

量子科技专题

量子应用逐步落地，关注政策支持

西南证券研究发展中心
通信研究团队
2024年5月

核心要点

- **量子科技是我国重点发展的未来产业，也是大国博弈的重要领域。**量子科技政治地位重要：2024政府工作报告强调，要积极培育新兴产业和未来产业，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；在《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》中明确，中国将在包括量子信息在内的八大前沿领域实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技项目。同时，量子技术国际流动及其受限，是大国博弈的重要领域：美国对在中国投资量子领域的资本进行严格限制，同时将22家中国量子领域企业纳入出口管制实体清单；欧盟对量子计算外包限制严格。量子科技的突破能够极大提升国家的各领域实力，因此，量子科技有望获得持续的政策倾斜和资金支持。
- **量子通信是信息保密的重要方向，已实现商用落地。**量子科技包含三大主要研究方向，其中量子通信是商用化较快的领域。量子通信是利用量子的物理学特性进行信息保密传输的技术，能够实现最高安全等级“信息论安全”。在量子计算机高速发展的背景下，现有加密体系将受到严重冲击，因此现有密码体系需要转换到量子密码或抗量子密码体系下，以实现信息在保密周期内的安全保密。目前，我国已建成超1万公里的、全国性的量子保密通信骨干网络，通过地面光纤和量子卫星实现了量子保密通信广域网络，后续分支网络、城域网络和行业应用有望加速落地，据测算，我国量子城域网建设市场空间约有500亿元，C端应用市场规模也将持续扩大。
- **量子计算将赋能AI等多个领域，或在27年实现技术突破。**量子计算是采用量子比特为基本单位的计算机技术，利用量子的叠加和相干等特性，在数据的并行计算中具有优势，能够实现计算效率的指数级提升。目前全球量子计算机量子比特数量正由数百个向数千个迈进，而量子计算关键技术，如量子比特数量、量子纠错、量子算法等有望在2027年左右形成突破，届时全球市场规模有望快速增长至434亿美元，待商业化应用进一步落地后，市场规模将快速增长至千亿美金体量。
- **量子测量推动国际测量标准变革，量子传感器逐步商用。**量子测量是利用外界变化对微观粒子的影响来测量物理量的技术，量子传感器产品在时间测量、磁场测量、重力测量、惯性测量、目标识别等领域具有广泛的应用前景。量子测量能够突破经典测量极限，实现传感器产品的精确化、小型化、高灵敏度化等升级，赋能多个领域。目前国际标准化组织已将7个基本物理量实现“量子化”，未来更多基本单位都将与量子挂钩。各领域量子传感器正逐步走出实验室实现商用化，据ICV，到2030年全球量子精密测量市场规模将达到25.3亿美元，22-30年CAGR为8%。
- **相关标的：**国盾量子、光迅科技、震有科技等。
- **风险提示：**量子通信网络建设不及预期；量子计算机研发不及预期；量子精密测量研发不及预期等风险。

目 录

- ◆ **1 量子科技概述：三大发展方向，政策支持力度大**
- ◆ **2 量子通信：信息加密重要发展方向，逐步实现商业化落地**
- ◆ **3 量子计算：算力潜力巨大，关键技术逐步突破**
- ◆ **4 量子精密测量：单位标准化必需，技术快速演进**
- ◆ **5 相关标的**

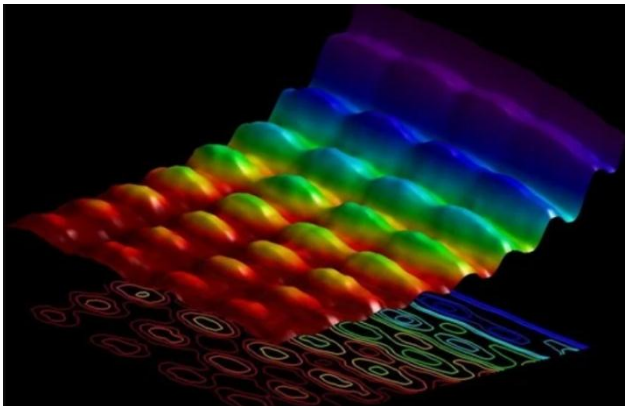
1.1 量子力学：量子科技的理论基础

- **量子是指一个物理量最小的不可分割的基本单位。**一个物理量如果存在最小的不可分割的基本单位，则这个物理量是量子化的，并把最小单位称为量子。例如，“光的量子”（光子）是一定频率的光的基本能量单位，其同时具有波动和粒子的性质，即光的“波粒二象性”。
- **描述量子微观世界的理论——量子力学。**量子力学是描述原子和亚原子尺度的物理学理论，有别于经典理论，粒子尺度上其状态是由波函数描述的一系列可能的概率分布，而不是一个精确的值。量子力学包含了一系列经典物理学难以描述的原理，如不确定性原理、量子纠缠以及量子叠加等。量子力学的原理不仅在物理学中有着基础性的作用，也是量子技术如量子计算、量子测量和量子加密的基础。

量子力学部分理论概述

基本原理	简要描述
波函数与测量问题	量子系统的状态由波函数（通常表示为 Ψ ）描述，它是空间中的概率幅度分布。波函数的绝对值的平方给出了粒子出现在某个位置的概率密度。
量子叠加原理	一个量子系统可以同时处于多个状态的叠加。只有当进行测量时，系统才会“坍缩”到一个特定的状态。
不确定性原理	由海森堡提出，表明某些物理量（如位置和动量，或能量和时间）不能同时被准确知晓。对一个量测量得越精确，与其对应的物理量就越不精确。
量子纠缠	当两个或多个粒子以共享状态存在时，它们的物理特性即使在相隔很远时也会相互关联。一个粒子的状态不能独立于其他粒子的状态被描述。
量子隧穿	量子粒子有一定概率穿过一个高于其能量的势垒，即使在经典物理学中这是不可能的。
量子退相干	量子系统与其周围环境相互作用时，会失去其量子特性（如叠加和纠缠），转而表现得更像经典系统。
泡利不相容原理	由泡利提出，指出两个相同的费米子（如电子、中子等）不能占据同一个量子态。

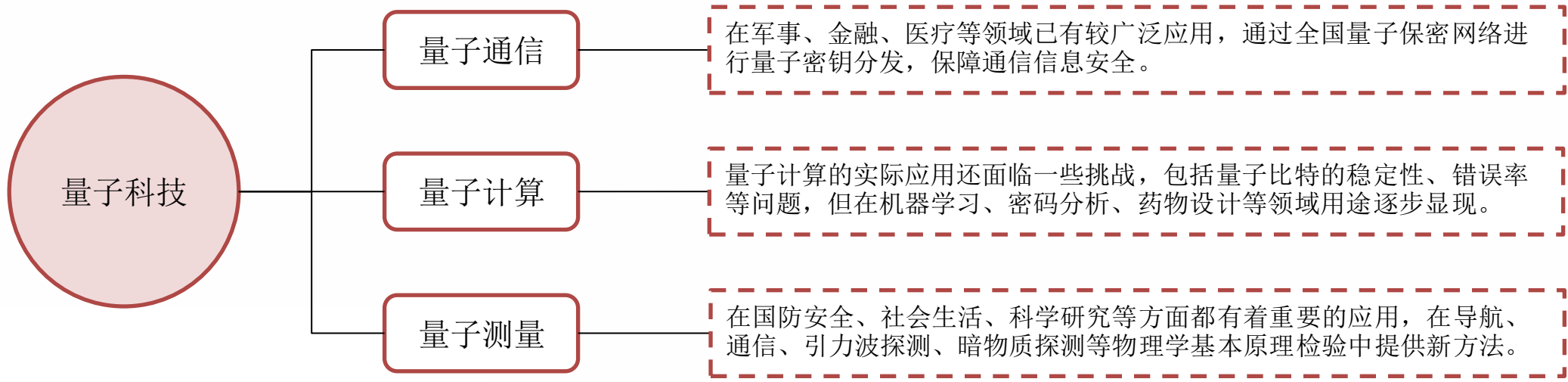
光的波粒二象性示意图



1.2 量子科技应用三大方向：通信、计算、测量

- **量子科技主要有三大应用方向**，分别是量子通信、量子计算和量子精密测量。量子科技是利用量子独特的性质，来达到经典传统技术所不能达到的效果，并推动信息处理、测量以及计算等能力的进步。
- **量子通信**：又称为量子加密通信，是利用量子态的特性来实现信息的安全传输的技术，关键应用包括量子密钥分发（QKD）以及量子隐形传态（QT），利用量子通信能够实现最严格的信息论安全。
- **量子计算**：是一种利用量子力学原理进行信息处理的技术。它与传统的经典计算不同，主要在于量子计算使用量子比特（qubits）代替经典计算中的二进制比特（bits），这使得量子计算机拥有了经典计算机无法比拟的信息携带和并行处理能力。
- **量子精密测量**：是一种利用量子力学规律，对关键物理量进行高精度与高灵敏度的测量技术。它旨在实现单量子水平的极限探测、精准操控和综合应用，可以用于对时间、频率、加速度、电磁场等物理量进行测量，并且能够达到前所未有的测量精度。

量子科技应用示意图



1.3 政策提法：新质生产力&未来产业

- **量子产业是新质生产力的重要组成。**新质生产力是创新起主导作用，摆脱传统经济增长方式、生产力发展路径的先进生产力，具有高科技、高效能、高质量特征。量子科技是新质生产力的重要组成部分，在多个行业中具有广泛的应用前景，能够提升信息处理速度、增强通信安全性，并提高测量精度，是新质生产力的关键要素。
- **2024政府工作报告强调大力推进量子科技等未来产业发展。**报告中提到，积极培育新兴产业和未来产业；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。在《“十四五”规划和2035年远景目标纲要》中明确提出，中国将在包括量子信息在内的八大前沿领域，实施一批具有前瞻性、战略性的国家重大科技项目。

部分量子技术推动政策

政策文件	发布时间	发布部门	相关内容
《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》	2021年3月	十三届全国人大四次会议	在量子信息等前沿科技和产业变革领域，组织实施未来产业孵化与加速计划，谋划布局一批未来产业。 聚焦量子信息等领域组建国家实验室、实施国家重大科技项目等。
《“十四五”数字经济发展规划》	2022年1月	国务院	瞄准传感器、量子信息等战略性前瞻性领域，发挥我国社会主义制度优势、新型举国体制优势、超大规模市场优势
《扩大内需战略规划纲要(2022-2035年)》	2022年12月	中共中央、国务院	加快建设信息基础设施，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。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。
《关于促进数据安全产业发展的指导意见》	2023年1月	工业和信息化部等十六部门	加强量子通信等关键技术研发，推进量子密码等技术在数据安全中的应用。
《新产业标准化领航工程实施方案(2023-2035年)》	2023年8月	工业和信息化部联合科技部、国家能源局、国家标准委	聚焦量子信息等9大未来产业，统筹推进标准的研究、制定、实施和国际化。开展量子信息技术标准化路线图研究。加快研制量子信息基础共性标准；聚焦量子计算、量子通信、量子测量领域。
《关于推动未来产业创新发展的实施意见》	2024年1月	工业和信息化部、等七部门	围绕量子信息等专业领域制定专项政策文件，推动量子信息等技术产业化应用。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
《2024年国务院政府工作报告》	2024年3月	国务院	制定未来产业发展规划，开辟量子技术等新赛道，创建一批未来产业先导区。

量子科技是重要未来产业

积极培育新兴产业和未来产业

- 实施**产业创新工程**，完善产业生态，拓展应用场景，促进战略性新兴产业融合集群发展。
- 巩固扩大**智能网联新能源汽车**等产业领先优势，加快前沿新兴**氢能、新材料、创新药**等产业发展，积极打造**生物制造、商业航天、低空经济**等新增长引擎。
- 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。

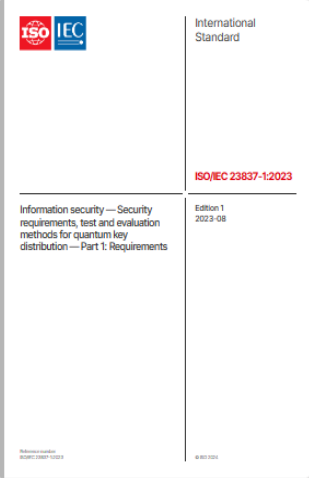
1.4 国际竞争：量子科技是大国博弈的重要领域

- **量子技术国家间流动受限，是大国博弈重要领域。** 欧美等国家为占据竞争优势，对量子技术实施一系列的限制，美国自2023年8月起开始限制私募股权和风险投资公司在中国量子计算领域的投资，并于2024年5月将中国22家与量子科技相关的企业纳入出口管制实体清单；此外，欧盟也于2023年6月发布《欧洲经济安全战略》，对量子计算领域外包做出严格限制。
- **我国牵头制定量子国际标准，抢占国际竞争先发地位。** 据ISO官网，《量子密钥分发的安全要求、测试和评估方法》国际标准提案已在2023年正式发布。这是首个系统性地规范量子密钥分发安全检测技术的国际标准，由中国信息安全测评中心、国盾量子牵头联合制定。量子保密通信的国际标准发布将对相关产品设计和应用提供国际权威的指导，对全球相关技术发展有重要引领作用。

量子技术相关禁令

国家或地区	发布时间	相关规定	主要内容
美国	2023.8	投资限制	限制美国私募股权和风险投资公司以及合资企业在中国人工智能、量子计算和半导体领域的投资
	2024.5	实体清单	将22家与量子科技相关的中国实体纳入出口管制实体清单，且其几乎囊括了国内一线量子产业科研机构。
欧盟	2023.6	《欧洲经济安全战略》	量子计算（可用于破解最安全的通信）、人工智能和先进半导体是需要防止外包的领域。
英国	2024.3	《出口管制令》	量子技术等领域的设备出口将需要符合更加严格的出口许可证要求，进一步强化对敏感技术出口的监管。
日本	2024.4	出口管制	半导体和量子相关的4个技术品类将被纳入出口管制范围，这些技术在面向所有国家和地区出口时均须事前获得官方许可。

ISO《量子密钥分发的安全要求、测试和评估方法》提案



Information security — Security requirements, test and evaluation methods for quantum key distribution — Part 1: Requirements

ISO/IEC 23837-1:2023

Edition 1
2023-08

Read sample

← ICS ← 35 ← 35.030

ISO/IEC 23837-1:2023

Information security — Security requirements, test and evaluation methods for quantum key distribution

目 录

- ◆ 1 量子科技概述：三大发展方向，政策支持力度大
- ◆ 2 量子通信：信息加密重要发展方向，逐步实现商业化落地
- ◆ 3 量子计算：算力潜力巨大，关键技术逐步突破
- ◆ 4 量子精密测量：单位标准化必需，技术快速演进
- ◆ 5 相关标的

