

量子通信开启信息安全新纪元

报告摘要:

■ **信息安全形势日益严峻，各国加速推进产业发展。**近年来，“棱镜门”等信息泄露事件频发，不断为人们敲响警钟。另一方面，随着计算机计算能力的不断提高，传统的通信加密技术面临日益严峻的挑战，各国政府纷纷出台政策，加速推动信息安全产业发展。

■ **量子通信作为绝对安全的通信方式，引发全球研究与商业化热潮。**量子保密通信从量子力学不确定性原理和量子态不可克隆定理出发，提供一种原理上绝对安全的通信方式，引发了全球研究与商业化热潮。根据工作原理的不同，量子通信技术可分为量子密钥分发、量子隐形传态、量子安全直接通信、量子机密共享等，其中量子密钥分发最为成熟且逐步开始商业化。

■ **随着量子通信商业化进程的推进，产业链上中下游将持续受益。**量子通信产业链上游为信号处理芯片、APD 及各类核心设备生产商；产业链中游主要包括网络传输干线提供商和系统集成商；产业链下游为各类行业应用。量子通信核心设备是量子保密通信产业链中最核心的一个环节，主要包括量子密钥分发设备、量子交换机、量子网关、量子网络站控、量子随机数发生器。国内能够提供核心设备的公司并不多，主要包括国盾量子（浙江东方参与出资成立）、问天量子和神州量通（都飞通信控股 51%）。国外厂商主要包括瑞士 IDQ 公司、美国 Bennet 公司等。

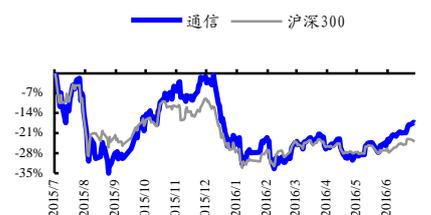
■ **量子通信在金融、政务、国防等多个领域取得广泛应用。**在金融领域，新华社和中科大双方合作建成了“金融信息量子保密通信技术验证专线”，工行在该专线基础上成功实现了北京分行电子档案信息在同城间的加密传输；在政务领域，我国相继建成了芜湖、合肥、济南三个量子通信试验网，为政府部门、机关单位提供量子加密语音电话、传真等业务；在军事国防领域，60 周年国庆阅兵和“十八大”期间，量子通信技术用于保障重要信息的传送。此外，今年我国还将建成“京沪干线”、“沪杭干线”等量子通信干线，并将择机发射世界首颗量子科学实验卫星，初步建成首个天地一体化广域量子通信网。

■ **市场空间广阔，但仍然任重道远。**据中投顾问预测，国内量子通信短期市场规模在 100-130 亿元左右，长期市场规模将超过千亿元。但从技术和产业化角度来看，量子通信产业的发展仍面临诸多挑战。

■ **量子通信产业衍生出多个领域投资机会。**我们认为京沪干线建成之后，IDC 领域是量子保密通信商业应用的一个天然市场，**建议关注科华恒盛、宁波建工**；量子通信干线建设是量子保密技术商业化应用的前提，我们认为未来国内会有更多量子通信保密干线的投建需求，**建议关注都飞通信、浙江东方、神州信息、四创电子和国舜科技。**

