量子化概念。 1925 年：海森堡创立矩阵力学，薛定谔创立波动力学。	为量子力学奠定理论基础。 确立用概率幅描述微观粒子行为，并提出不确定性原理，揭示了测量的干扰本质。 为后续量子测量技术提供了核心理论框架。
计量领域初步应用阶段	1960-1983 年	1960 年：采用氪-86 原子的光谱波长重新定义“米”，首次引入自然基准。 1967 年：用铯-133 原子跃迁频率定	量子特性开始进入实用计量体系。 逐步建立了时间、长度、发光强度的量子化计量标准。 标志着量子测量技术实用化的开端，

阶段名称	时间范围	关键事件与突破	主要意义与影响
		义“秒”。 1979 年：通过辐射强度标准重新定义“坎德拉”。 1983 年：基于光速（由量子定义的米和秒得出）重新定义“米”。	巩固了量子在精密测量中的地位。
全面量子化阶段	2018-2019 年	2018 年：第 26 届国际计量大会决议，将七个基本单位全部基于量子基本常数重新定义。 2019 年 5 月 20 日：新定义正式实施。	计量体系完全脱离实物基准，进入基于量子物理的“自然基准”时代。 所有基本单位（如千克、安培、开尔文等）均与量子常数挂钩。 量子测量技术成为全球科技竞争的核心领域。
中国突破与产业化阶段	近年	成功研制高灵敏度量子磁力仪（如基于 SQUID 或原子磁强计）。 在量子陀螺、量子重力仪等方向取得进展。	实现微弱磁场（地磁场、生物磁场）的精准探测。 推动技术向导航、地质勘探、生物医学等领域的应用延伸。 形成了从基础研究到产业应用的完整链条。

来源：融中咨询

1.3 量子测量行业现状分析

量子测量行业，目前在政策利好的驱动下，其应用、投融资、技术方面正在不断拓展。

1.3.1 政策情况

近年来，中国政策持续加码。中央和地方加大投入力度，加快量子信息产业发展，为量子精密测量市场的发展提供了强大的推动力。2024 年 5 月，中央网信办、市场监管总局、工业和信息化部发布《信息化标准建设行动计划（2024-2027 年）》，加快量子信息标准布局，推动术语、功能模型、参考架构等基础通用标准研制，开展量子计算、量子通信、量子测量等关键技术标准研究。

图表 3 量子测量相关政策

日期	政策名称	颁布单位	政策内容
2024.11	《推动数字金融高质量发展行动方案》	中国人民银行、国家发展改革委、工业和信息化部、金融监管总局、中国证监会、国家数据	布局先进高效的算力体系，加快云计算、人工智能等技术规范应用，探索运用边缘计算和量子技术突破现有算力瓶颈，为金融数字化转型提供精准高效的算力支持。

日期	政策名称	颁布单位	政策内容
		局、国家外汇管理局	
2024.05	《信息化标准建设行动计划（2024-2027年）》	中央网信办、市场监管总局、工业和信息化部	加快量子信息标准布局，推动术语、功能模型、参考架构等基础通用标准研制，开展量子计算、量子通信、量子测量等关键技术标准研究。
2024.03	《2024年国务院政府工作报告》	国务院	制定未来产业发展规划，开辟量子技术、生命科学等新赛道，创建一批未来产业先导区。
2024.01	《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	工业和信息化部、教育部、科学技术部、交通运输部、文化和旅游部、国务院国有资产监督管理委员会、中国科学院	以实施意见为指南，围绕脑机接口、量子信息等专业领域制定专项政策文件，形成完备的未来产业政策体系。加快量子、光子等计算技术创新突破。加强可容错通用量子计算技术研发，提升物理硬件指标和算法纠错性能，推动量子软件、量子云平台协同布置。
2023.08	《新产业标准化领航工程实施方案（2023-2035）》	工业和信息化部、科技部、国家能源局、国家标准化管理委员会	开展量子信息技术标准化路线图研究。加快研制量子信息术语定义、功能模型、参考架构、基准测算等基础性标准。聚焦量子计算领域，研制量子计算处理器、量子编译器、量子计算机操作系统、量子云平台、量子人工智能、量子优化、量子仿真等标准。聚焦量子通信领域，研制量子通信器件、系统、网络、协议、运维、服务、测试等标准。聚焦量子测量领域，研制量子超高精度定位、量子导航和设计、量子高灵敏度探测与目标识别等标准。
2022.12	《扩大内需战略规划纲要（2022-2035年）》	中共中央、国务院	在人工智能、量子信息、脑科学等前沿领域实施一批前瞻性、战略性国家重大科技项目。以需求为导向，增强国家广域量子保密通信骨干网络服务能力。

来源：政府网站，融中咨询

1.3.2 行业特性

量子测量主要具备不确定性、波函数坍缩、量子纠缠、非破坏性测量的特性。以下为量子测量的主要特性的描述。

图表 4 量子测量特性

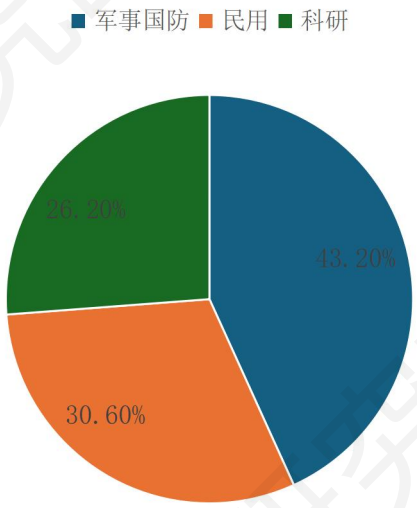
序号	特性	描述
1	不确定性	根据量子力学的哥本哈根诠释，量子系统在测量前处于叠加态，同时存在于多个可能的状态中；测量使得其中一个状态成为现实，具体状态在理论上是不确定的。
2	波函数坍缩	测量导致量子系统的波函数从一个叠加态突然变为一个特定的本征态，这个过程称为波函数坍缩；坍缩后的状态与测量结果相对应。
3	量子纠缠	在多粒子量子系统中，粒子之间可能存在纠缠态；对其中一个粒子的测量会瞬间影响到与之纠缠的另一个粒子的状态，即使它们相隔很远。
4	非破坏性测量	有些量子测量是非破坏性的，即测量不会改变系统的状态；这种测量可以用来获取关于量子系统的信息，而不干扰系统的进一步演化。