2.1 量子通信两大方向：量子密钥分发和量子隐形传态

➤ **量子通信主要有两大应用方向，量子密钥分发和量子隐形传态。**量子通信是量子信息学的一个重要分支，是利用量子态作为信息载体来进行信息交互的通信技术。目前，量子通信的典型应用形式包括量子密钥分发（Quantum Key Distribution, QKD）和量子隐形传态（Quantum Teleportation）。以具备信息理论安全性证明的QKD技术作为密钥分发功能组件，结合适当的密钥管理、安全的密码算法和协议而形成的加密通信安全解决方案，被称为“量子保密通信”。由于量子保密通信是现阶段量子通信最主要的应用体现方式，因此量子通信与量子保密通信在应用中可基本等同。

量子通信两大方向应用概述

技术	技术原理	应用	优势
量子密钥分发	通过量子信道进行量子密钥分发，通信双方通过量子密钥分发获取一对完全随机且只有通信双方知道的量子密钥。 通过传统信道进行密文传递，利用获得的量子密钥，发送方把信息进行加密变成一段密文，接收方将受到的密文解密，进而实现通信的完全保密。	目前主要在金融、能源、电力等信息安全需求比较高的领域有应用或探索。	不可窃听、不可破译，是一种无条件安全的通信加密方式。
量子隐形传态	利用量子纠缠的特性，将一个粒子的量子态传输到另一个远离的粒子上的过程，而无需传输粒子本身。 这个过程涉及到量子力学中的EPR对（Einstein-Podolsky-Rosen对），即两个或多个粒子间存在的非局域关联。在量子隐形传态中，一个粒子（A）的量子态被“拆解”并通过量子纠缠传输给另一个粒子（B），使得B粒子获得与A粒子相同的状态，而A粒子的原始状态则在这个过程中被破坏。	量子隐形传态可以用来实现分布式量子计算中的关键操作，即在空间分离的量子比特之间建立逻辑连接。 量子隐形传态在国内外均处于实验室基础研究阶段，短时间内获得成果转化的难度较大。	利用“量子纠缠”特性，将量子信息传输到遥远地点，而不用传送物质本身，具有更高的信道容量和更高的安全性。

2.2 量子通信：保障信息安全的必然需求

- **现有信息加密技术主要基于经验安全，存在被破译可能。**现有的加密体系，如对称加密、非对称加密等加密体系主要基于数学难题和计算复杂性来确保安全性，如大数的质因数分解（RSA算法的基础）或椭圆曲线上的离散对数问题（ECC算法的基础）。由于这些问题在现有的计算模型和已知算法下难以解决，因此相应的加密技术被认为是安全的。**随着算力的提升和量子计算的发展，这些基于经验安全的加密技术可能面临新的挑战。**通过量子计算机运行的量子算法，如Shor量子算法，它能够有效分解大数，从而威胁到基于大数质因数分解的加密体系。
- **应对量子计算挑战，实现量子安全主要有两种方式：后量子密码与量子密码。**（1）后量子密码（PQC）又称为抗量子计算密码（QRC），其目标是能够同时抵御量子计算机与经典计算机的破译攻击，主要包括哈希密码、格密码、多变量密码等。（2）量子密码（又称为量子密钥分发）是以量子物理原理实现经典密码学的密码，代表性的技术有量子密钥分发（QKD）、量子随机数、量子数字签名等。

量子计算机对经典密码的影响

密码算法	类型	功能用途	量子计算影响
AES	对称密码	加解密	需增加密钥长度
SHA-2、SHA-3	杂凑密码	哈希散列函数	需增加输出长度
RSA	公钥密码	数字签名，密钥协商与分发	不再安全
ECDSA、ECDH	公钥密码	数字签名，密钥协商与分发	不再安全
DSA	公钥密码	数字签名，密钥协商	不再安全

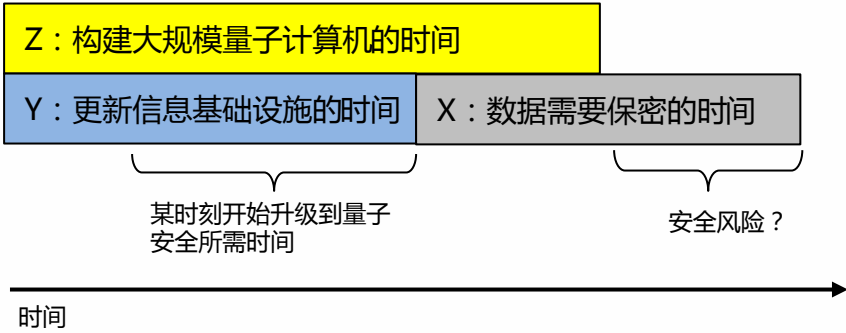
2.2 量子通信：保障信息安全的必然需求

- **信息需要保密的期限可能会受到量子计算机的冲击。**根据滑铁卢大学的研究，信息保密期限（X）、将现有保密体系更新到后量子时代所需的时间（Y）与量子计算机构建时间（Z）是信息加密工作者需要考虑的三个变量。若更新基础设施的时间加上数据保密所需时间大于量子计算机问世的时间（即 $Z < X + Y$ ），则该数据存在被量子计算机破解的安全风险。
- 不同保密信息对保密期限需求不同，如我国政府机密文件保密期限一般在30年以内；个人信用卡信息和个人身份证信息与卡有效期相关，一般小于10年；而个人生物信息，如指纹、面部特征等数据，则与人的生命长度有关，可以认为大于80年。而根据IBM量子技术路线图，量子计算机有望在2027年突破1万量子比特与纠错平衡，实现通用计算。**部分加密时限较长的信息，如机密文件、生物信息等，暴露在量子安全下的风险较大。**

信息保密期限举例

保密信息	保密时间（X，年）
政府机密文件	$X \leq 30$
个人信用卡信息	$X < 5$
个人身份证信息	$X > 10$
个人生物信息（指纹、面部等）	$X > 80$
证券账户资料	$X \geq 20$

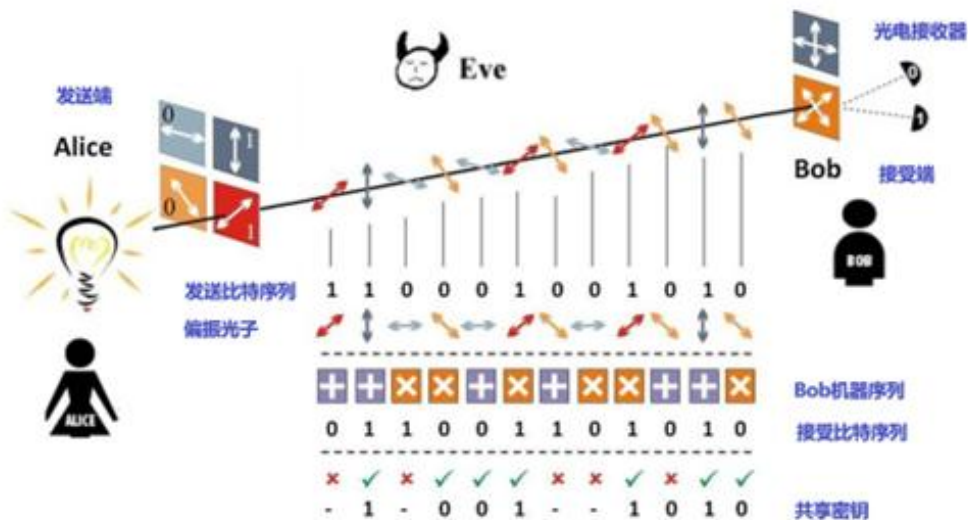
构建量子安全所需时间关系图



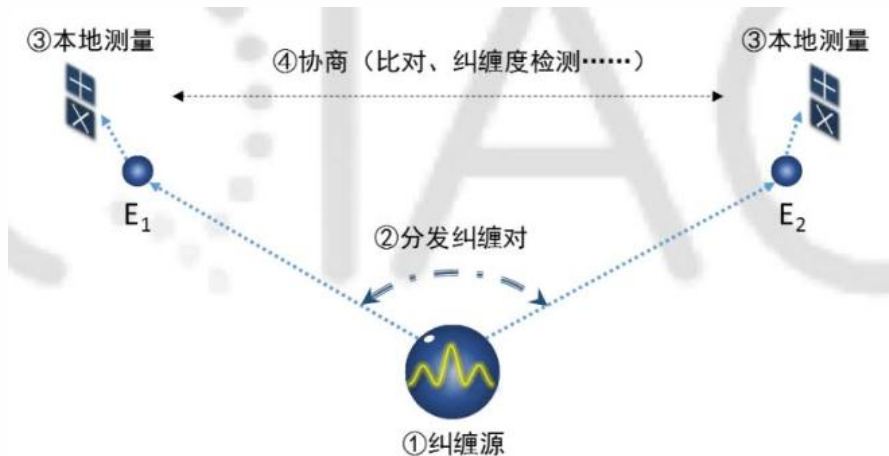
2.2 量子通信：保障信息安全的必然需求

- **量子加密能够实现安全的最高级别——“信息论安全”。**“信息论安全”是指在攻击者拥有无限强的计算资源下，也无法在不引入明显错误或被检测到的情况下解密或篡改加密信息，是密码学中的最高安全等级之一，且能够被理论证实。量子物理中，单量子不可分割、量子态不可克隆、测不准以及量子纠缠等特性能够实现免疫计算破解的信息论安全，量子密码在保密通信中的应用主要有量子密钥分发、量子随机数以及量子数字签名等。
- **量子加密通信较为成熟的方案是量子密钥分发（QKD）。**量子密钥分发是以量子态为信息载体进行远程密钥分发，目前实现较大规模商用的方案为BB84协议，即通过量子信道进行量子密钥分发，在通过经典通信进行筛选比对和交互加密信息。此外，另一种纠缠测量方案利用了量子隐形传态技术，通过双方分享互相纠缠的量子对，分别进行测量解码后再由经典信道进行校验和交互，我国在基于“墨子号”卫星的星地一体的QKD网络中，已经实现了量子隐形传态的实验验证。

单量子制备测量（BB84协议）原理图



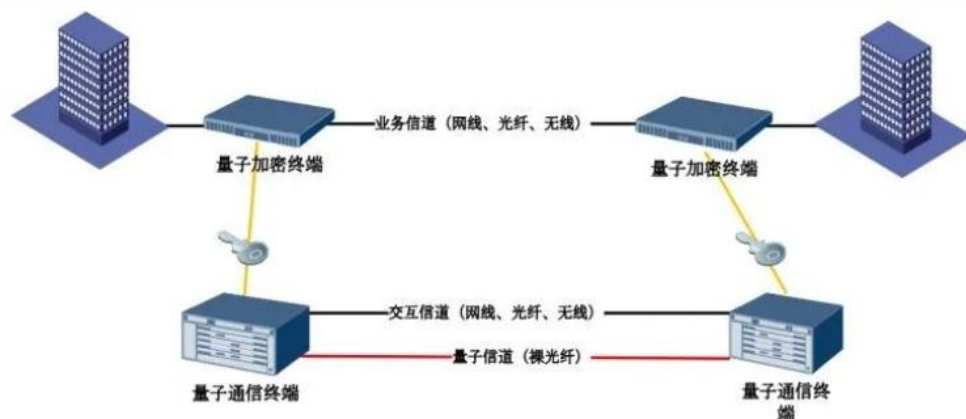
纠缠测量方案原理图



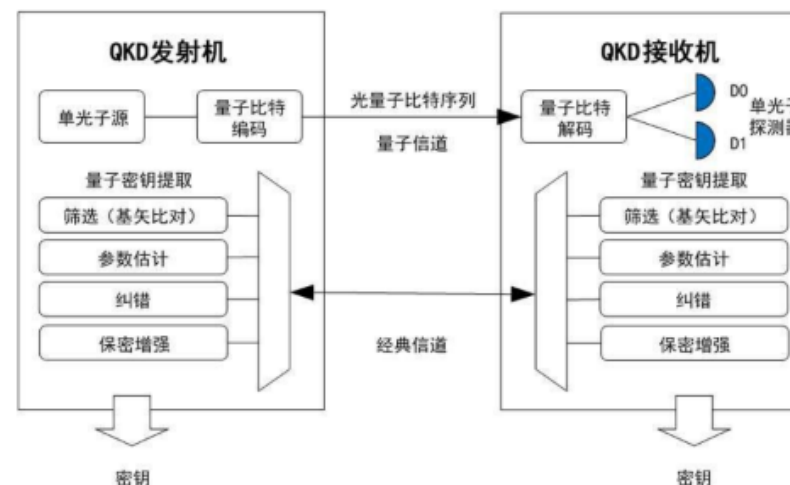
2.3 量子密钥分发关键设备：QKD设备

- **量子密钥分发是通过量子保密通讯网络，利用量子加密终端提供量子密钥交互和加解密的过程。**该过程需要同时利用经典信道和量子信道，其中，量子信道用于传输由量子态承载的量子比特信号，可以是光纤、自由空间（包括卫星链路）等物理媒介；经典信道是正常信息传输所利用的网线、光纤等。两种信道分别传输量子密钥和密文，并通过量子加密终端（QKD设备）进行密钥的生成比对、信息的加解密等。
- **QKD设备系量子密钥分发的关键设备。**QKD设备在量子加密通信中起到密钥生成接收和加解密等工作，是量子保密网络建设的关键设备。其内部组件主要由光源模块、编码调制模块、探测模块、数据分析与处理模块等一系列模块集成，未来可通过光电一体化等技术进一步提高集成度，实现加密终端的成本优化、体积缩小。

量子保密通信实现示意图



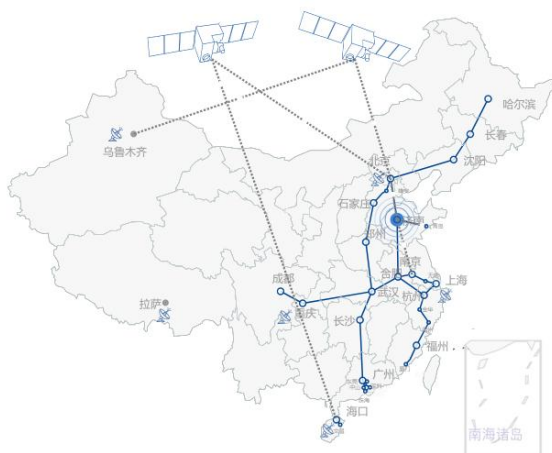
QKD设备交互示意图



2.4 全球进展：我国已进入量子广域网阶段，欧美均已开展建设

- **我国量子保密通信网络已进入“星地一体”广域网阶段。**我国量子密钥分发技术已经实现从城域网向广域网的技术突破，在2018年发改委批复后，我国国家光量子保密通信骨干网络已于2022年建成并全线通过验收。骨干网络全长超过1万公里，覆盖京津冀、长三角、粤港澳大湾区、成渝、东北等区域的17个省市约80个城市，是全球领先的运营级量子骨干网络。2016年“墨子号”量子通信卫星发射，该卫星实现了星地量子密钥分发、洲际量子密钥分发；2022年量子微纳卫星发射入轨，我国“星地一体”的量子骨干网络已基本建成。
- **海外进展：美国起步较早，欧盟重点建设量子密钥分发网络。**2022年，美国通过《量子网络安全准备法案》，针对政府信息利用后量子密码问题制定了具体计划；2023年，美国国家网络安全战略将防御量子网络攻击列为战略目标，涉及后量子密码的使用，以及替换存在漏洞的硬件、软件和应用程序的必要性。欧盟提出了EuroQCI项目，目标是到2027年提供安全通信，其全部27个成员国都签署了该项目。2021年，意大利、斯洛文尼亚、克罗地亚三个地区之间首次实现了州际量子安全通信（100.5公里）。2022年，欧盟通过了《欧盟安全连通计划条例》，为EuroQCI项目开发空间段，即IRIS2空间星座，计划25年底或26年初发射。