■ **风险提示：**量子通信产业发展不及预期。

历史收益率曲线



涨跌幅 (%)	1M	3M	12M
绝对收益	9.27%	10.67%	-10.79%
相对收益	5.26%	8.89%	11.39%

重点公司

投资评级

海格通信	增持
振芯科技	买入
亨通光电	买入
新海宜	增持
三维通信	增持
华星创业	增持
二六三	增持
光环新网	买入

相关报告

《通信行业周报：关键信息基础设施备受重视，量子通信应用迎来新的契机》

2016-07-11

《通信行业周报：重点关注 NB-IOT 物联网时代下 MEMS 传感器投资机会》

2016-07-04

《通信行业周报：4G 与 5G 之间大有可为，关注 4.5G 投资机会》

2016-06-27

目 录

1. 信息安全备受各国广泛关注	4
1.1. 信息泄露事件频发，网络安全形势日益严峻.....	4
1.2. 国内外政府出台多个政策促进信息安全产业发展.....	4
2. 量子通信：绝对安全的通信方式	5
2.1. 什么是量子通信.....	5
2.2. 量子通信技术的发展历程.....	6
2.2.1. 量子通信技术在美國的发展.....	6
2.2.2. 量子通信技术在欧洲的发展.....	6
2.2.3. 量子通信技术在中国的发展.....	7
2.3. 量子通信系统架构与关键技术分析.....	8
2.3.1. 量子密钥分发(QKD).....	9
2.3.2. 量子隐形传态.....	10
2.3.3. 量子安全直接通信(QSDC).....	10
2.3.4. 量子机密共享(QSS).....	11
2.4. 量子通信主要特点分析.....	11
3. 量子通信产业分析	12
3.1. 量子通信产业链.....	12
3.2. 量子通信核心设备.....	13
3.2.1. 量子密钥分发设备.....	13
3.2.2. 量子安全网关.....	14
3.2.3. 量子交换机.....	14
3.2.4. 量子网络站控设备.....	15
3.2.5. 量子随机数发生器.....	15
4. 量子通信应用场景分析	16
4.1. 量子通信在金融行业的应用.....	16
4.1.1. 金融信息量子通信验证网.....	16
4.1.2. 工行试水量子通信.....	17
4.2. 量子通信在政务行业的应用.....	17
4.2.1. 芜湖量子政务网.....	17
4.2.2. 合肥城域量子通信试验示范网.....	18
4.2.3. 济南量子通信试验网.....	19
4.3. 量子通信在国防行业的应用.....	20
4.4. 量子通信广域网（京沪干线、杭沪干线）.....	21
5. 量子通信市场空间广阔，但依然任重道远	22
6. 量子通信产业投资机会	23
6.1. 基于量子保密通信 IDC 领域投资机会.....	24
6.2. 量子通信干线建设运营投资机会.....	25

图表目录

图 1: D-Wave 公司生产的量子计算机	4
图 2: 经典比特与量子比特	5
图 3: 典型量子通信系统	8
图 4: QKD 量子密钥分发系统结构图	9
图 5: 量子隐形传态技术系统结构图	10
图 6: 高效两步方案量子安全直接通信(QSDC)示意图	11
图 7: 量子保密通信产业链	13
图 8: 量子密钥分发网络密码机	14
图 9: 量子密钥分配终端 (一体机)	14
图 10: 40M 量子网关	14
图 11: GHz 量子网关	14
图 12: 全通型量子交换机	15
图 13: 矩阵型量子交换机	15
图 14: 量子网络站控设备	15
图 15: 量子随机数发生器原理图	16
图 16: 金融信息量子通信验证网结构图	16
图 17: 金融信息量子通信验证网启动仪式	17
图 18: 刘延东体验金融信息量子通信验证网	17
图 19: 工行应用量子通信相关报道	17
图 20: 应用了量子通信技术的工行 IDC	17
图 21: 实验室博士生介绍文件加密后的不同	18
图 22: 量子政务网关键设备—全通型量子路由器	18
图 23: 城域量子通信实验示范网结构图	19
图 24: 市委书记与合肥市公安局进行量子通话	19
图 25: 李克强总理体验量子加密通话	19
图 26: 济南量子通信试验网集控中心	20
图 27: 济南量子通信试验网用户分布图	20
图 28: 量子保密通信“京沪干线”路线图	21
图 29: 中经量通科技(北京)有限公司股权图	25
图 30: 浙江神州量子通信技术有限公司股权图	25
表 1: 各国政府出台信息安全相关政策一览表	5
表 2: 美国量子通信发展历程	6
表 3: 欧洲量子通信发展历程	7
表 4: 中国量子通信发展历程	8
表 5: 量子通信系统结构与作用	9
表 6: 量子通信不同传递机理对比	9
表 7: 量子通信相对经典通信主要特点对比	12
表 8: 量子保密通信“京沪干线”技术验证及应用示范项目招投标情况一览表	21
表 9: 国内量子通信市场规模预测	23
表 10: 量子信息相关标的一览表	23