来源：融中咨询

1.3.3 应用情况

从应用领域来看，当前量子测量技术以军事国防应用为主（占比 43.2%），民用（30.6%）与科研（26.2%）占比较低。在国防军事领域，这些高灵敏度传感器可以检测物理量（如光、磁场和振动）的微小变化，为军队在威胁检测、态势感知和早期预警系统方面提供了重大升级。民用领域，量子测量技术在医疗、通信、能源、交通等领域均有着巨大的应用潜力。

图表 5 量子测量下游应用情况



来源：融中咨询

在应用层，量子测量产品已在航天导航、国防预警、生物医疗、能源勘探、

交通运输等多个高精度场景实现部署。国内科研团队与初创企业正加速推进样机转化和工程试验，部分量子测量设备已进入市场采购环节。

图表 6 量子测量应用领域

应用领域	核心描述	关键技术/原理	作用与意义
量子计算	量子测量技术在量子计算机中用于信息处理与结果读取。	量子比特（qubit）、量子叠加态、量子测量	精准的量子测量是执行量子算法的关键，尤其在最终阶段将量子信息转换为可读的经典结果，直接决定计算成败与效率。
量子通信	利用量子力学原理保障信息传输安全，量子测量是安全机制的核心。	量子密钥分发（QKD）、量子态不可克隆定理、测量扰动性	量子测量的扰动特性使得任何窃听行为都会被检测，从而为通信提供理论上无条件的安全保障，是未来网络安全的重要基石。
精密测量	在时间、频率等基础物理量的测量上实现革命性精度提升。	原子钟、量子干涉、量子态操控	极大提升了计时、测频等基准的精确度与稳定性，不仅推动了基础科学研究，也为导航、通信网络等关键技术提供了核心支撑。
医疗成像	通过量子效应提升医学成像的分辨率与灵敏度，助力精准诊断。	量子纠缠、量子干涉、量子传感	有望实现对生物样本更细微结构的无创、高清晰成像，为早期疾病检测和生物学研究开辟新的技术途径。

来源：融中咨询

未来，随着技术成熟与成本下降，民用领域应用占比将不断提升。

从 2023 年至 2035 年，量子精密测量需求持续增长，应用场景日趋多元：

小众高精领域：如网络时频管理、心理健康治疗、老年痴呆症诊疗等，虽市场规模有限，但高精度特性为精准数据与解决方案带来可能；

大规模商业化领域：航空交通管制雷达、卫星导航、深海探测、电池改良、智能驾驶等，对高精度测量需求激增；

前沿技术拓展：量子雷达凭借高分辨率与高灵敏度，在国防安全、环境监测、航空管理等领域展现独特优势，有望成为下一代雷达技术核心。

1.3.4 投融资情况

在投融资方面，2025 年以来，中国市场已有多家量子测量企业获得融资。

中科酷原在 2025 年 2 月、7 月完成了 2 次融资，2025 年 5 月，国测量子完成 A 轮融资，投资方为河北沿海产业投资基金、粤科金融、湖州经开集团。资本市场的加入，为行业发展提供了强劲助力。

根据企业公告的梳理，从投融资规模来看，2018-2025 年大部分公司选择不披露或模糊投融资金额，从披露数据来看，单笔投融资最高金额为 1.31 亿元（国仪量子 D 轮）。2018-2025 年主要的融资事件如下：

图表 7 2018-2025 年中国量子精密测量行业代表性企业融资事件汇总

时间	企业	轮次	融资金额	投资方
2025-10-27	国仪量子	D 轮	1.31 亿元人民币	兴泰资本
2025-10-16	墨测科技	天使轮	未透露	合肥创新投资
2025-08-30	国测量子	A+轮	数亿人民币	国科嘉和
2025-07-30	中科启迪	B 轮	未透露	川翔资本
2025-07-23	中科酷原	战略投资	数千万人民币	光谷金控
2025-05-19	国测量子	A 轮	未透露	河北沿海产业投资基金
2025-03-18	国顺激光	A 轮	约 5000 万元	金沙江联合资本
2025-02-25	长沙量子	天使轮	未透露	湖南高新创投集团
2025-02-17	中科酷原	战略投资	未透露	武汉高科
2024-12-10	科微量子	天使轮	数千万元	麟阁创投

来源：各公司公告

1.3.5 技术驱动

量子测量技术涵盖了众多基础测量技术，包括冷原子干涉技术、离子阱控制技术、金刚石氮空位（NV）核心技术、超导量子隧穿效应、原子蒸气技术等。目前，已较为成熟且得到广泛应用的技术主要有以下几种：