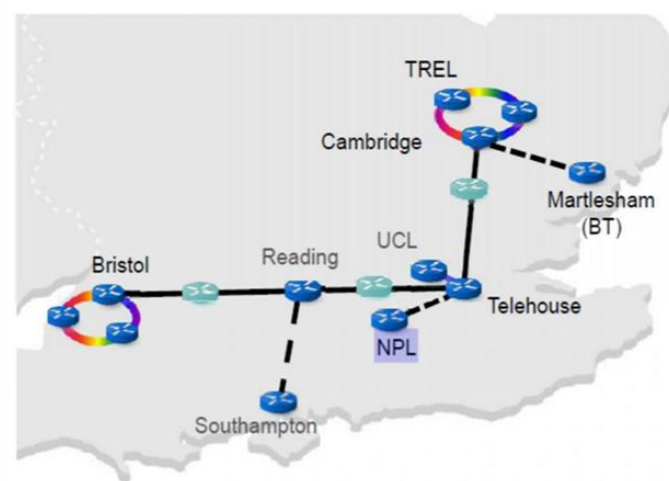
我国量子保密通信“星地一体”广域网



环美量子保密骨干网络（计划）



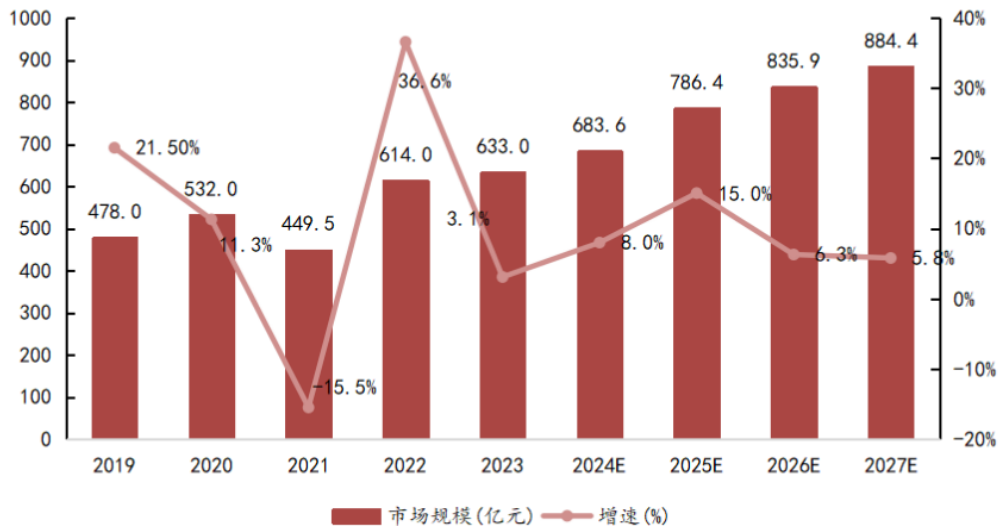
英国国家量子保密通信测试网络



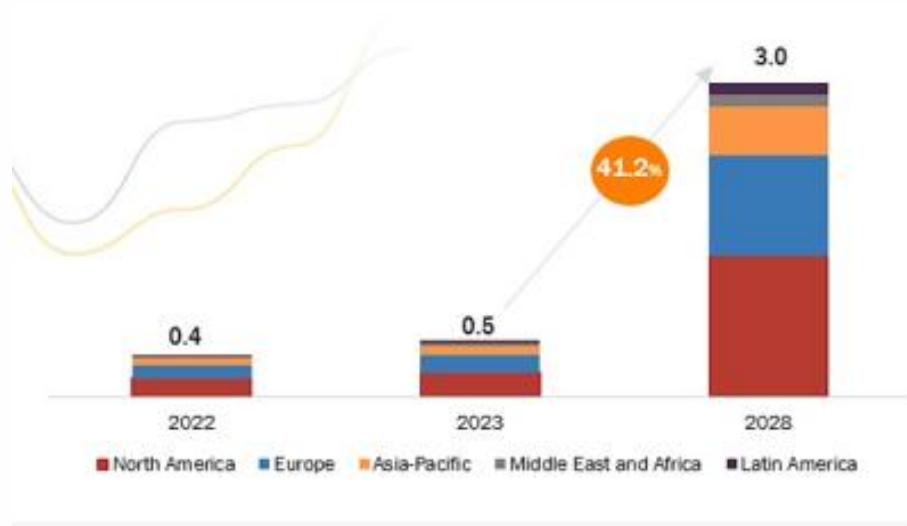
2.5 市场规模：网络安全日益重视，市场规模稳健增长

- **网络攻击风险提升，信息安全市场规模持续扩大。**随着我国网络安全相关产业支持政策出台以及网络攻击风险增大，我国网络安全市场规模持续增长，2023年市场规模达633亿元，同比增长3.1%，预计2024-2027年我国网络安全市场规模将以8.7%的复合增速增长，在2027年达到884.4亿元。
- **全球量子密码市场规模预计将以41.2%的复合增速增长。**据MarketsandMarkets，2023年全球量子密码学市场规模为5亿美元，受到网络安全需求的驱动，24-28年CAGR预计将为41.2%，市场规模有望在2028年达到30亿美元。同时，QKD设备的小型化和成本下降、垂类行业保密准则的出台等因素将能够有效推动市场增长。

中国信息安全市场规模及预测



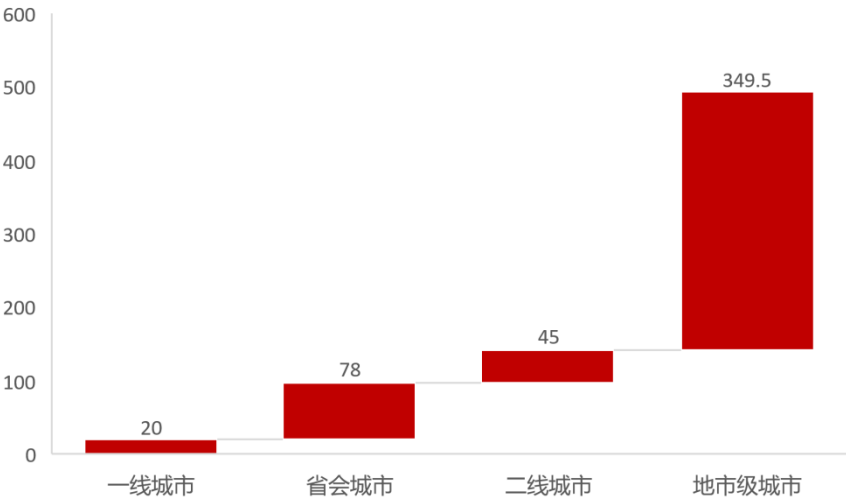
全球量子密码市场规模预测（十亿美元）



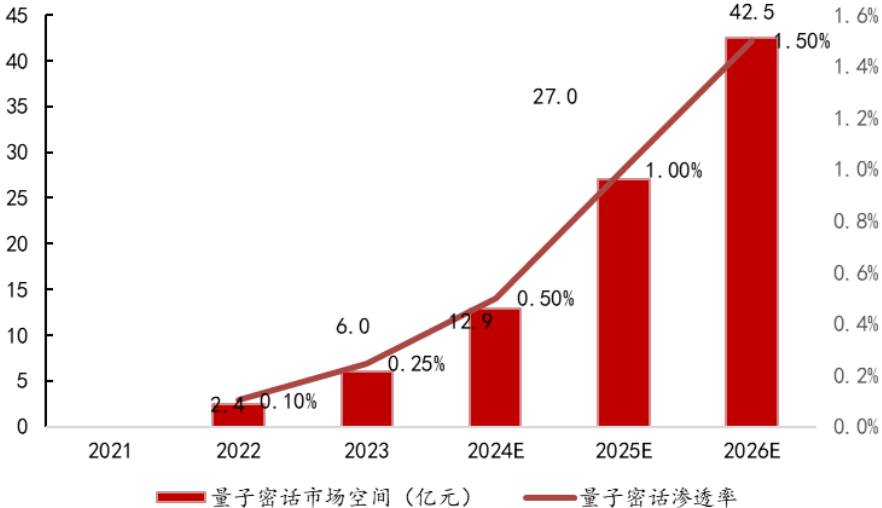
2.6 市场测算：城域网建设空间广阔，C端需求有望释放

- **我国量子保密通信城域网建设有望带来设备需求。**目前我国已建成国家级量子保密通信骨干网络，未来将进一步开展沿线城域网络建设和边缘节点覆盖工作。考虑到建设量子保密通信网络建设投资主要为基建投入与QKD设备投入，因此总投资额将与网络的覆盖面积正相关，我们假设一线城市建设量子保密网络总投资额为5亿元、省会级城市建设投资为3亿元、二线以下城市投资额为1.5亿元，测算我国量子城域网市场投资需求总额为492.5亿元人民币。
- **C端空间广阔，需求有望释放。**中国电信在21年推出了“量子密话”业务；中国移动推出“和对讲”量子加密产品；科大讯飞、华为等厂商均推出了面向C端的消费级量子加密产品，市场需求有望加速释放。据中国电信，“量子密话”套餐有30元/月与50元/月两个档位，2023年其用户数量已超过100万户。由此，我们对电信“量子密话”市场空间进行了测算，假设24-26年量子密话在电信总移动用户渗透率分别为0.5%、1%、1.5%，电信移动用户数量增速为5%，预计26年量子密话市场规模将达42.5亿元。

我国量子城域网空间测算（亿元）



量子密话市场空间测算



2.7 市场格局：产业生态逐步健全，关键元器件已自主可控

- **量子保密通信产业链逐步健全，下游应用场景广泛。**量子保密通信产业链主要包括基础器件、核心量子设备、量子应用设备、集成建设与运营和垂类行业应用等几大层级，当前我国量子光源、探测器件、光学调制器件等大部分关键器件已实现自主可控，但高性能集成电路与国际先进水平存在一定差距。
- 中下游方面，国内外量子保密通信网络仍处于早期发展阶段，国内外电信运营商及平台服务企业均在积极发力，国内量子云和大数据服务、政务信息保护、金融业务加密、电力安全保障等领域已经率先进行测试并推出相关产品，行业生态有望逐步建立。



产业链相关公司梳理	
产业环节	部分相关上市公司
基础器件	国盾量子、光迅科技、亨通光电、光库科技等
量子设备及软件算法	国盾量子、问天量子、九州量子等
网络建设及运营	中国电信、中国移动、中国联通、中国广电、神州信息、神州数码、
垂类行业应用	科大讯飞、苏州科达、震有科技、电科网安等

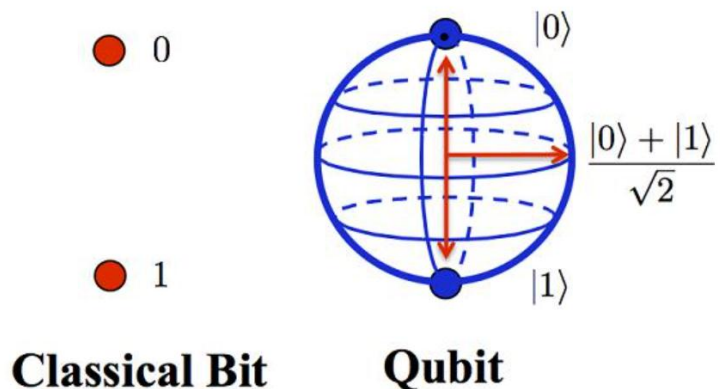
目 录

- ◆ 1 量子科技概述：三大发展方向，政策支持力度大
- ◆ 2 量子通信：信息加密重要发展方向，逐步实现商业化落地
- ◆ 3 量子计算：算力潜力巨大，关键技术逐步突破
- ◆ 4 量子精密测量：单位标准化必需，技术快速演进
- ◆ 5 相关标的

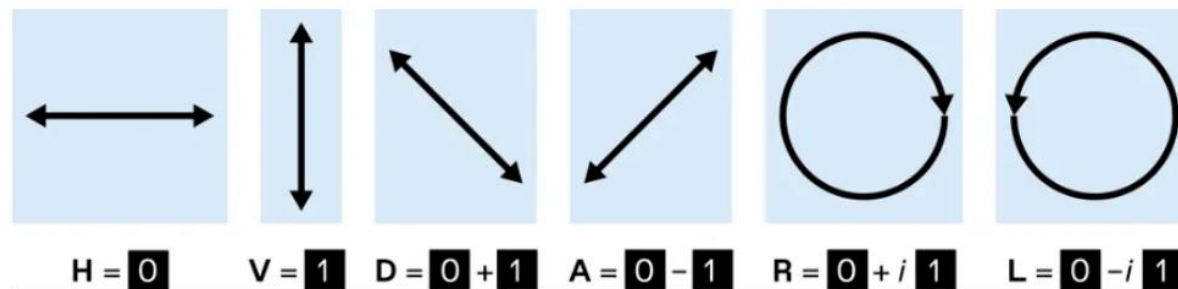
3.1 量子计算：基于量子比特带来的强大并行计算能力

- **量子计算机采用量子比特计算。**量子计算中的基本信息单位是量子比特，类似于传统数字电子学中的比特。与经典比特不同，量子比特可以存在于其两个“基本”状态的叠加中，写作 $|0\rangle$ 和 $|1\rangle$ 以作为经典态0和1的对应，可以被认为是指向“布洛赫球体”表面上某个位置的箭头。
- **量子比特状态的叠加使得大量并行计算成为可能。**门电路的经典位只有两个可能值：0或1。然而，量子位可以是这两种信息状态的叠加，同时具备这两种状态的特征。如偏振光的叠加：用水平偏振光来表示0，垂直偏振光表示1，但光也可以在一定角度上偏振，同时具有水平和垂直分量。由此，**N个经典比特一次表示的数字只有1个，但N个量子比特一次能表示的数字数目为2的N次方。**
- **量子计算输出结果具有不确定性。**当运算结束测量量子比特时，其结果是经典比特的概率输出。如3个量子比特的系统，每个量子比特都是0和1的叠加，一次就能表示0到7（十进制）这8个数。当我们输入2（二进制010），并发出运算指令后，所有8个数都开始运算，都加2，并同时得出8个结果（2、3.....9）。然而，量子计算机输出时，量子比特由于退相干会坍塌成其中的一个结果，因此量子计算机的高速计算是以不确定性为代价的。为了降低输出结果的错误率，在计算过程中的“量子纠错”和具体的“量子算法”能够缩小输出值的范围，提高输出结果的准确率。