1. 信息安全备受各国广泛关注

1.1. 信息泄露事件频发，网络安全形势日益严峻

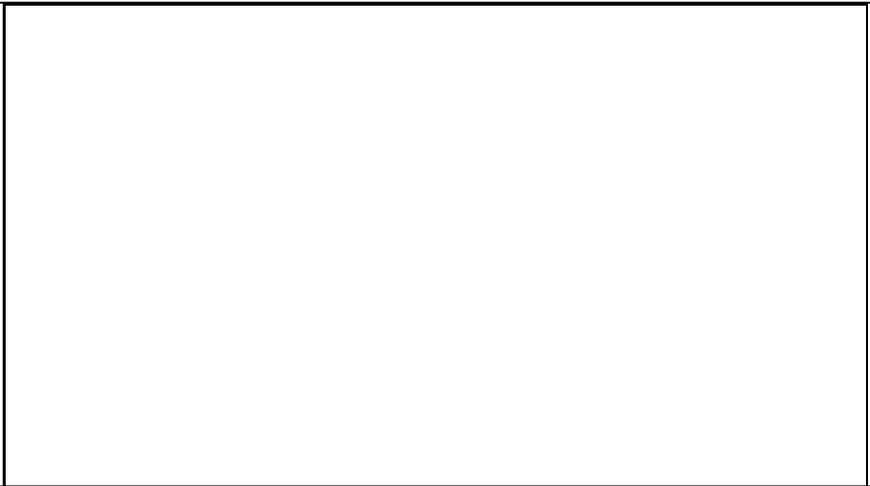
人们对于 2013 年的“斯诺登事件”似乎仍有印象。如果不是这位 29 岁的少年，美国民众不会知道美国国安局代号为“棱镜”的秘密项目，更不会知道他们的电话、邮件都受到政府的监控。遭窃听的不仅是美国民众，据斯诺登透露，全球约 35 个国家和地区领导人的电话也都被监听。

“棱镜门”事件的曝光，给人们敲响了警钟，信息安全像窗户纸一样脆弱，似乎再保密的通话也会被情报人员监听。信息的保密强烈依赖密码系统，现代的加密和解密算法由于其计算的高度复杂性，能够确保窃听者在没有密钥的情况下，在有限的时间内无法完成破解所需的计算，从而来保证通信的安全。

目前最为广泛应用的密码体制是 1977 年由 Ron Rivest、Adi Shamir 和 Leonard Adleman 一起提出的公钥加密算法，算法基于一个十分简单的数论事实：两个大素数相乘十分容易，但是想要对其乘积进行因式分解却极其困难，因此可以将乘积公开作为加密密钥。然而人们并没有完全证明破译的运算量是现有技术所无法完成的，例如，1977 年，美国给出一道数学难题，其解密需要将一个 129 位数分解成一个 64 位和一个 65 位素数的乘积，以当时的计算机需要用 4046 年，但到 1994 年，只需用 8 个月即能解出。为提高保密强度，密钥至少为 500 位长，一般推荐使用 1024 位，这就使加密的计算量变的很大。

在分布式计算和量子计算机理论日趋成熟的今天，加密安全性更是受到了极大挑战。早在 1994 年，Peter Shor 就发明了一个量子算法（Shor 算法），它展示了一个足够大的量子计算机，在理论上是能够把质因数分解的时间复杂性降到多项式的时间。如果能把解密复杂度变成多项式的时间，那么基于任何模型下的大数，都能够很“轻易”地被破解。因此加密在理论上已不再安全，公钥体系面临崩溃。

图 1: D-Wave 公司生产的量子计算机



数据来源：互联网，东北证券

1.2. 国内外政府出台多个政策促进信息安全产业发展

产业政策是政府扶持一个产业发展的重要手段。国际上信息安全产业相关政策种类涵盖网络安全相关立法、国家网络安全战略及各关键领域行动计划，具体措施包括：扩大政企合作、加大资金投入等。

随着我国网络与信息安全工作的重要性不断提升，信息安全产业发展成为近年来政策扶持的重要领域，我国政府明确要求安全与发展同步建设，扶持中小安全企业创新成长，推动安全产业发展。