图表 8 量子精密测量行业技术

序号	技术名称	原理概述	应用领域	特点
1	冷原子干涉技术	通过激光冷却原子至极低温度，实现对原子的精准调控；原子对作用力敏感而产生位移，利用干涉现象进行测量。	磁场、惯性及时间变化等参数的测量；尤其在重力测量中表现出色，分辨率可达厘米以上。	对作用力敏感，测量精度高，适用于高分辨率重力测量。

序号	技术名称	原理概述	应用领域	特点
2	离子阱控制技术	利用电磁场等技术将离子控制在有限空间内，保持稳定状态；通过测量离子状态变化推导环境参数。	惯性导航、时间参量测量、电场和磁场测量等。	能够长时间稳定控制离子，适用于高精度惯性导航和时间测量。
3	金刚石氮空位（NV）色心技术	金刚石晶体中氮原子取代碳原子形成氮-空位（NV）中心，具有独特能级结构和光学性质；量子自旋态在室温下具有长时相干性，可构成多量子比特系统。	磁场传感、射频探测等多物理量测量。	室温下长时相干性，量子自旋相互作用丰富，适用于多量子比特系统和多物理量传感。
4	超导量子隧穿效应	量子力学中电子概率性穿越原子核位势，逃出原子核束缚；需在超导状态下进行测量。	磁场、电场等物理量的测量。	需超导条件，推广使用受限。
5	原子蒸气技术	通过光学方法测量自旋极化高密度原子蒸气在外部环境下的状态变化。	多个领域的测量。	室温下运行，无需复杂激光冷却和俘获装置，仍能利用原子特性，易于推广和应用。

来源：融中咨询

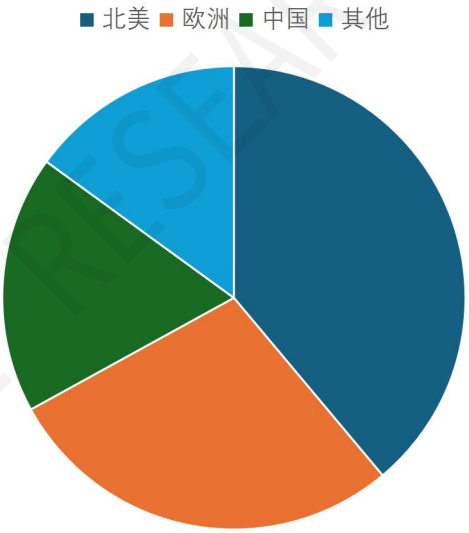
1.4 市场规模及竞争格局

1.4.1 行业市场规模

数据显示，2024 年全球量子测量市场规模约 16.7 亿美元，同比增长 14.4%；其中北美、欧洲、中国量子测量规模分别占比 38.9%、28.1%、18.0%。我国近年来在量子测量领域发展迅猛，利好政策持续出台，科研投入持续加大，成绩显著。中国科学院等科研机构在量子传感器基础研究和关键技术攻关方面屡获成果，自主研发的高精度原子钟已达到国际先进水准。

未来市场规模方面，市场预测显示，到 2035 年量子精密测量的市场规模将达到 44.97 亿美元，其中重力测量领域将占据 10.9 亿美元的份额。国产仪器正逐渐走出实验室，MEMS 级加速度计的样机价格已从百万降至十万，为自动驾驶、手机等领域的量子应用提供了可能。

图表 9 量子精密测量全球规模占比



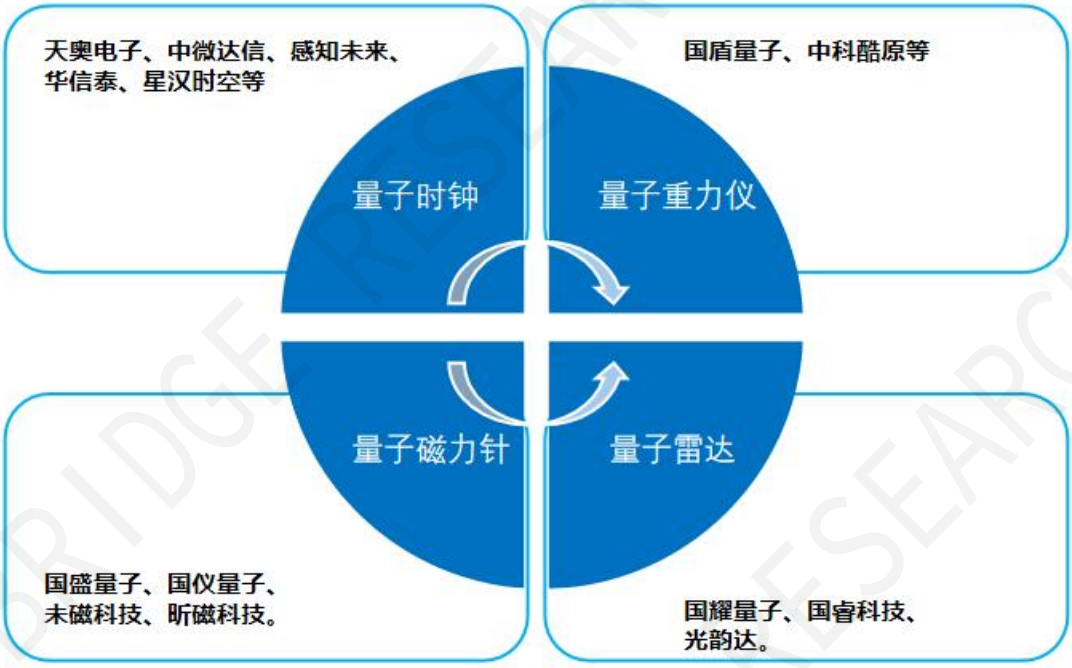
来源：公开信息，融中研究

1.4.2 竞争格局

目前，中国量子精密测量市场仍处于亟待发展的阶段，众多企业参与量子精密测量研发、生产及使用的环节当中，竞争日益激烈。

量子精密测量行业细分设备领域主要有量子时钟、量子重力仪、量子磁力计、量子雷达等等。量子时钟参与竞争的企业主要有：天奥电子、中微达信、感知未来、华信泰、星汉时空等；量子重力仪参与竞争的企业主要有：国盾量子、中科酷原等；量子磁力计参与竞争的企业主要有：国盛量子、国仪量子、未磁科技、昕磁科技等；量子雷达参与竞争的企业主要有：国耀量子、国睿科技、光韵达等。