经典比特与量子比特（布洛赫球体）示意图



偏振光编码示意图



3.2 量子计算实现路径尚未收敛，不同路径各有优劣

量子计算的开发涉及多种路线，终局路径尚未收敛。目前量子计算机采用的技术包括超导量子比特、离子阱、光量子、中性原子等。

- **超导量子比特**利用超导体中无电阻流动的电流来实现量子态的操控。具体而言，超导量子比特依赖于约瑟夫森结，这是一种由两个超导体之间夹着一层薄绝缘体的器件。通过操控约瑟夫森结中的电流，可以实现量子比特的状态转换和操作。
- **离子阱技术**通过电磁场将带电的原子（离子）捕获并悬浮在空间中，利用激光来冷却和操控这些离子，从而实现量子计算。具体来说，离子阱系统使用射频和直流电场来形成一个三维势阱，将离子限制在一个特定的位置。
- **光量子计算**利用光子的量子态（如偏振或相位）来进行量子信息处理。光子由于其低噪声和高速传输特性，被认为是理想的量子信息载体。在光量子计算中，常见的方法包括基于光子纠缠态和线性光学元件（如分束器、相位调制器）实现量子计算。
- **中性原子量子计算**通过激光光镊或光晶格来捕捉和操控中性原子，这些原子在光学陷阱中形成规则的排列，从而实现量子态的操控。光镊利用聚焦激光束的强光场梯度来捕捉和固定中性原子，而光晶格则通过干涉形成的光学驻波场来排列原子。

量子计算主要硬件技术路线及其特征

	超导量子比特	离子阱技术	光量子计算	中性原子量子计算
特点	在低温环境下可以达到较高的量子态稳定性；能够实现快速的量子门操作；可以在现有的半导体制造工艺基础上进行集成，具有较高的可扩展性。	量子操作具有极高的保真度，量子态可以被精确控制；适合进行长时间的量子态操作和存储；通过精确的激光操控，可以实现多个离子之间的相互作用，从而进行复杂的量子计算操作。	信息传输过程中的噪声极低；具有极快的信息处理能力；可以通过集成光学技术实现大规模集成，从而扩展量子比特的数量。	可以实现对单个原子的位置和量子态的高精度控制；在光学陷阱中的相干时间较长，适合进行复杂的量子计算操作；中性原子阵列可以实现高密度的量子比特排列，从而提高系统的集成度和计算能力。
路线进展	中国科学院量子信息与量子科技创新研究院团队正在研发超1000比特、比特质量高的超导量子计算芯片，向实现容错量子计算进行攻坚。	目前，离子阱技术通常能稳定约束100—200个离子的一维阵列。已实现单比特量子逻辑门保真度99.9999%，以及2离子系统中单比特量子逻辑门保真度99.99%、双比特量子逻辑门保真度99.9%。	中科大成功研制新一代量子计算原型机“九章三号”，255个光子量子比特，计算能力刷新世界纪录。	美国加州理工学院研究人员用12000个光镊阵列捕获6100个中性原子，实现退相干时间12.6秒，并且，达到了23分钟的真空寿命。
运行环境	极低温环境、强磁屏蔽、低噪声环境	极低温环境、精密激光系统、稳定电磁场、低噪声环境	极低温环境、高精度光学元件、低损耗光纤或波导、稳定的光源、低噪声环境	极低温环境、超高真空、激光冷却技术、精密控制的光场、低噪声环境

3.3 量子计算关键：量子比特数量、量子纠错、量子算法与环境测控

- **量子比特数量**：量子比特是实现逻辑运算的基础单位，量子计算机通过操作量子比特进行逻辑运算，而可操控的量子比特数量决定了量子计算机的运算能力。经典计算机CPU中一般有数十亿个晶体管操控着经典比特，目前量子计算机仅能实现数百比特的操作。根据IBM等技术路线图，业内普遍认为1万量子比特将成为量子计算机走向实用化的里程碑，预计将在26-28年达成。
- **量子纠错**：量子系统由于受到测量或者环境干扰会逐渐失去量子相干性（退相干），因此量子计算机一般采用多个物理比特纠缠形成容错的逻辑量子比特，通过逻辑量子比特进行运算能够降低运算过程中产生错误的概率，提高运算质量。若计算机拥有1万个量子比特，经过纠错后可用于运算的逻辑量子比特数能够达到100余个。
- **量子算法**：量子算法利用量子力学特性来操作量子比特，解决计算问题。如Shor算法（用于大数质因分解，能够指数级加快计算速度）、Grover算法（用于搜索，能够平方级提升排序速度）等，量子算法的拓展性、稳定性是实现通用计算的关键。
- **环境测控**：量子计算机为了保持量子比特相干性需要隔绝环境干扰，一般都运行在极低温度下，如超导量子计算机需要运行在接近绝对零度（-273.05℃）的环境中。因此提供低温的制冷机以及配套的测控系统也是量子计算机中重要的组成部件。

量子计算机与经典计算机关键点对比

对应环节	量子计算机	经典计算机
运算基础	量子比特（一般指多个物理比特纠缠形成的逻辑量子比特）	晶体管实现的经典比特
存储器	量子比特（单个量子比特能够同时存储多个值，是实现量子优越性的基础）	晶体管存储器
纠错	量子纠错码，如表面码、Shor码等，通过多个物理比特纠缠纠错	冗余编码（复制数据到多个位置）、奇偶校验、纠正算法等
算法	量子算法（采用专门的量子编程语言，如Q#等，且利用量子叠加和量子纠缠等原理解决计算问题，体现量子并行计算优势，但输出结果存在不确定性）	使用编程语言实现的经典计算机算法，输出结果确定
运行环境	极低温环境，需要高度电磁屏蔽、减震隔离，需要配备特制的稀释制冷机和吊装悬架来减少外界干扰	室温运行，通常采用风冷或水冷防止设备过热

3.4.1 国内进展：我国量子科技发展环境优越，量子科技处于全球前沿

- **我国量子计算在最大比特和量子芯片方面取得较大进展。**2024年4月25日，中国科学院量子信息与量子科技创新研究院向国盾量子交付了一款504比特超导量子计算芯片“骁鸿”，用于验证国盾量子自主研发的千比特测控系统。此款芯片刷新了国内超导量子比特数量的纪录，后续还计划通过中电信量子集团的“天衍”量子计算云平台等向全球开放。新测控系统集成度较上一代产品提升10倍以上，核心元器件使用国产化设计，在提升操控精度的同时大幅降低了成本。

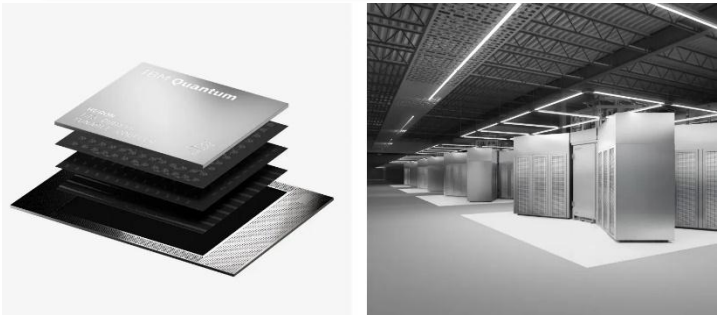
国内量子计算发展环境

发展环境	具体内容
政策支持	政府高度重视量子计算技术的发展，将其上升为国家战略。在“十三五”和“十四五”规划中，量子信息科学技术被明确列为重点发展领域。中央和地方政府不断出台相关政策，提供资金和政策支持，加快量子信息产业的发展。
技术突破	中国科学家在量子计算原型机的研制上取得了显著进展。例如，中国科学技术大学宣布成功构建了量子计算原型机“九章三号”，在特定算法的计算速度上超越了现有最快的超级计算机。
产业布局	国内的量子信息产业正在形成，涵盖了量子计算、量子通信和量子测量等多个领域。国内企业如本源量子计算科技（合肥）股份有限公司等在量子处理器硬件、量子计算云平台等方面进行探索 and 研发。
人才培养	量子计算人才的培养受到重视，中国科学技术大学等高校开设了量子信息相关本科专业，加强了量子计算教育工作，以培育更多的量子计算专业人才。
国际合作	中国在量子计算领域也积极开展国际合作。中国与其他国家的科研机构和企业进行了广泛的合作，共同推动量子计算技术的发展。例如，中国与美国、英国、加拿大等国家的科研机构开展了合作，共同研究量子计算技术的应用。

3.4.2 全球进展：行业龙头引领发展

- 多个海外厂商在量子比特数量、量子纠缠、计算机性能与实用化、技术创新等方面取得突破。
- IBM 实现了量子比特数量的重大突破，在量子纠错码设计、错误缓解等方面取得进展，推动量子计算向实用阶段发展。
- 微软通过与 Quantinuum 合作，利用量子比特虚拟化技术提升量子计算可靠性，在逻辑量子位和错误纠正方面有诸多进展，在量子超级计算机路线图上不断迈进。
- 谷歌的Sycamore量子计算机也表现出色，在非阿贝尔任意子观察等方面取得成果，还设立奖项推动实用化。

IBM研制的鹭与量子系统二号



海外主要厂商最新进展

公司	突破方面	具体内容
IBM	1121量子比特的Condor处理器	发布了包含1121个量子比特的Condor（秃鹰）超导量子处理器（QPU），这标志着IBM在量子比特数量上的重大突破。
	量子低密度奇偶校验码	在量子纠错码设计方面取得了新的理论突破，提出了量子低密度奇偶校验码(QDPC)，这种新型纠错码能显著减少物理量子比特资源的消耗，同时维持逻辑量子比特的纠错阈值基本不变。
	错误缓解方法	IBM通过“错误缓解”方法，在127量子比特的处理器上准确获得复杂量子线路运行结果，这一线路已经无法用经典计算机进行蛮力模拟，被认为是量子计算领域的又一里程碑进展。
	实用阶段的量子计算	2023年6月14日IBM宣布量子计算正式进入实用阶段，首次证明了量子计算机可以在100多个量子位的规模上产生精确的结果，超越了领先的经典方法。
	模块化量子系统	将芯片连接到机器内部，再将机器连接到一起，以形成模块化系统，使规模的扩展不受物理条件限制。
	新的量子处理器芯片和量子计算系统	IBM推出了“Quantum System Two”（量子系统二号），它可搭载三个最高性能的量子处理器“Heron”（鹭），作为模块化架构的量子计算平台，该组合可实现以量子为中心的超级计算的并行电路执行。
微软	量子比特虚拟化技术	微软和Quantinuum 合作，利用先进的量子比特虚拟化技术结合离子捕获硬件，极大提升了量子计算的可靠性。通过这种技术，从30个物理量子比特中创造出四个极高可靠性的逻辑量子比特，并实现了错误率的800倍降低。
	逻辑量子位和错误纠正	成功进行了超过14000次的实验而未记录到一次失败，这标志着通过验证和在不损害量子比特的前提下纠正任何错误的能力的突破。
	可靠实用量子计算机	研究团队设计出一种新方法来表示具有硬件稳定性的逻辑量子比特。该装置可诱导以马约拉纳零模态为特征的物质相——费米子的类型。这些设备已显示出足够低的无序性，可通过拓扑间隙协议，证明该技术是可行的。
谷歌	量子计算机Sycamore	谷歌宣布其量子计算机Sycamore取得突破，该处理器拥有70个量子比特，能够在几秒内完成传统超级计算机需要47年才能完成的计算量。
	非阿贝尔任意子的观察	谷歌量子人工智能的研究人员宣布，他们首次使用一个超导量子处理器观察到了非阿贝尔任意子的奇特行为——这一结果为拓扑量子计算开辟了一条新的道路。
	量子计算的实用化	谷歌设立了500万美元的超级大奖推动量子计算实用化，旨在推动量子计算技术的商业应用和实际问题的解决。

3.4.3 全球量子计算机进展：量子比特数量向千位突破

- 全球在量子计算机的研究上取得了显著成果，量子计算机最大量子比特数量逐步由百位向千位突破。谷歌的“悬铃木”拥有53个量子比特；中国科学技术大学的“祖冲之二号”达到66个超导量子比特；美国国家标准与技术研究院的“北极光”拥有216个光子量子比特；中国科学技术大学新研制的“九章三号”达到255个光子量子比特；Atom Computing公司的“Phoenix”量子比特首次突破千位高达1225；D-Wave Quantum公司的“新 advantage 2”也有1200+个量子比特；IBM的首个模块化量子计算机“量子系统二号”搭载3个133量子比特芯片。量子比特的数量在不断增加，多种实现路径也在齐头并进，推动着量子计算机研究向更高性能方向发展。

全球量子计算机研究发展

计算机名称	发布时间	研发团队	量子比特数量	实现路径
悬铃木（Sycamore）	2019年9月	谷歌（美国）	53个量子比特	超导量子比特路径
祖冲之二号	2021年10月	中国科学技术大学研究团队	66 个超导比特	超导量子比特路径
北极光（Borealis）	2022年6月	加拿大Xanadu 公司与美国国家标准与技术研究院	216个光子	光量子路径
九章三号	2023年10月	中国科学技术大学研究团队	255光子	光量子路径
Phoenix	2023年11月	Atom Computing公司（美国）	1225个量子比特	中性原子路径
新 advantage 2	2023年11月	D-Wave Quantum公司（加拿大）	1200+个量子比特	量子退火路径
量子系统二号（IBM Quantum System Two）	2023年12月	IBM（美国）	搭载3个133个量子比特芯片	超导量子比特路径

3.5.1 量子计算应用落地尚需时日，各领域探索广泛开展

近年来，国内外广泛开展基于中等规模含噪量子处理器（NISQ）和专用量子计算机的应用案例探索，涵盖化学、金融、人工智能、交通运输、气象等众多领域，产业规模达千亿美元级别。

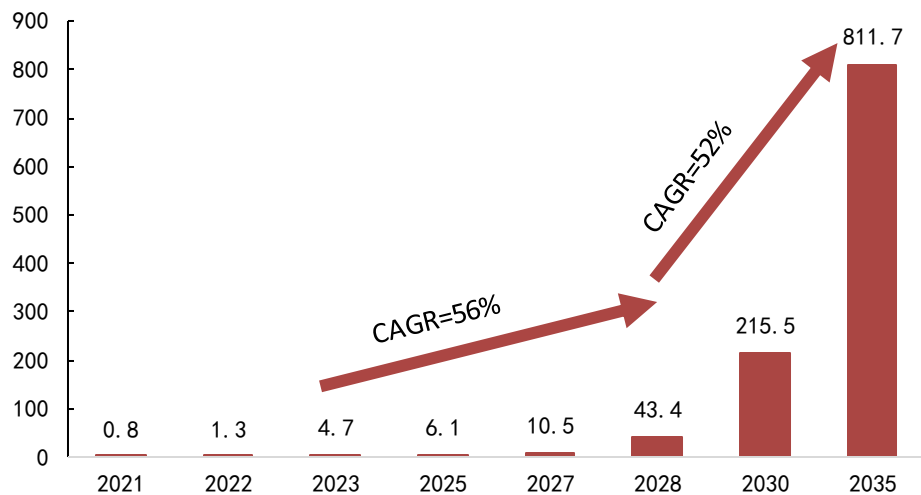
- **化学领域：**通过模拟化学反应提高效率等如德国尤利希中心提升寻找蛋白质最低能量结构成功率，牛津大学实现量子计算化学模拟，QC Ware展示其在糖尿病视网膜病变检测的应用等。
- **金融领域：**可优化预测分析等，如法CIB等联合发布量子计算金融应用验证结果，摩根大通等使用量子深度学习分析风险模型，汇丰银行等推出量子算法工具。
- **人工智能领域：**可在机器学习等方面应用如 Zapata 表明混合量子人工智能可生成药物小分子，慕尼黑大学用其训练数据集清华大学演示量子神经网络等。
- **交通物流领域：**聚焦组合优化，如 Terra Quantum 等验证卫星任务规划，英伟达等用于提升喷气发动机效率，Amerijet International等报道优化飞机货物装载。
- **气象预测领域：**用于求解气象数据，如德勤举办量子气候挑战赛，美国能源部国家能源技术实验室研究胺化学反应。

量子计算应用场景分析							
行业领域	关键环节	问题原型	应用时间（+代表影响力）			产业估值(亿美元)	
			3~5	5~10年	10年以上	保守估值	乐观估值
金融	金融服务	组合优化 人工智能	++	++	+++	~3940	~7000
能源与材料	传统能源	量子模拟 组合优化 人工智能	+	++	++	~100	~200
	可持续能源		+	++	+++	~100	~300
	化工		++	++	+++	~1230	~3240
生命科学	制药	量子模拟 组合优化 人工智能	++	++	+++	~740	~1830
先进工业	汽车	人工智能 量子模拟 组合优化	++	++	+++	~290	~630
	航空航天与国防	因式分解 量子模拟 组合优化	+	++	++	~300	~700
	电子产品	因式分解 量子模拟 组合优化	+	++	++	~100	~200
	半导体	组合优化	+	++	++	~100	~200
电信传媒	电信	量子模拟 组合优化 人工智能	+	+	++	~100	~200
	传媒					~100	~200
出行、运输和物流	物流	组合优化 量子模拟 人工智能 因式分解	+	++	++	~500	~1000

3.5.2 量子计算市场空间及预测：关键技术突破将带来拐点

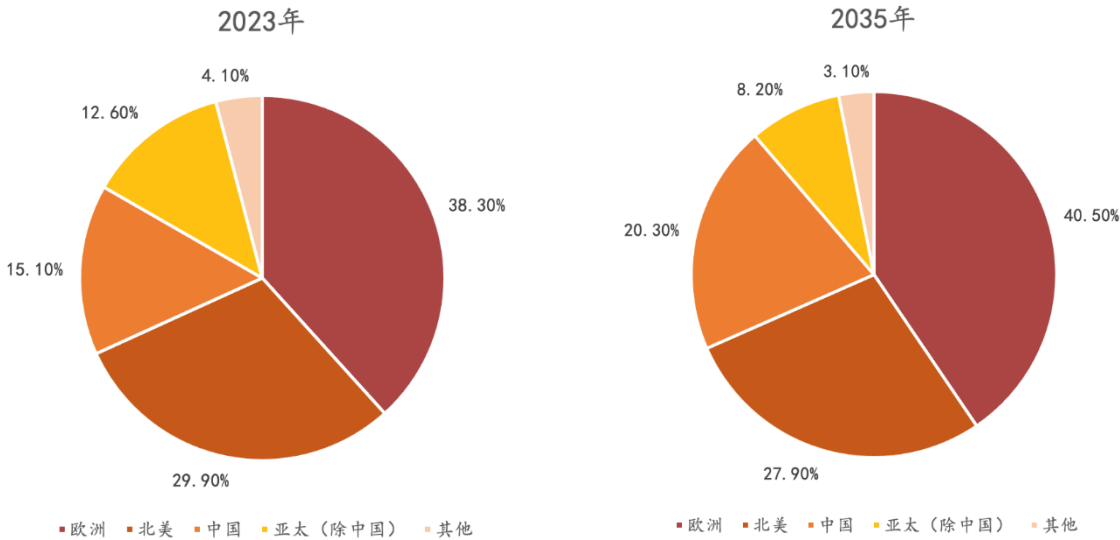
- 量子计算性能突破决定量子计算产业的规模的增长，2023至2028年的年均增长率（CAGR）可达至53.6%。据iCV TA&K，2023年全球量子计算市场的规模达至47亿美元，2027年，专用量子计算机有望达在性能上实现突破，推动整体市场规模达105亿美元。在2028年至2035年期间，受益于通用量子计算机的技术进步及专用量子计算机在特定领域的广泛运用，市场规模持续快速扩张。到2035年总市场规模有望达到811.7亿美元，量子计算预计在此时进入全面成熟和商业化的关键阶段。
- 全球量子计算市场呈现出动态变化的趋势，欧美及中国地区量子计算市场发展迅速，欧洲与中国未来份额有望持续提升。2023年，欧洲占比为38.3%、北美占比为29.9%、中国占比为15.1%。据iCV TA&K预测，2035年，随着量子市场不断成熟和，展各市场份将会发生变动，欧洲和中国占比有望提升，分别占比40.5%和20.3%。

全球量子计算产业规模



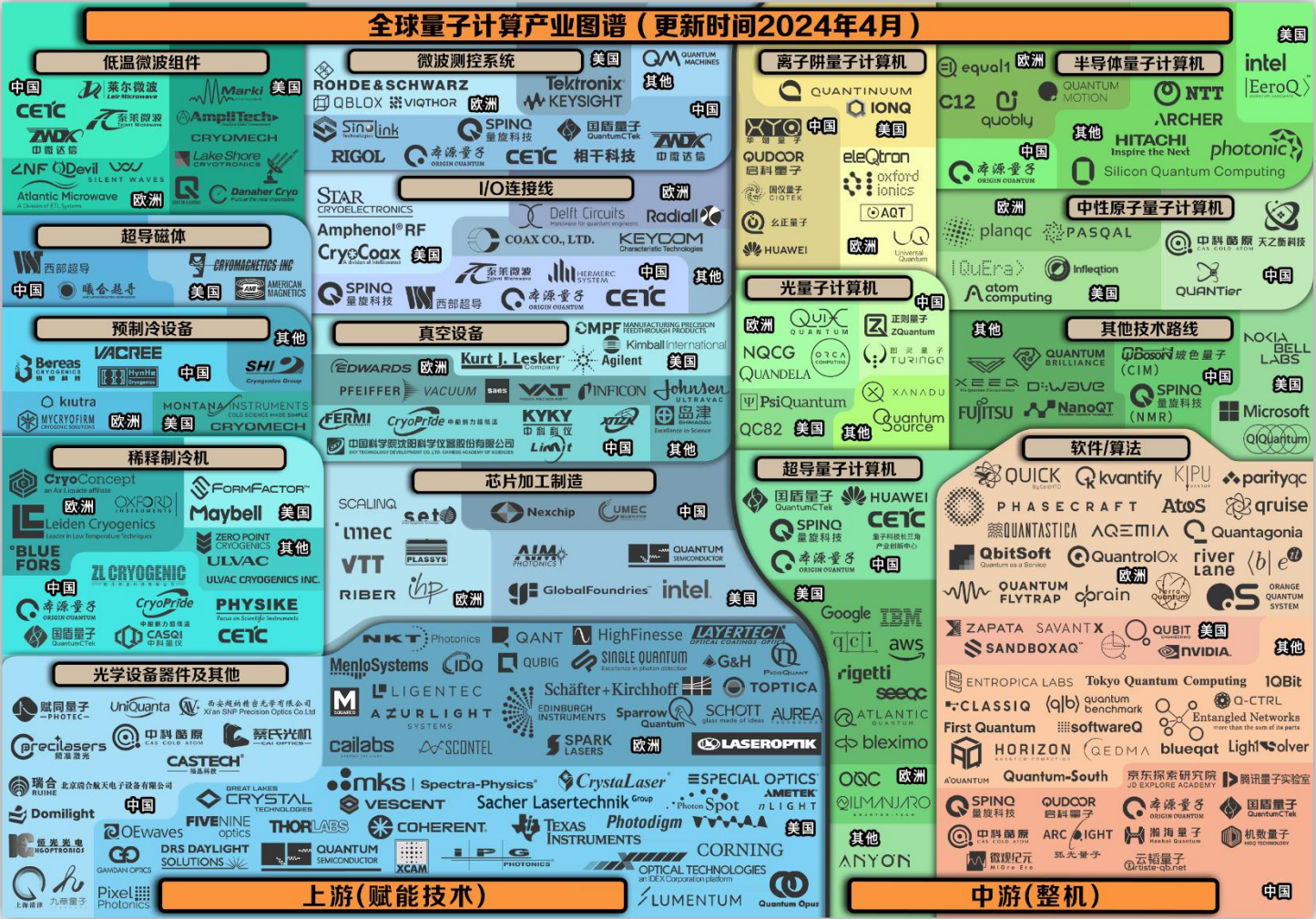
■ 全球量子计算产业规模 (单位: 十亿美元)

全球量子计算各地区产业规模



3.6 竞争格局：产业链逐步完善，产学研技术转化紧密

- 全球量子产业链企业众多，处于前期技术转化阶段。据光子盒公众号，截至2024年4月18日，全球量子计算产业链企业合计500余家。国内上游器件相关企业和机构包括国盾量子、本源量子、中科院等，已覆盖光学器件、制冷设备、芯片加工、连接器等领域，大部分领域技术实力可达全球先进水平。
- 国内中游整机研发技术路线覆盖较为全面，涵盖了超导量子计算机、光量子、离子阱等技术路线，以及量子算法软件的研发。进行研发生产的企业包括华为、腾讯、国盾量子、中国电子科技集团、中科酷源等。



注：本图谱仅统计企业，研究所和大学不在统计范围之内。企业Logo依据其产品重复出现，表示其在多个领域均有业务。

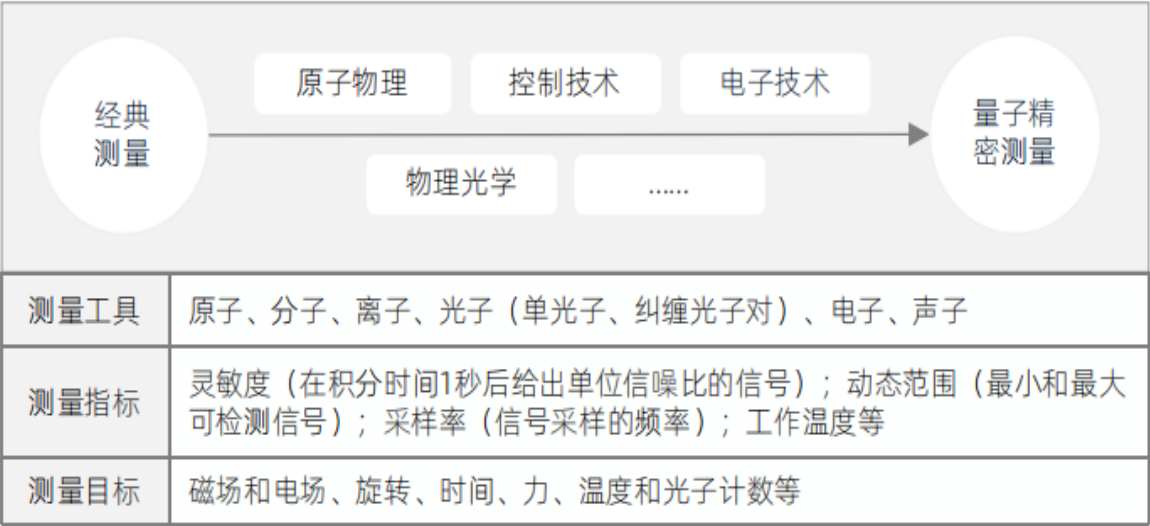
目 录

- ◆ 1 量子科技概述：三大发展方向，政策支持力度大
- ◆ 2 量子通信：信息加密重要发展方向，逐步实现商业化落地
- ◆ 3 量子计算：算力潜力巨大，关键技术逐步突破
- ◆ 4 量子精密测量：单位标准化必需，技术快速演进
- ◆ 5 相关标的

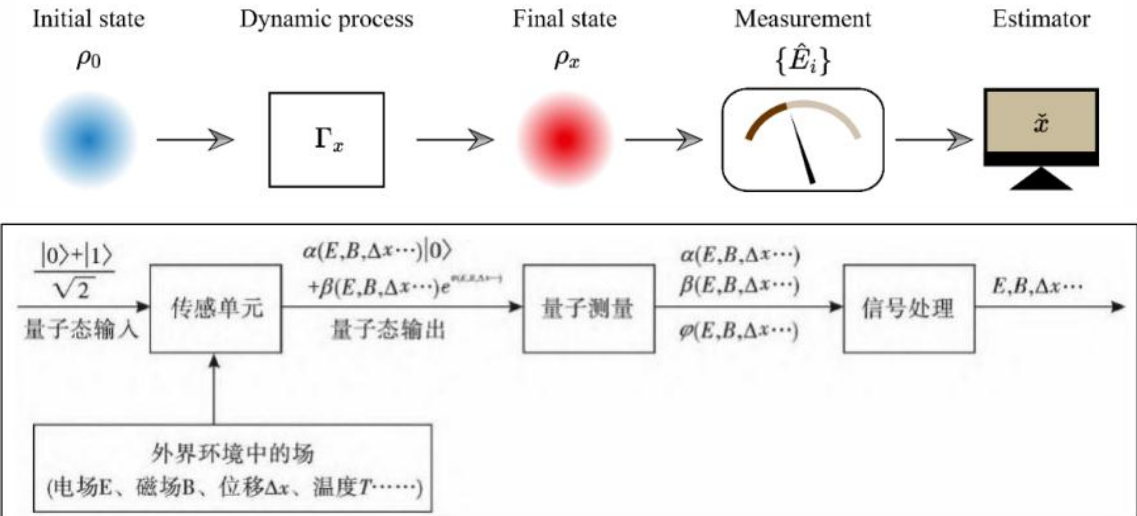
4.1 量子精密测量：利用量子技术测量物理量

- **量子精密测量是利用外界变化对微观粒子的影响来测量物理量的技术。**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。其基本原理为外界的电场、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。
- 量子精密测量的一般过程包括：首先制备一个用于感知参数的初始量子态，该状态是“纯净”的，并且可以由数学语言准确描述的。而后该初始态经过一个动态过程感知参数（如温度，压力等）后可以得到携带这些参数信息的末态。针对末态的测量可以提取出参数信息。而量子精密测量的任务是利用量子资源如纠缠、压缩等增加对参数的测量精度。

量子精密测量的技术原理



量子精密测量的一般过程



4.2 量子精密测量技术体系：以各类量子传感器为应用

- **量子传感器为量子精密测量的实用化产品。**量子传感器能够生成有关电信号、磁异常以及惯性导航等极为精确的信息。目前传感器主要通过冷原子干涉、离子阱、金刚石氮空位（NV）色心、超导电路、原子蒸汽这五种量子技术物理实现方式，一种物理实现方式可以为不同的被测物理量提供技术支撑，不同技术还可以进行组合以达到最佳效用。