图表 10 量子精密测量细分行业



来源：融中咨询

1.5 产业链图谱

量子精密测量利用量子态对环境的高度敏感性，显著提升时间、位置、加速度、电磁场等物理量的测量精度。其应用场景丰富，产业化前景明确，已形成完整产业链。

上游：量子精密测量的上游基本为美国、英国、德国、日本企业。上游提供可为量子系统使用的激光、低温系统、磁体环境系统、电子元器件、线缆、材料（特殊金属金刚石、稀土等）等。涵盖低温设备、磁体、光源/激光器、探测器等基础材料和元器件；

中游：产业链中游企业通过对上游产品集成，以及开发与产品配套的软件或系统，提供整体解决方案，产品包括原子钟、量子磁力计、冷原子干涉重力仪、陀螺仪、加速度计、原子力显微镜、电子顺磁共振波谱仪、量子雷达等。包括量子时钟、量子重力仪、单光子雷达等系统产品。

下游：产业链下游应用场景包括卫星导航、国防军工、医疗、通信等场景。广泛应用于基础科研、生物医疗、环境勘测、工业检测等领域。

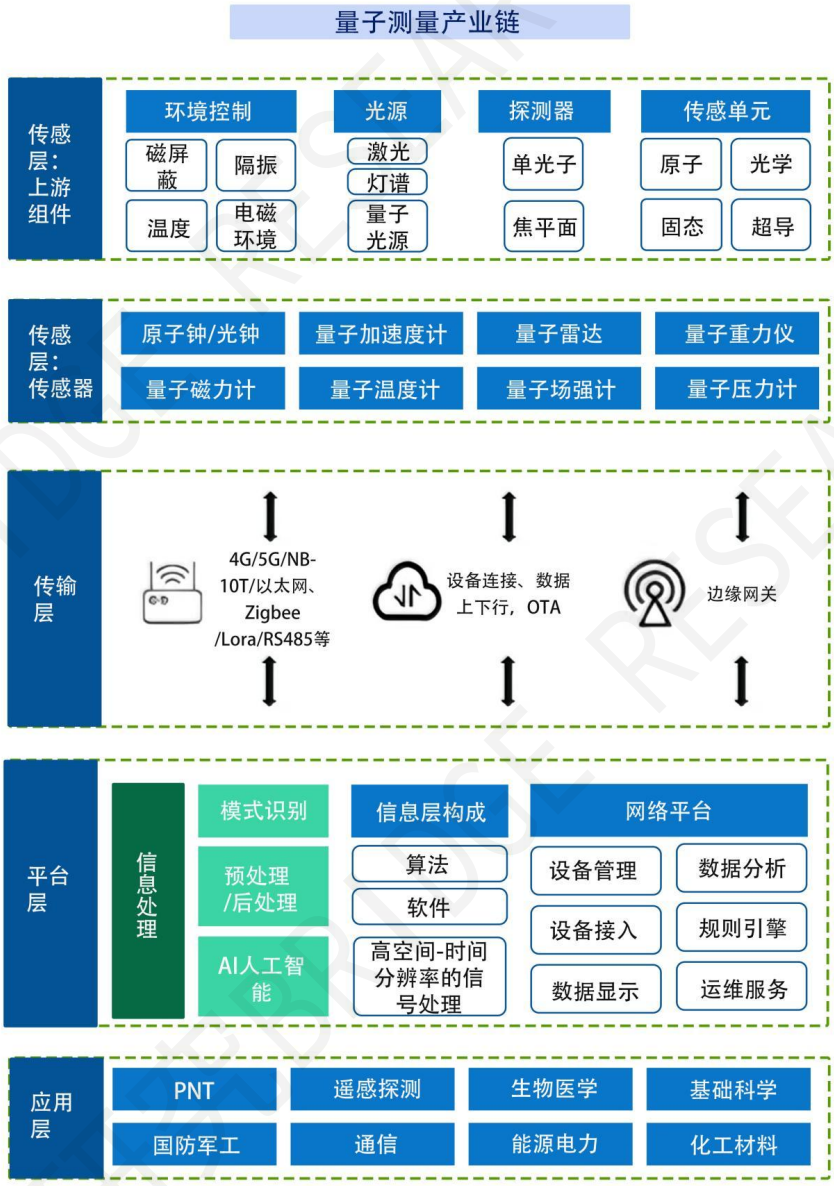
图表 11 量子精密测量上下游情况

产业链环节	主要构成与产品	功能与应用定位
上游	低温设备、磁体、光源/激光器、探测器等基础材料和元器件	提供量子测量系统所需的核心硬件、基础材料和关键元器件支持
中游	子时钟量量子重力仪、单光子雷达等系统产品	集成上游元器件，形成可面向具体测量任务的完整量子测量设备与系统
下游	基础科研、生物医疗、环境勘测、工业检测等领域	将中游量子测量产品应用于实际场景，解决科学问题与产业需求