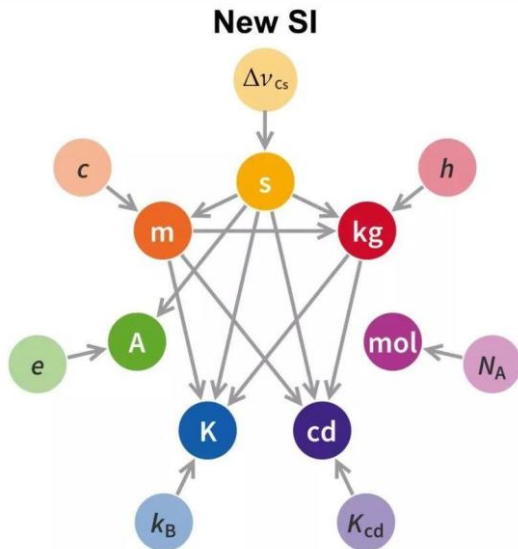
主要的量子传感器技术体系

量子系统	原理	待测量	应用举例
冷原子干涉	在极低温环境下的原子表现出类似波的行为，并对所有与其质量相互作用的力都很敏感	磁场、惯性、时间	在重力测量中，可以非常详细地绘制地球表面和地下的地图，分辨率为厘米级
离子阱	控制良好的离子阱形成具有量子化运动模式的晶体，任何干扰都可以通过这些模式之间的转换来测量	电场、磁 场、惯性、时间	对于惯性导航，在一、二、三维阵列中捕获的冷原子的光学晶格技术可能提供亚厘米级的大小
金刚石氮空位（NV）色心	NV色心作为电子自旋量子比特与外部磁场耦合；使用Berry相位带负电荷的NV色心可以测量旋转	电场、磁 场、旋转、温度、压力	在空间分辨率和灵敏度上具有 优势；可在室温或更高温度下工作，成本低；允许同时测量磁力、加速度、速度、旋转或重力的三个待测量
超导电路	基于约瑟夫森效应的超导电路技术描述了两个超导体之间的量子隧穿效应	电场、磁场	需要低温环境；允许在宏观尺度上制造量子系统，并且可通过微波信号进行有效控制
原子蒸气	自旋极化高密度原子蒸汽在外部磁场下经历状态转变，可通过光学方式测量	磁场、旋转、时间	可在室温部署；基于原子集合的原子蒸汽电池磁力计有可能优于SQUID磁力计并在室温下工作

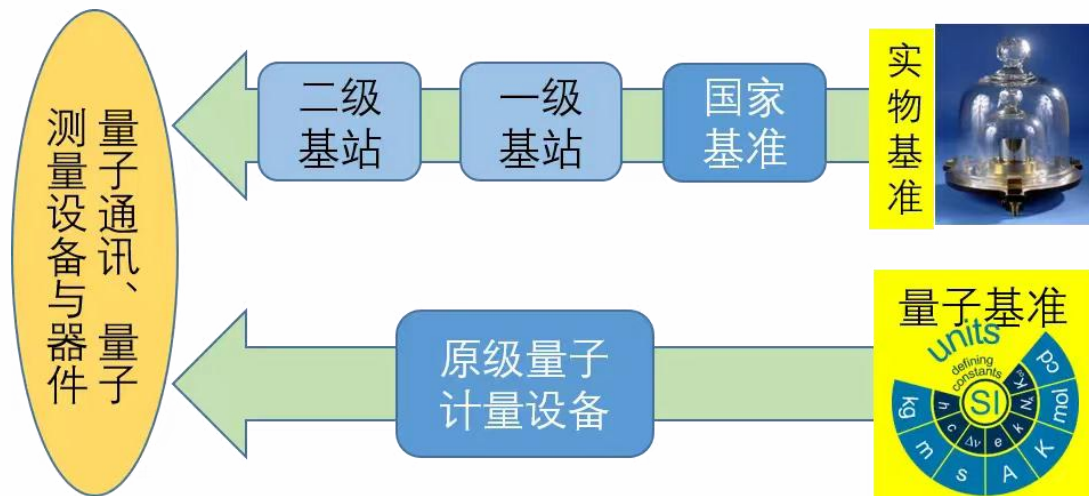
4.3 技术地位：国际计量单位向“量子标准”变革

- **国际计量单位7个基本物理量实现“量子化”，精密测量已经进入量子时代。**第26届国际计量大会全票通过了关于“修订国际单位制（SI）”的决议，将所有七个基本单位都与基本物理常数联系起来，并利用量子效应来复现。例如用普朗克常数（ h ）来定义千克（ kg ），用康普顿波长（ λ ）来定义米（ m ），用铯原子的超精细能级跃迁频率（ ν_{HFS} ）来定义秒（ s ）等。
- **量子精密测量技术的测量仪器能够提供高准确性且长期可靠的测量数据，将为科技工业的发展带来革命性变化。**国际单位制的量子化变革可以实现从原子尺度到宇宙尺度的全范围、高准确测量，推动纳米科技、精密制造、深空探测、卫星导航等领域的快速发展，也为解决社会重大挑战提供新的工具和方法。

基本单位的量子新定义



量子计量的科学意义



4.4 应用场景：多个场景逐步落地

➤ 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。量子精密测量主要依靠量子传感器为科学、技术和工业提供精密测量，主要涉及时间测量、磁场测量、重力测量、惯性测量、目标识别等。 ➤ 多种量子传感器领域已有样机产品且已实用化。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，这些已经实用化的量子传感器主要为军事、航空航天、科学研究等领域应用，有力促进健康、安全、商业、工业和科学等产业的发展。	时间测量	微波原子钟 光钟 分子钟	原子从一个能量态跃迁至低的能量态时会释放电磁波，同一种原子的电磁波特征频率是一定的，可用作一种节拍器来保持高度精确的时间。可应用于卫星定位导航(GPS、Galileo、GLONASS、北斗)、国防军工(精确制导、作战指挥同步)、时间基准(信息通信、广播电视)等。
	磁场测量	量子磁力仪	基于量子力学原理可突破经典测量极限，在生物医学、科研、军事国防和工业检测等领域具重要价值。
	重力测量	量子重力仪 量子重力梯度仪	量子重力传感器可以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，用以勘探矿产资源、辅助导航等。
	惯性测量	量子加速度计 量子陀螺计	量子加速计利用冷原子干涉等技术，借激光或阱抵消重力影响测加速度，从而测量特定方向的加速度，多用于潜艇等大型载具，未来或因体积改进拓展场景。量子陀螺仪技术路径丰富，可用于汽车、卫星导航等，且朝高灵敏度、小型化等方向发展。
	目标识别	场强计 干涉量子雷达 量子增强雷达 量子照明雷达	量子成像利用光子相关性，允许抑制噪声并提高想象物体的分辨率。量子成像应用场景可能为 3D 量子相机、角落后相机(Behind-the-corner cameras)、低亮度成像和量子雷达或激光雷达等。 量子探测成像典型应用为量子雷达，可以用于侦测目标、测量大气风速等，能进行单光子成像量子以增加探测距离与速度并生成图像，未来可利用量子特性识别隐形目标。

4.5 全球进展：量子测量仪器正走出实验室

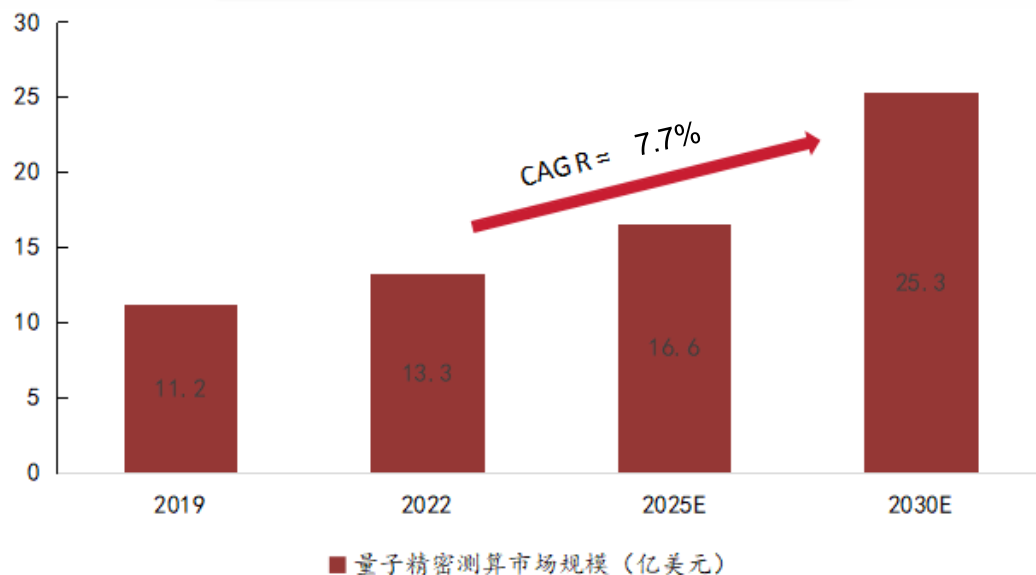
- **量子精密测量仪器走出实验室。**随着量子精密测量工程样机的持续迭代，量子测量在多方面取得突破与进展，部分成熟技术方向已开始进入从工程样机向商用产品的过渡阶段迈向产品化进程。
- **量子精密测量技术多国领跑。**美国、加拿大、英国、德国、法国、日本、中国为量子精密测量研究主要技术国，在战略政策广度、深度和国家支持力度方面均较为突出。

领域	国家	时间	主要内容
目标成像	中国	2018年8月	中国电科14所研制成功基于单光子检测的量子雷达系统。该量子雷达系统完成了量子探测机理、目标散射特性研究以及量子探测原理的实验验证，并且在外场完成真实大气环境下目标探测试验，实现了百公里级探测威力，探测灵敏度极大提高，指标均达到预期效果。
重力测量	英国	2022年2月	英国伯明翰大学成功研发世界上第一台非实验室条件下的量子重力梯度仪。利用量子技术的传感器可找到隐藏在地下的物体，使仪器具有足够的适应性，能够在道路或现场实际使用，而不仅仅是在实验室中。该量子重力梯度仪能够满足现实世界挑战，并执行高空间分辨率探测的仪器，极大改进了人类地质地形图的测绘工作。
时间测量	美国	2022年2月	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。
重力测量	美国	2022年5月	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形成超冷原子气泡，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，是玻色子原子在冷却到接近绝对零度所呈现出的一种气态的、超流性的物质状态。在玻色-爱因斯坦凝聚态中，科学家可以在肉眼可见的尺度上观察原子的量子特性。
时间测量	欧美	2023年9月	澳大利亚、美国和爱尔兰的客户家验证了量子时钟遵循精度的动力学不确定性关系，从而在热力学行为与其精度之间建立了明确的联系，实现了量子时钟中动力学不确定性关系的实验测试。
时间测量	中国	2022年10月	梦天实验舱将首个高性能光钟送入太空，这是中国在量子精密测量领域的重要突破和进展。梦天实验舱搭载的氢原子钟、铷原子钟和光钟，将组成的空间冷原子钟组，构成在太空中频率稳定性和准确度最高的时间频率系统，精度非常高，几百万年才误差一秒钟。

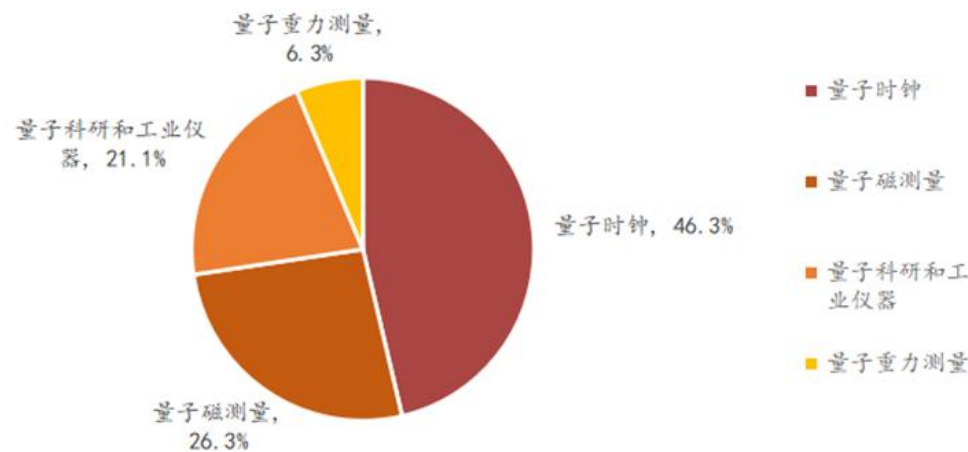
4.6 市场规模：以时间测量为主，应用市场逐步扩大

- **量子精密测量的应用领域不断拓宽，市场规模持续攀升。**量子精密测量产品和技术主要的应用方向有国防军事、航天探索、航空工业、计量测量、科学研究、生物检测等，其产业的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25.3亿美元，市场规模呈现不断上升趋势，年复合增长率为7.7%。
- **需求驱动，量子时钟占比遥遥领先。**随着5G网络的普及、人工智能与信息社会的迅猛发展，大数据传输对智能移动终端时间同步的精准度需求日益提高，同时军事领域的广泛采用，共同推动量子时钟需求持续增长。2022年，量子时钟市场份额约为4.4亿美元，占比最高（46.3%）。

量子精密测算的市场规模



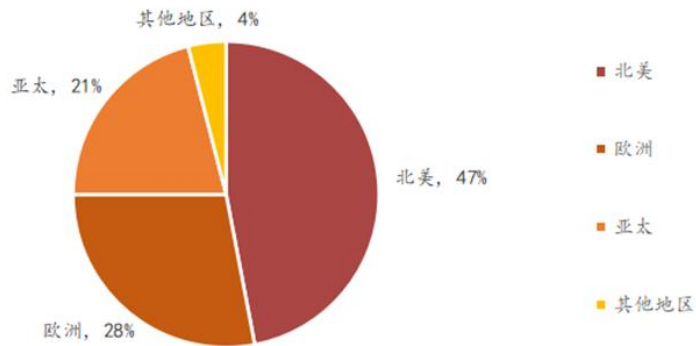
全球量子精密测量市场份额（2022，按技术分）



4.7 竞争格局：欧美占比较重，产业链生态逐步建立

- **量子精密测量市场的主要参与者在欧美地区，研究基础深厚，占据核心地位。**当前全球主要供应商集中在北美（主要是美国），占比约为47%；其次是欧洲（主要是西欧国家和俄罗斯），占比约为28%；然后是亚太（日本、韩国、中国、澳大利亚、新加坡），占比约为21%。
- **量子精密测量产业链完整，覆盖广泛。**上游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；中游则是技术研发和设备制造的核心环节，涉及量子精密测量技术、量子传感技术、量子信息处理技术等领域的研发和创新，以及量子时钟、量子重力仪、量子磁力计等高精度设备的制造；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。

量子精密测量市场份额预测（2023，按地理划分）



量子精密测量产业链生态



目 录

- ◆ 1 量子科技概述：三大发展方向，政策支持力度大
- ◆ 2 量子通信：信息加密重要发展方向，逐步实现商业化落地
- ◆ 3 量子计算：算力潜力巨大，关键技术逐步突破
- ◆ 4 量子精密测量：单位标准化必需，技术快速演进
- ◆ 5 相关标的

5.1 国盾量子：国之重盾，量子全产业链覆盖



深耕量子领域产品十余年。公司以量子信息技术的全面产业化为己任，主要从事量子通信、量子计算、量子精密测量产品的研发、生产和销售，并提供相关技术服务。公司践行“量子科技产业报国”理念，推动产学研用协同创新，是中国量子信息产业化的开拓者、实践者和引领者。截至2023年底，公司拥有国内外授权专利480余项，先后承担科技部863计划、多个省市自主创新专项、省市科技重大专项等项目，并作为量子技术国内外标准制定主力，牵头/参与100余项国内外标准研制工作。

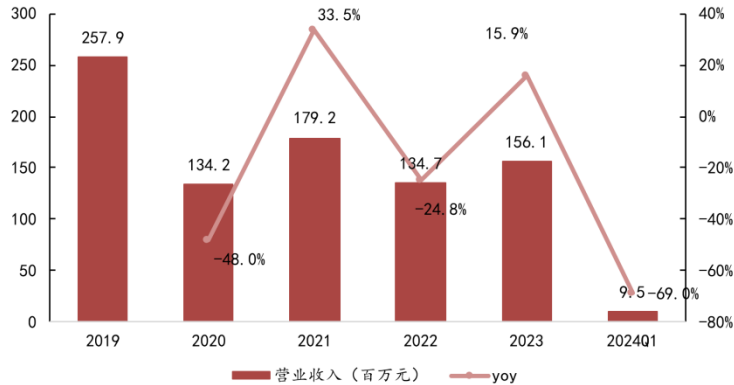
国盾量子历史沿革

时间	主要事件
2009年	安徽量子通信技术有限公司成立,公司从产业无人区起步；安徽量通参建国庆60周年阅兵“量子保密通信热线”
2010年	山东量子科学技术研究院有限公司成立，合肥+济南——核心研发双核驱动；参展上海世博会“城市未来馆”
2011年	安徽量通建设省级工程技术中心——“安徽省量子信息工程技术研究中心”建成；李克强副总理视察中科大，体验公司自主研发的新一代量子保密通信电话，鼓励公司“打开市场，打出品牌”；公司第一代GHz高速量子密钥分发产品问世；在合肥建成规模化量子通信网络“合肥城域量子通信试验示范网”
2013年	山东量子、济南量子技术研究院合作建成周期极化铌酸锂波导芯片研制平台；安徽量通建成自动化核心硬件生产线；创新成果亮相中央政治局在中关村国家自主创新示范区展示中心的集体学习活动；安徽量通建成合肥公安系统量子安全通信网络
2016年	与中兴皖通合作推出量子安全路由器系列产品——ZXR10系列；公司多个新产品系列全面上线，核心专利登陆美欧日；与中国银行等单位成立“中国银行金融信息安全联合实验室”；国盾产品在国家量子保密通信“京沪干线”全线部署完毕，广域光纤量子通信骨干网技术验证进入实战
2021年	国内首批量子通信行业标准发布，国盾量子参与；国内首个量子随机数相关行业标准发布，国盾量子牵头；联合中国科大等团队创下现场光纤量子保密通信新世界记录；联合中国电信，推出国内首款移动端保密通信产品“5G+量子密话”；联合中国科大等团队完成“QKD+PQC”融合可用性的现网验证
2023年	核心产品QKD-POL40A-S、QKD-POL40B-S获得商密检测报告，商用密码量子安全产品阵容再扩大；联合多家单位搭建并开放新一代量子计算云平台，接入“祖冲之号”同款176比特超导量子计算机；助力中国实现最大规模的51比特量子纠缠态制备；联合中国科大等在国际上首次实现了基于少模光纤的1Tbps经典通信数据容量与量子密钥分发业务在百公里级链路距离的共纤传输

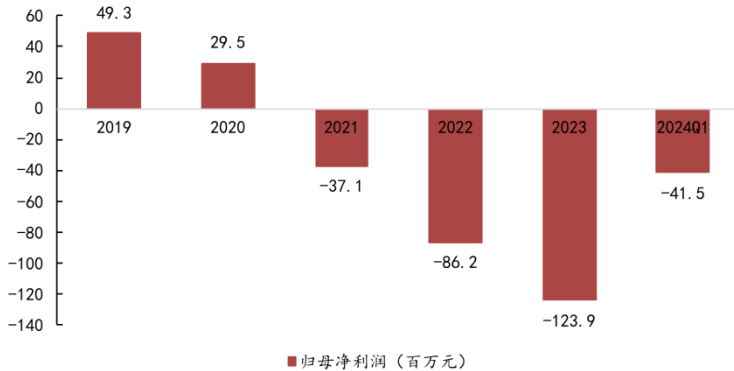
5.1 国盾量子：国之重盾，量子全产业链覆盖

- 2023年，我国量子科技前沿领域创新成果不断涌现，公司坚持“一体两翼”战略，在持续深耕量子通信核心业务的同时，积极发展量子计算和量子精密测量业务，以及量子安全相关业务。2023年，公司营业收入1.6亿元，同比增加15.9%。随着收入增长公司有望扭亏。
- 2023年，公司量子通信、量子计算、量子精密测量的产品占比分别为34.5%、28.7%和9.8%，量子精密测量业务开始逐步贡献收入。公司量子通信产品技术壁垒较高，因此公司毛利率基本保持在40%以上，盈利能力较强。

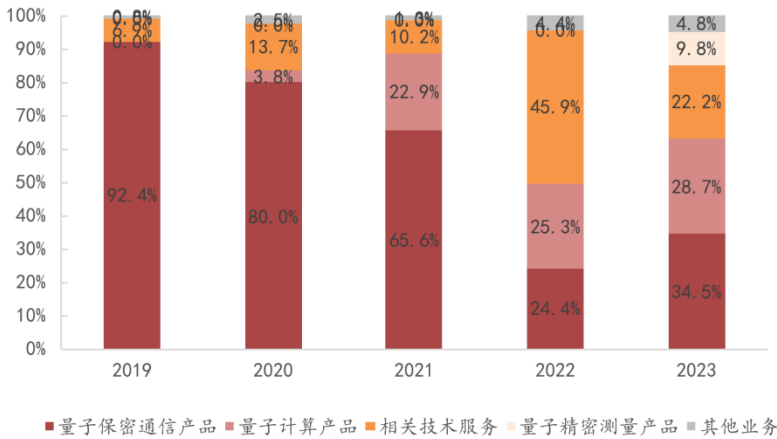
总营收及其增速情况



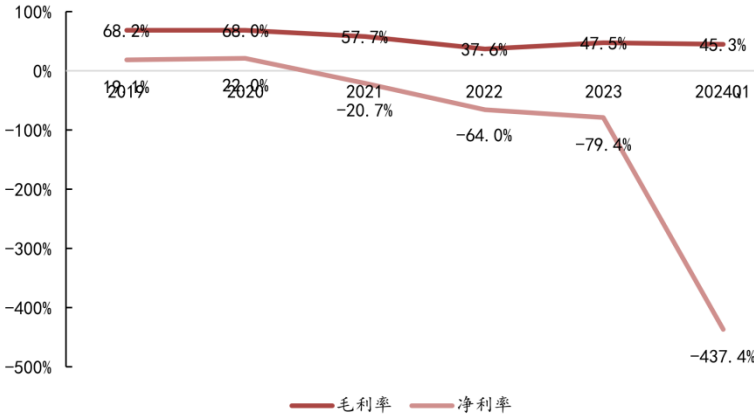
归母净利润及其增速情况



产品占比情况



利润率情况



5.2 光迅科技：深耕光通信，参与量子光器件研发



专注于光通信领域40余年。公司是“国家认定企业技术中心”、“国家技术创新示范企业”、“光纤通信技术和网络国家重点实验室”，具备光电子芯片、器件、模块及子系统产品的战略研发和规模量产能力。光迅科技源于1976年成立的邮电部固体器件研究所，2001年改制，2009年登陆深圳证券交易所，成为国内首家上市的通信光电子器件公司，连续十七年入选“中国光器件与辅助设备及原材料最具竞争力企业10强（第1名）”“全球光器件最具竞争力企业10强（第4名）”。

光迅科技历史沿革

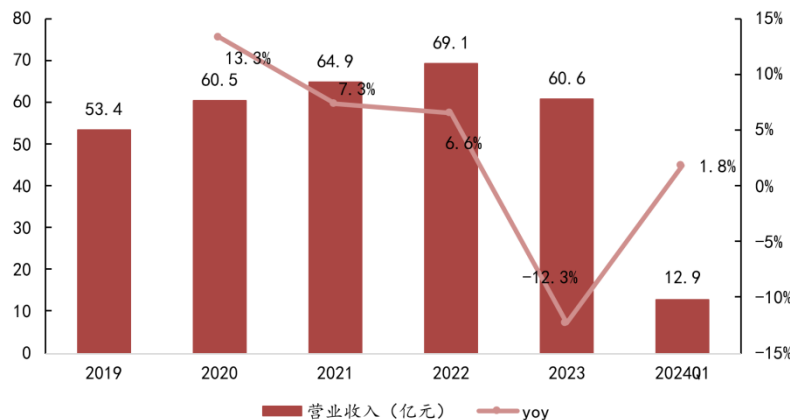
时间	主要事件
1999年	光迅科技在中国武汉正式成立，开始涉足光通信设备的研发和生产。公司创立之初即定位于光通信领域，致力于为全球通信市场提供高质量的光通信产品和解决方案。这个里程碑标志着光迅科技正式进入了光通信行业，奠定了公司未来发展的基础。
2001年	光迅科技成功发布了首批光通信设备，包括FOT-10G光收发器和ODF光纤配线架。这些产品主要面向国内市场，解决了当时国内对高性能光通信设备的迫切需求。
2010年	积极开拓国际市场。公司的光通信产品如100G光模块和光纤跳线逐步进入全球多个国家和地区，为国际客户提供高质量的通信解决方案。国际市场的开拓不仅提升了公司的全球知名度，也为公司带来了新的增长机遇。
2012年	在武汉设立了光通信研发中心。研发中心的建立标志着公司在技术创新方面迈出了重要一步。通过引入先进的研发设备和技术人才，公司在高速光通信和智能光网络技术领域取得了显著的进展。
2020年	推出了一系列面向5G网络的高性能光通信解决方案，如5G前传光模块和5G小基站光纤解决方案。这些解决方案帮助全球运营商建设高效、可靠的5G网络，进一步巩固了光迅科技在光通信领域的领先地位。
2023年	推进高端产品的迭代演进、新兴市场的开拓和前沿科技领域的探索，为客户提供更优质的产品和服务。业内首次动态演示1.6T OSFP-XD光模块，业界率先发布单波1.2T相干产品等等。

5.2 光迅科技：深耕光通信，参与量子光器件研发

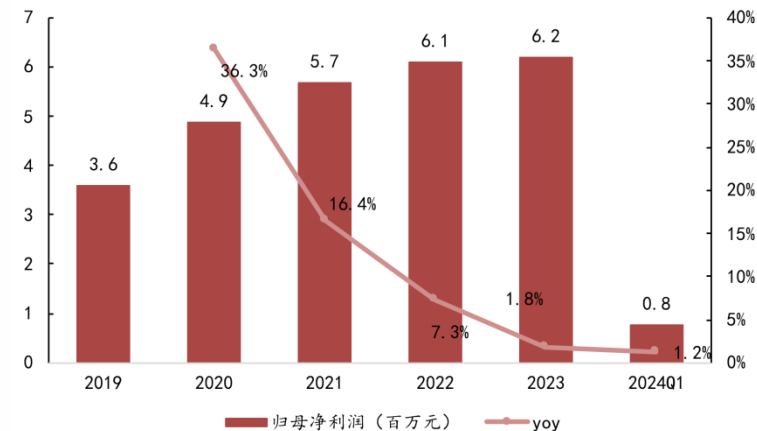
➤ **业绩保持稳定，利润水平上升。**公司凭借在光通信领域的深厚积累和技术创新，收入端实现稳健增长。公司2023年实现营业收入60.6亿元，较去年同期下降了12.3%，但公司通过优化产品结构和提升运营效率，利润拐点显现，同期公司实现归母净利润6.2亿元，同比增长1.8%。

➤ **产品结构稳定，净利率提升。**公司近年产品结构保持稳定，2023年传输业务条线收入占比为55.2%，接入和数据条线收入占比为43.9%。利润率方面，23年公司净利率提升1.4pp至10.2%，24Q1公司毛利率为22.5%，净利率为6%，主要系销售费用和管理费用有所增长。