来源：融中咨询

融中研究BRIDGE RESEARCH

图表 12 量子精密测量产业链



来源：融中咨询

2. 行业深入分析

2.1 量子探测成像

2.1.1 商业模式

量子成像是以量子光学为基础，通过操控光场的量子特性（如纠缠、关联、涨落）实现的新型成像技术。其核心原理可分为纠缠光子对成像和经典热光场强度关联成像两类，前者基于量子纠缠特性实现物像分离探测，后者利用热光场涨落关联突破传统成像系统的衍射极限 。

该技术在军事侦察领域通过双光路关联设计实现穿透散射介质成像，在战场环境中可探测 2 公里外目标细节；在生物医学领域量子关联显微技术分辨率突破 80 纳米，配合单光子雪崩二极管（SPAD）探测器实现活体细胞动态观测。

2.1.2 场景痛点及用户需求

量子关联成像技术基于先进算法攻克算力消耗大的难题，在小型化和移动端领域研发的量子成像雷达实现全天候高精度实时三维环境感知。量子成像的物理基础可追溯至 1956 年 Hanbury Brown-Twiss 干涉实验揭示的量子光学相干性特征。关键技术突破包括 2002 年首次实现非纠缠光源成像实验、2004 年建立经典热光关联成像理论框架，2023 年实现细胞器级三维重建。量子探测成像结合压缩感知算法突破奈奎斯特采样极限，提升成像实用化程度。

2.1.3 解决方案

量子成像比常规的激光全息成像更方便。但是，量子成像需要的成像时间较长，一般要几秒钟时间，不适于快速成像的场合，而且就目前的技术而言，产生大量的纠缠光子对还有困难，不过随着量子信息技术的发展，这些问题都有望解决，因此量子成像将成为成像领域中的一个重要分支。要在红外波段获得高分辨率图像很难，使用量子成像却能很容易获得成像效果良好的图像，所以量子成像技术将以其高清晰的图像在航空探测、军事侦察、远红外成像等领域发挥重要作用。

具体的解决方案方面，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。此外，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。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。

图表 13 量子探测成像应用领域

应用领域	主要特点与现状	主要技术类型
国防军工	研发环境相对封闭，侧重国家安全；为军事任务提供全方位支持。	时间测量、重力测量、惯性测量、目标识别、磁异常导航、近地观测等（应用于全球导航卫星系统、全球定位系统等）
医疗健康	呈现明显的国际合作趋势；美国、中国、德国、瑞士、芬兰等国提供先进解决方案。	量子磁力测量（如心磁图、脑磁图等生物磁测量）
能源环保	欧美国家是主要推动者，亚太地区相对欠缺；技术应用于智能电网、气候变化监测、环保决策等。	高精度同步解决方案、重力梯度测量、气象监测、射频传感等

来源：融中咨询

2.1.4 企业展示

国仪量子：国仪量子作为量子领域的佼佼者，其核心技术主要围绕量子精密测量展开。这一技术不仅为全球范围内的众多企业、政府机构及研究组织提供了卓越的产品与服务，还涵盖了增强型量子传感器等核心关键器件、科学仪器装备，以及赋能行业应用的技术解决方案。量子精密测量技术利用量子力学特性进行高精度测量，在传感器、量子科技、化学等多个领域都有广泛应用。公司专注于精密测量仪器，在量子精密测量领域取得重要突破，国仪量子已交付上千台高端科学仪器，客户遍布全国高校与企业研发中心，产品出口至英国、意大利、西班牙等国家和地区，逐步确立了在全球量子精密测量产业化领域的领跑地位。

科大国创：参股国仪量子（量子精密测量），布局量子通信软件及行业应用。科大国创通过战略投资深度布局量子科技产业。参股的国仪量子在量子测量领域市占率超 60%，九章量子在光量子计算路线保持领先。与国仪量子在技术协同上已深度绑定，联合开发的量子测量设备已落地储能项目，同时公司还通过基金间接持有另一量子龙头本源量子的股权，形成“量子精密测量+量子计算”的双布局。此外，公司子公司国创九章在算力领域的布局，更能与量子技术形成协同效应，全方位支撑算法与算力需求。

华工科技：研发量子测量激光器及传感器，与高校合作推进量子传感技术落地。此外，公司在量子磁力计方面有布局。量子雷达技术突破，探测距离提升 3 倍，已应用于低空经济监测。华工科技在量子测量领域表现突出，是全球唯一能量产量子点激光器芯片的企业。公司业务涵盖激光技术、光通信等多个领域，量子业务营收占比已达 25%，成为重要增长点。其量子点激光器芯片良品率高达 92% ，显著优于行业平均水平。

2.2 量子磁力计

2.2.1 商业模式梳理

量子磁力计行业正迎来产业化的重要拐点。相比传统磁力计，基于原子自旋效应等量子原理的磁力计在灵敏度、分辨率和稳定性方面实现数量级提升。量子磁力计是一种基于量子精密测量技术的超高灵敏度磁场传感器，它利用量子力学原理对极弱磁场进行测量，其灵敏度可达到传统传感器的数千倍，甚至能探测到地球磁场的百万分之一大小的信号。这项技术被视为量子科技产业化的重要代表，正在多个领域引发变革。

2.2.2 场景痛点及用户需求梳理

量子磁力计产业生态正在加速形成。上游核心部件自主化取得重要进展。激光器、量子光源、控制系统等关键部件的技术水平持续提升，为整机开发奠定基础，具有核心部件自主研发能力的企业将在竞争中占据优势。中游整机开发呈现多元化格局。科研机构、创新团队和企业共同推进产品研发，不同类型的产品陆