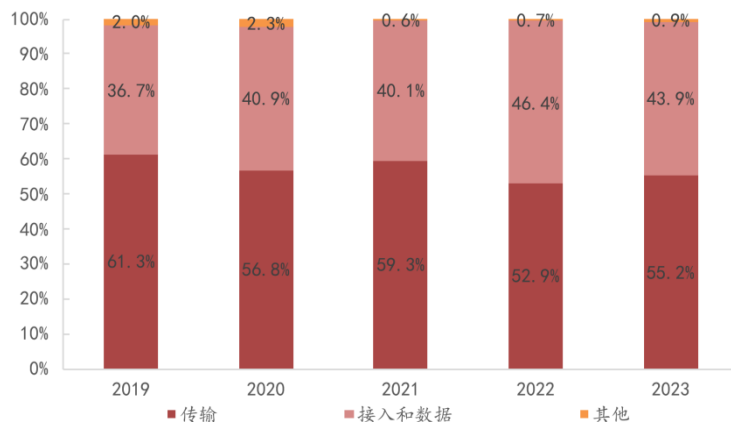
总营收及其增速情况



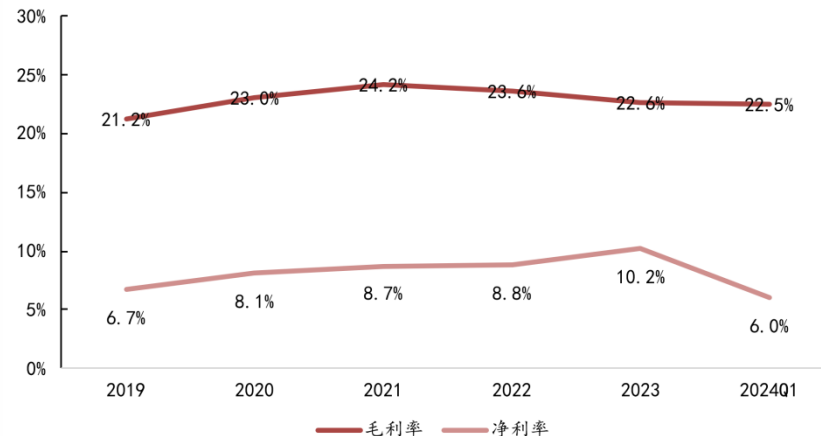
归母净利润及其增速情况



产品占比情况



利润率情况

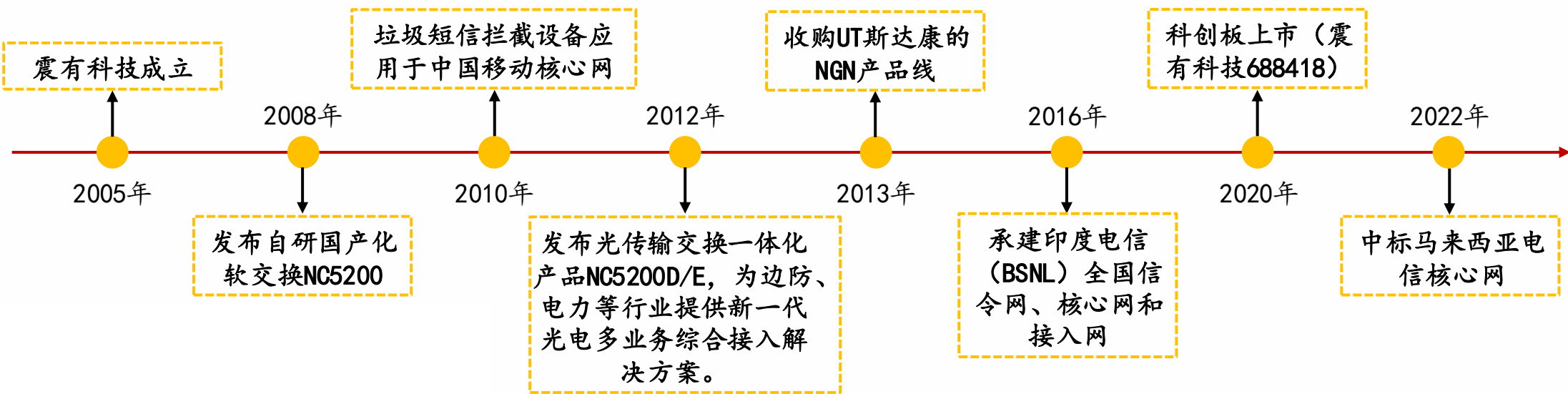


5.3 震有科技：5G+卫星弹性大，具有量子通信接入能力

震有科技成立于2005年，主营通信设备覆盖公网、专网及卫星互联网，设备能够应用于接入网、传输网、核心网等环节。是业内少数具备5G核心网+基站端到端解决方案提供能力的供应商，具备通信技术的先进性。公网领域，公司已切入东南亚“一带一路”国家核心网和接入网市场，以及国内第四大运营商中国广电的通信设备招标。未来公司有望通过广电的成功案例，进一步获取三大运营商市场份额。专网领域，公司在多个细分领域具备竞争优势，受益国家应急“十四五”规划以及煤炭、园区等数智化建设加速，公司专网市场有望保持较好增长。卫星互联网领域，公司曾独家承接我国首个卫星移动通信“天通一号”核心网建设项目，在卫星核心网领域具备强竞争优势，具有较高业绩弹性。



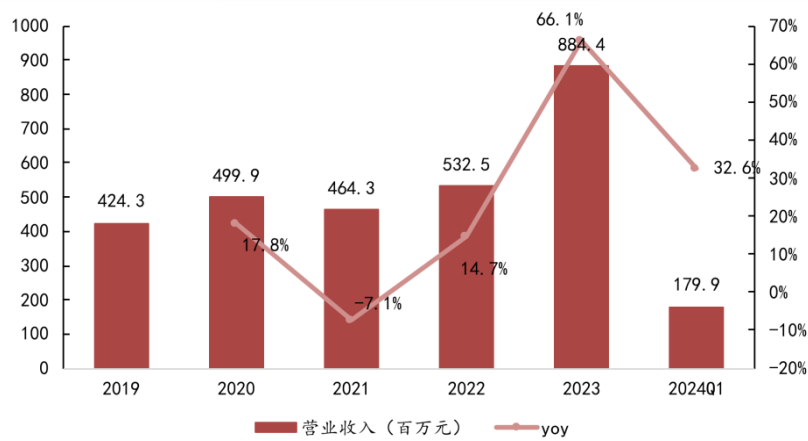
震有科技发展历程



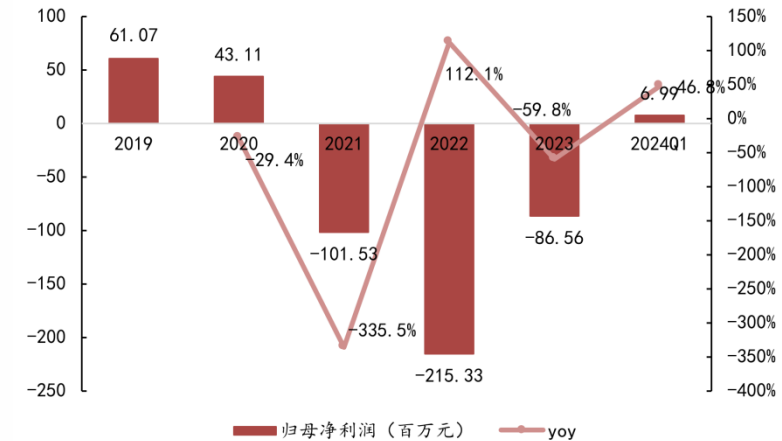
5.3 震有科技：5G+卫星弹性大，具有量子通信接入能力

- **业绩高增，扭亏可待。** 2023年公司实现营收8.8亿元，同比增长66.1%，归母净利润-0.9亿元；2024Q1公司实现收入1.8亿元，同比增长32.6%，归母净利润699万元，实现扭亏。从收入结构来看，公司指挥调度系统、核心网系统和集中式局端系统贡献了公司绝大部分收入，2023年在总收入中占比分别为44.9%、7.6%和28.5%。
- **毛利率维持高位，净利率转正。** 毛利率方面，由于公司指挥调度业务和运营商网络设备服务定制化程度较高以及软件占比较大，公司毛利率水平基本维持在40%以上。随着公司收入规模增长以及降本增效，公司净利率拐点显现。

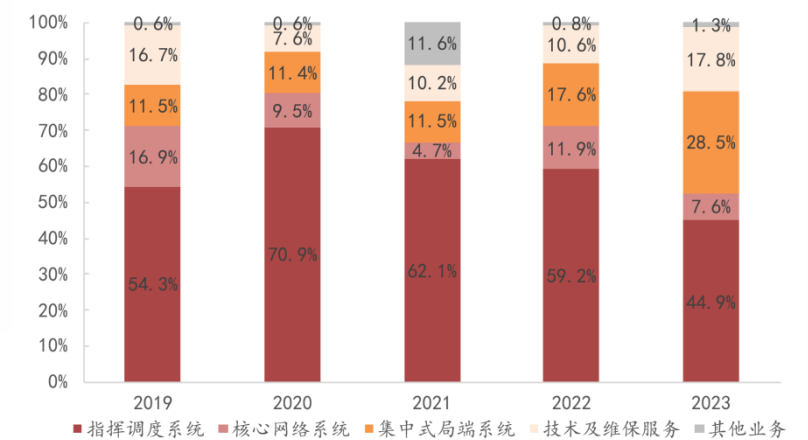
总营收及其增速情况



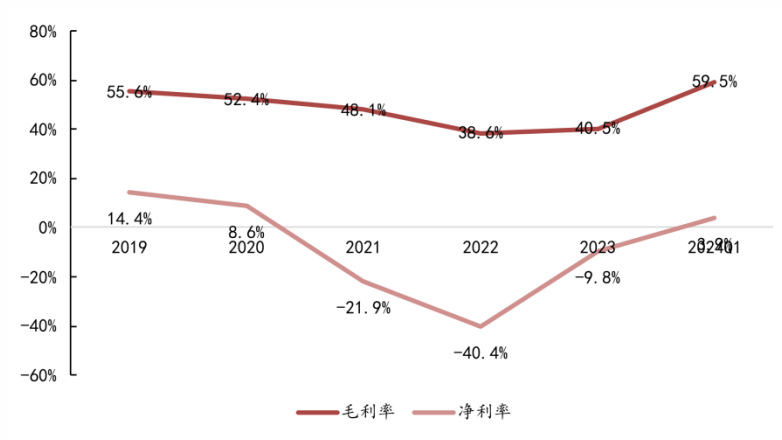
归母净利润及其增速情况



产品占比情况



利润率情况



风险提示

- 量子通信网络建设不及预期；
- 量子计算机研发不及预期；
- 量子精密测量研发不及预期等风险。



分析师：叶泽佑
执业证号：S1250522090003
电话：13524424436
邮箱：yezy@swsc.com.cn

联系人：曾庆亮
邮箱：zqlyf@swsc.com.cn

西南证券投资评级说明

报告中投资建议所涉及的评级分为公司评级和行业评级（另有说明的除外）。评级标准为报告发布日后6个月内的相对市场表现，即：以报告发布日后6个月内公司股价（或行业指数）相对同期相关证券市场代表性指数的涨跌幅作为基准。其中：A股市场以沪深300指数为基准，新三板市场以三板成指（针对协议转让标的）或三板做市指数（针对做市转让标的）为基准；香港市场以恒生指数为基准；美国市场以纳斯达克综合指数或标普500指数为基准。

公司评级

买入：未来6个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在20%以上
持有：未来6个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于10%与20%之间
中性：未来6个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-10%与10%之间
回避：未来6个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅介于-20%与-10%之间
卖出：未来6个月内，个股相对同期相关证券市场代表性指数涨幅在-20%以下

行业评级

强于大市：未来6个月内，行业整体回报高于同期相关证券市场代表性指数5%以上
跟随大市：未来6个月内，行业整体回报介于同期相关证券市场代表性指数-5%与5%之间
弱于大市：未来6个月内，行业整体回报低于同期相关证券市场代表性指数-5%以下

分析师承诺

报告署名分析师具有中国证券业协会授予的证券投资咨询执业资格并注册为证券分析师，报告所采用的数据均来自合法合规渠道，分析逻辑基于分析师的职业理解，通过合理判断得出结论，独立、客观地出具本报告。分析师承诺不曾因，不因，也将不会因本报告中的具体推荐意见或观点而直接或间接获取任何形式的补偿。

重要声明

西南证券股份有限公司（以下简称“本公司”）具有中国证券监督管理委员会核准的证券投资咨询业务资格。

本公司与作者在自身所知情范围内，与本报告中所评价或推荐的证券不存在法律法规要求披露或采取限制、静默措施的利益冲突。

《证券期货投资者适当性管理办法》于2017年7月1日起正式实施，本报告仅供本公司签约客户使用，若您并非本公司签约客户，为控制投资风险，请取消接收、订阅或使用本报告中的任何信息。本公司也不会因接收人收到、阅读或关注自媒体推送本报告中的内容而视其为客户。本公司或关联机构可能会持有报告中提到的公司所发行的证券并进行交易，还可能为这些公司提供或争取提供投资银行或财务顾问服务。

本报告中的信息均来源于公开资料，本公司对这些信息的准确性、完整性或可靠性不作任何保证。本报告所载的资料、意见及推测仅反映本公司于发布本报告当日的判断，本报告所指的证券或投资标的的价格、价值及投资收入可升可跌，过往表现不应作为日后的表现依据。在不同时期，本公司可发出与本报告所载资料、意见及推测不一致的报告，本公司不保证本报告所含信息保持在最新状态。同时，本公司对本报告所含信息可在不发出通知的情形下做出修改，投资者应当自行关注相应的更新或修改。

本报告仅供参考之用，不构成出售或购买证券或其他投资标的的要约或邀请。在任何情况下，本报告中的信息和意见均不构成对任何个人的投资建议。投资者应结合自己的投资目标和财务状况自行判断是否采用本报告所载内容和信息并自行承担风险，本公司及雇员对投资者使用本报告及其内容而造成的一切后果不承担任何法律责任。

本报告

删节和修改。未经授权刊载或者转发本报告及附录的，本公司将保留向其追究法律责任的权利。



西南证券研究发展中心

上海

地址：上海市浦东新区陆家嘴21世纪大厦10楼

邮编：200120

北京

地址：北京市西城区金融大街35号国际企业大厦A座8楼

邮编：100033

深圳

地址：深圳市福田区益田路6001号太平金融大厦22楼

邮编：518038

重庆

地址：重庆市江北区金沙门路32号西南证券总部大楼21楼

邮编：400025

西南证券机构销售团队

区域	姓名	职务	手机	邮箱	姓名	职务	手机	邮箱
上海	蒋诗烽	总经理助理、销售总监	18621310081	jsf@swsc.com.cn	张玉梅	销售经理	18957157330	zymyf@swsc.com.cn
	崔露文	销售副总监	15642960315	clw@swsc.com.cn	阚钰	销售经理	17275202601	kyu@swsc.com.cn
	谭世泽	高级销售经理	13122900886	tsz@swsc.com.cn	魏晓阳	销售经理	15026480118	wxyang@swsc.com.cn
	汪艺	高级销售经理	13127920536	wyyf@swsc.com.cn	欧若诗	销售经理	18223769969	ors@swsc.com.cn
	李煜	高级销售经理	18801732511	yfliyu@swsc.com.cn	李嘉隆	销售经理	15800507223	ljlong@swsc.com.cn
	卞黎旸	高级销售经理	13262983309	bly@swsc.com.cn	龚怡芸	销售经理	13524211935	gongyy@swsc.com.cn
	田婧雯	高级销售经理	18817337408	tjw@swsc.com.cn				
北京	李杨	销售总监	18601139362	yfly@swsc.com.cn	张鑫	高级销售经理	15981953220	zhxin@swsc.com.cn
	张岚	销售副总监	18601241803	zhanglan@swsc.com.cn	王一菲	销售经理	18040060359	wyf@swsc.com.cn
	杨薇	资深销售经理	15652285702	yangwei@swsc.com.cn	王宇飞	销售经理	18500981866	wangyuf@swsc.com
	姚航	高级销售经理	15652026677	yhang@swsc.com.cn	路漫天	销售经理	18610741553	lmtyf@swsc.com.cn
	胡青璇	高级销售经理	18800123955	hqx@swsc.com.cn	马冰竹	销售经理	13126590325	mbz@swsc.com.cn
广深	郑龔	广深销售负责人	18825189744	zhengyan@swsc.com.cn	丁凡	销售经理	15559989681	dingfyf@swsc.com.cn
	杨新意	广深销售联席负责人	17628609919	yxy@swsc.com.cn	陈紫琳	销售经理	13266723634	chzlyf@swsc.com.cn
	张文锋	高级销售经理	13642639789	zwf@swsc.com.cn	陈韵然	销售经理	18208801355	cyryf@swsc.com.cn
	龚之涵	销售经理	15808001926	gongzh@swsc.com.cn				