续面世，这种良性竞争格局有利于加速技术创新。下游应用推广逐步深入。通过与重点用户单位的协同创新，产品在实际应用场景中的性能得到持续优化。这种产学研用深度融合的模式正成为行业发展的重要推动力。

2.2.3 解决方案梳理

量子磁力计以其无创、无辐射、无造影剂、抗电磁干扰等优势，成为医疗诊断中的重要工具。量子传感器能捕捉到极其微弱的信号。例如，量子磁力计可以探测到比地磁场微弱数亿倍的人体心磁、脑磁信号，为无创心脑疾病早期诊断提供了全新工具。中国的“未磁科技”已推出可用于心肌缺血辅助诊断的心磁图仪。此外，基于 SERF（无自旋交换弛豫）或 NV 色心技术的量子磁力计，正在推动心磁图、脑磁图的商业化，实现无创、无辐射的精准功能成像。美国 Genetesis 公司的心磁图仪已获得 FDA 突破性设备认证。

量子磁力计的应用推广呈现明显梯度特征。以下为重点应用领域的发展前景：1）生物医学领域率先实现商业化突破。在脑磁图、心磁图等医疗诊断领域，量子磁力计可实现对神经信号的精准检测，为疾病早期诊断提供新手段。这一领域对设备性能要求最高，但也最具商业化价值。2）资源勘探领域应用潜力巨大。在地下矿产资源勘查、油气田探测等场景，量子磁力计可显著提升探测深度和精度。

2.3.4 企业展示

启科量子：在北斗量子授时方面有业务，此外，启科量子凭借其量子精密测量技术，在工业检测领域打开国际市场。为法国电力集团开发的量子电流传感系统，通过金刚石氮-空位色心技术，实现了对高压电缆电流的非接触式精确测量，测量精度达到皮安级别。

天奥电子：国内原子磁力计产品化的核心企业。其产品属于光泵原子磁力计，已实现批量化生产，应用于脑磁/心磁信号探测（用于脑科学研究和医疗诊断）、地球物理勘探（探测地下异常体）和零磁科学装置等领域。公司明确其产品暂未用于核聚变或脑机接口植入。

2.3 量子时钟

2.3.1 商业模式梳理

量子时钟是一种基于量子力学原理制造的高精度计时设备，它通过测量原子或分子的量子状态变化来提供时间信息，其精度远超传统的原子钟。量子时钟作为量子精密测量技术的核心分支，利用原子或离子的量子态实现超高精度计时，其行业动态受技术进展、市场增长和政策推动多重因素影响。较于传统的铯原子钟，量子时钟在计时方式上显得更为出色。它通常利用更高频率的光学跃迁，例如可见光或紫外激光，来实现每秒数百万亿次的嘀嗒频率。这样的设计使得时间分辨率得到了显著的提升，高达数百甚至上千倍。

量子时钟是一种基于量子力学原理制造的高精度计时设备，它通过测量原子或分子的量子状态变化来提供时间信息，其精度远超传统的原子钟。2023 年全球量子时钟市场销售额达到了 4.51 亿美元，预计 2030 年将达到 19.05 亿美元，年复合增长率（CAGR）为 23.0%（2024-2030）。

2.3.2 场景痛点及用户需求梳理

量子时钟的需求主要源于对极高精度时间测量的迫切需要，这在军事、通信、导航和科学研究等领域尤为关键。以下从多个维度概述其需求驱动因素：

军事与国防应用：各国军方积极推动量子时钟研发，以提升情报收集、侦察能力和精确打击武器的同步精度。例如，英国国防部正秘密开发量子钟，旨在减少对 GPS 等全球导航卫星系统的依赖，在敌对环境中实现高精度时间同步与导航。美军同样攻关量子时钟技术，目标是实现比 GPS 更精准的导航与通信，增强战场信息优势。

通信与数据同步：随着 5G、人工智能及大数据技术的发展，移动终端、数据中心和金融交易系统对时间同步的精度要求急剧提升。量子时钟能提供稳定的高精度时间基准，确保分布式系统（如跨洲数据库）的数据一致性与高效处理。

导航与空间技术：全球导航卫星系统（GNSS）依赖原子钟进行定位，但量子时钟的更高精度（如误差低于 1 秒/数十亿年）可显著优化卫星导航、航空航天及深空探测的可靠性。例如，量子时钟可提升 GPS 的稳定性，支持更复杂的导航算法。

科学研究与基础物理：在基础物理实验（如引力波探测、暗物质研究）中，量子时钟的极端精度有助于验证理论模型并推动时间标准的革新。国际计量局已将铯原子钟作为秒的定义标准，而量子钟正成为下一代时间基准的候选。

2.3.3 解决方案梳理

随着 5G 网络的建设、人工智能和信息社会的进步，传输的大数据对各种智能移动终端的时间同步提出了更高的要求。量子时钟可以为远程控制移动网络终端和各种人工智能设备提供高精度的时间基准，在军事应用中，量子时钟可以安装在各种武器上，如远程弹丸，以提高打击精度。它也可以安装在各种便携式个人设备上，以保持移动作战单位和指挥系统之间的高精度时间同步。预计原子钟将在信息战场上发挥重要作用。

此外，在科学研究中，天文学家需要精准记录天体信号的到达时间，才能算出天体的距离和运动轨迹；物理学家研究引力、相对论时，也需要超高精度的计时工具来验证理论。在日常生活中，量子时钟的精准度也有影响——比如金融交易中，股票、期货的交易时间精确到毫秒级，量子时钟能确保交易的公平性；电力系统中，不同区域的电网需要精准同步，量子时钟能避免电网频率波动，保障供电稳定。

2.3.4 企业展示

天奥电子：中国电科旗下，布局原子钟（量子时间频率测量），应用于北斗导航系统。天奥电子将量子力学原理与传统测量技术结合，开发高精度测量设备，重点聚焦以下方向：1）原子磁强计：作为核心产品之一，具备高灵敏度和高精度特性，已应用于脑磁信号监测、地球磁场测量及材料科学研究。不过，公司明确表示该技术尚未进入核聚变和脑机接口领域。2）原子钟：融合量子物理与电子技术，属于量子技术产品，主要用于高精度时间频率测量，在通信、导航等领域有重要价值。天奥电子在原子钟、量子雷达技术上领先，2025 年新签量子测量订单达 1.8 亿元。

国测量子：国测量子科技是一家专注于芯片原子钟等高端仪器的研发与量产的公司，致力于实现国产化自主可控。其核心突破的芯片原子钟技术，基于相干

布局囚禁（CPT）理论，公司自主研发的芯片原子钟实现了高精度（时间稳定度达 3×10^{-11}，2000 年仅累积 1 秒误差）、低功耗（约 100 毫瓦）和微型化，核心性能超越国际同类产品。该技术解决了激光器、气室等关键器件的“卡脖子”问题，打破国外垄断，并实现全国产化生产。

2.4 量子惯导

2.4.1 商业模式梳理

量子惯性导航通过测量运载体在各个方向的加速度，并进行积分运算，来获得运载体的位置和速度。在计算位置时，需要知道姿态，即计算速度的时候需要知道姿态，而计算位置的时候，不是只用加速度计输出就可以了，还需要陀螺的输出。这整个过程耦合了陀螺和加速度计的误差，并且包含上个时刻的位置速度姿态误差等具有较大影响的误差源。

2.4.2 场景痛点及用户需求梳理

量子惯性导航系统是一种不依赖于外部信息，也不向外部辐射能量的自主式导航系统，具有高隐蔽性、全时空间工作的优势，在国家安全等领域具有重要的应用价值。

通过对原子的量子调控，基于原子自旋、冷原子干涉效应的量子陀螺仪和重力仪可实现超高灵敏度的惯性测量，有望达到水下航行 100 天之后的定位误差小于 1 千米，实现长时间完全自主导航。

此外，从惯导原理来看，惯导在计算位置的时候，首先得计算出速度，而计算速度的时候，需要知道姿态。也就是说，在计算位置的时候，并不是只用加速度计输出就可以了，还需要陀螺的输出。这整个过程耦合了陀螺和加速度计的误差，并且包含上个时刻的位置速度姿态误差等具有较大影响的误差源。

2.4.3 解决方案梳理

惯性导航技术拥有军民两大领域的应用全景，其技术路径随精度、成本、环

境的需求而演变，市场驱动力由国防安全主导向大规模民用商业化拓展。

图表 14 量子惯导应用领域

应用领域	主要应用场景/载体	当前主流陀螺技术趋势	市场特点/增量驱动因素
航空惯导	战斗机、轰炸机、军用直升机等	由动力调谐陀螺过渡为激光陀螺（主流）	新战机放量及升级换代带来巨大空间；要求高精度、快反应。
航天惯导	运载火箭、卫星、空间站等	种类较多，光学陀螺（激光/光纤） 成为趋势	高自主性要求；全球低轨卫星竞赛驱动需求。
导弹及制导炸弹惯导	巡航导弹、制导炸弹、巡飞弹等	从激光陀螺过渡为光纤陀螺，MEMS 用于低成本弹药	现代战争消耗量大，精确制导武器占比提升。
陆用惯导	坦克、自行火炮、装甲车辆等	由光纤陀螺向 MEMS 陀螺过渡	复杂环境自主导航；MEMS 成本优势显现。
航海惯导	潜艇、航母、驱逐舰等舰艇	激光陀螺渐成主流，光纤、静电等多技术发展	潜艇隐蔽航行需求；海军远洋化建设推动。
民航惯导	大型客机（如 C919、A320）	以激光陀螺为主（如 A320）	国产大飞机打开新市场；民航市场长期增长。
无人机引导	固定翼、多旋翼等民用无人机	以 MEMS 陀螺为主	无人机市场高速增长，全场景应用促进普及。
资源勘探惯导	石油/天然气钻探测斜仪	以高精度光纤陀螺为主	资源勘探难度加大，催生高精度、高可靠性需求。
车载惯导	L2 及以上智能驾驶汽车	以车规级 MEMSIMU 为主，与 GNSS 融合	自动驾驶核心需求，用于信号缺失时持续定位。
高铁检测惯导	轨道检测小车、综合检测车	采用高精度光纤或激光陀螺	中国高铁里程全球第一，建设与养护需求庞大。

来源：融中咨询

2.4.4 企业展示

国盾量子：该公司是国内量子科技领域的领先企业，专注于量子通信、量子计算和量子精密测量三大方向。其量子精密测量业务包括量子重力测量等技术，这些技术与高精度惯性导航原理相通，已在地质勘探等领域实现应用。1　公司依托中国科学技术大学的技术背景，在量子传感器和精密测量系统方面具备研发能力，能为量子惯导提供技术基础。

中国电信量子集团：作为中国电信旗下的量子科技平台，该集团控股国盾量子，并推动量子技术产业化。其布局涵盖量子精密测量，例如在量子重力仪等产品上与工业、地质等领域合作，这些技术可延伸至导航定位场景。集团强调产学

研融合，可能通过生态合作加速量子惯导的探索。

2.5 量子重力测量仪

2.5.1 商业模式梳理

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。

中国科大量子重力仪团队于 2015 年开始量子重力仪的研发，至今已研制完成五代小型化可搬运量子重力仪样机，关键指标已处于国内外同原理重力仪的领先水平，并在仪器研制的基础上开展有绝对重力连续观测、流动绝对重力勘测等外场演示验证。

图表 15 中国科大量子重力仪团队研制历程



来源：中国科大

2.5.2 场景痛点及用户需求梳理

量子重力仪作为高精度重力测量技术的核心载体，依托量子干涉现象实现对重力场的纳米级感知，已成为全球尖端科技竞争的战略高地。中国在该领域的布局始于 20 世纪 60 年代的原子钟研究，伴随国家量子科技战略的深化，量子重力仪逐步从实验室走向产业化。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突破，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。

2.5.3 解决方案梳理

量子绝对重力仪在国防军事、国土测绘和资源普查等方面也具有较广的应用前景。通过布设基于量子绝对重力仪的高密度地球物理重力网，可以提供长时连续的重力基准和无漂移重力异常观测。通过和传统的地震观测手段相结合，提高对重点区域重力中长期变化的观测和分析能力，从而得到更高精度的时变地球物理场模型，提高对地震的风险评估能力。这就是量子绝对重力仪的主要应用方向之一。此外，量子绝对重力仪在国防军事、国土测绘和资源普查等方面也具有较广的应用前景。

2.5.4 企业展示

量子重力测量仪器的主要参与者包括：AOSense（美国）、Msquared（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）。

国盾量子：公司是中国量子通信领域的奠基者和领军企业，也是全球少数全面掌握量子保密通信核心技术与工程化能力的公司之一。公司脱胎于中国科学技术大学，其核心业务是量子保密通信产品的研发、生产与技术服务，主要产品包括量子密钥分发（QKD）设备、量子密钥管理/分发网络、光量子交换机等，并深度参与了“京沪干线”、国家广域量子保密通信骨干网络等国家级重大项目建设。因此，国盾量子的投资生态已覆盖量子测量领域，致力于构建从量子通信、量子计算到量子测量的协同产业链。

中科酷原：公司是国内专注于将量子精密测量技术从实验室推向产业化的创新企业，成立于 2020 年。中科酷原是一家专注于量子技术产品研发的高科技企业。公司致力于为科研机构、企业研发部门、工业生产、国防军工和教育科普等领域提供量子技术产品，包括量子精密测量仪器、量子传感核心部件、中性原子量子计算、原子量子芯片等。中科酷原凭借其技术创新能力和市场应用前景，吸引了众多投资方的关注。

微伽量子：公司是一家专注于量子惯性传感与导航技术的高科技企业，核心团队拥有深厚的冷原子物理研究背景。公司战略聚焦于将原子干涉技术同时应用于重力测量与惯性导航两大方向。专注于量子重力仪研发制造，其绝对重力测量精度达 10 微伽量级，性能国际先进 。作为浙江省科技型中小企业，公司自主掌握量子重力仪核心技术，研制多款工程样机并服务于科研院所。

3. 行业未来发展趋势

展望未来，随着量子技术的持续进步和相关理论研究的深入，量子测量领域有望取得更多突破性进展。特别是在量子信息处理和量子通信等前沿领域，量子测量技术将发挥日益关键的作用，不断推动科技创新和发展。前沿趋势与未来方向如下：

新材料与新体系探索：寻找可在更高温度下展现量子效应或对干扰更鲁棒的新材料和量子体系是关键方向。例如：探索二维材料中的新型自旋缺陷用于磁传感。研究拓扑量子材料等。

量子传感网络与分布式测量：将多个量子传感器通过量子纠缠联接成网络，可实现：超越经典极限的分布式测量，用于大范围物理场测绘。同步时钟网络，构建更精准的时空基准。

量子人工智能与优化控制：利用机器学习算法处理量子测量中的海量数据，优化量子态制备、控制序列和参数估计过程，有望提升测量精度和效率。

Hybrid 量子-Classical 系统：结合量子传感器和经典计算处理能力的混合系统，可能是近期内更可行的技术路径，旨在发挥各自优势。

标准化与产业化推进：中国及世界多国正通过政策扶持、构建产业生态等方式推动量子技术产业化。制定统一的测试标准和计量规范，对于量子测量技术的商业化应用至关重要。

4. 风险与挑战

尽管量子测量技术在医学成像等领域展现出显著潜力，例如通过量子传感与量子成像技术有望实现生物组织的超高分辨率、无创早期诊断，但目前其走出实验室、实现规模化实际应用仍面临不少基础性与工程性挑战。首要且根本的挑战在于量子系统固有的脆弱性。量子态极易受到外部环境（如热涨落、电磁噪声、机械振动等）的干扰而发生退相干，这种干扰会破坏量子态的相干性和叠加性，从而导致测量信号衰减、信噪比下降及结果的不稳定性。如何在实际复杂环境中有效隔离噪声、维持量子态的完整性，是技术走向实用的关键瓶颈。此外，实现高精度量子测量依赖于高度精密的实验设备和复杂的调控系统，例如极低温制冷装置、超高真空环境、稳定激光源以及纳米级加工工艺等，这些设备的搭建与维护成本高昂。同时，测量产生的海量量子数据需借助先进算法与强大算力进行处理、分析与解读，这对科研团队及产业界的技术积累、跨学科协作能力以及持续的资金投入均提出了严苛的要求。因此，量子测量技术的真正普及，仍需在材料科学、工程控制、算法优化及系统集成等多个层面取得进一步突破。