表 1: 各国政府出台信息安全相关政策一览表

国家	政策或措施
美国	<p>《提升关键基础设施网络安全行政命令》要求美国联邦政府部门与其安全供应商之间维持良好的信息共享机制;</p> <p>《2014 年国家网络安全保护法》奠定联邦政府和私营机构网络安全威胁信息共享的法理基础;</p> <p>《2014 联邦网络安全研究和发展纲要》明确私营部门在联邦网络安全研究和发展计划中的作用, 继续加强网络安全保护政企合作;</p> <p>《2015 年网络安全战略》强调政府与私营部门, 尤其是 IT 企业合作的主旨不变。</p>
以色列	<p>将“确保本国人民具备应对各类网络安全威胁的能力”作为国家网络战略的核心, 将建设网络安全“欧洲主要技术中心”作为技术聚集区的主要建设目标;</p> <p>2013 年推行了培养青少年网络精英的新国家法案;</p> <p>2014 年, 以色列推出了面向高新区网络安全企业的税收减免措施。</p>
英国	<p>《2011 年英国网络安全战略》在继续高度重视网络安全基础上进一步提出了切实可行的计划和方案。</p>
日本	<p>《2013 年网络安全战略》将“积极参与国际标准制定, 建立工业控制系统评估和认证机制, 要求政府部门采购采用尖端技术的产品, 实现国内信息安全市场规模翻倍、信息安全人才缺口减半”确立为促进产业发展的主要方向。</p>
澳大利亚	<p>在公布的《网络安全战略》中, 将“企业-政府伙伴关系”列为重点战略措施, 鼓励政府与企业共同促进关键基础设施、网络、产品和服务领域的安全和恢复力。</p>
中国	<p>国务院发布的《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》将“完善互联网融合法律法规和标准规范, 增强安全意识, 强化安全管理和防护, 保障网络安全”作为“互联网+”行动原则之一;</p> <p>《加强电信和互联网行业网络安全工作的指导意见》提出八大工作重点。对网络基础设施和业务系统安全防护、推进安全可控关键软硬件应用、网络数据和用户个人信息保护等做出强调;</p> <p>《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》将新一代信息技术产业列为国家战略性新兴产业, 提出加快信息安全是关键。</p>

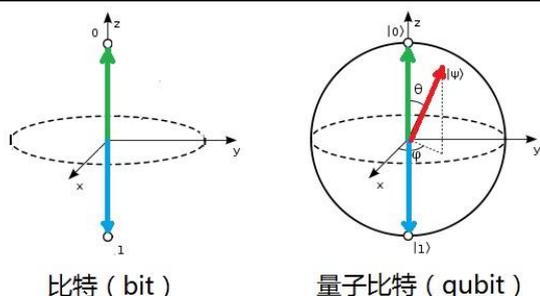
资料来源: 互联网, 东北证券

2. 量子通信: 绝对安全的通信方式

2.1. 什么是量子通信

量子通信是量子物理学和密码学相结合的一门新兴学科, 利用量子态的物理性质为通信双方提供绝对安全的通信方式。量子保密通信从量子力学不确定性原理和量子态不可克隆定理出发, 最强大和特别之处在于使得通信双方能够检测到窃听者的存在并采取相应的措施。这一特性是由量子物理的基本原理所保证的, 即观察或者测量一个量子系统均会造成量子态的扰动, 从而造成可以检测的反常, 提醒通信双方泄密。量子通信作为目前最安全的信息传输方式, 引发了全球研究的热潮。

图 2: 经典比特与量子比特



数据来源: 互联网, 东北证券

2.2. 量子通信技术的发展历程

从 20 世纪 90 年代至今，量子通信技术在欧美等国家紧锣密鼓竞相研发。目前，量子通信已逐步由理论走向实验，并加快朝着产业化方向发展。在发达国家，特别是美国、日本、欧洲等国都纷纷投入大量人力、物力、财力，积极投入到对量子通信的研究，踊跃推广量子通信技术的应用。

目前量子通信技术走在前列的主要有美国、欧洲和中国。研究成果方面，欧洲领先于美国，欧洲两位率先发表量子隐形传态研究论文的物理学家 Anton Zeilinger 和 Nicolas Gisin 被认为是诺贝尔物理学奖的热门人选。而在量子通信的应用方面，中国则走在了世界的前列，中国率先建立了多个城际量子干线网，并将发射全球第一颗量子科学试验卫星，首次实现卫星和地面间量子通信。

2.2.1. 量子通信技术在美的发展

20 世纪末，美国政府和科技界便已将量子信息列为“保持国家竞争力”计划的重点支持课题，而隶属于政府的美国国家标准与技术研究所（NIST）则更将量子信息作为其自身三个重点研究方向之一。美国加州理工大学、麻省理工学院和南加州大学联合成立了量子信息与计算研究所。

表 2: 美国量子通信发展历程

时间	重要事件
1984	美国的 Bennett 和加拿大的 Brassard 共同提出了第一个量子密码通信方案，即 BB84 方案，标志着量子通信领域的诞生。
1992	Bennett 提出了简化的 BB84 方案（称为 B92 方案），并第一次在实验上原理性演示了量子密钥分发。此后，量子密码分配开始得到广泛关注。
1994	美国国防高级研究计划局即开始致力于用 3-5 年的时间全面推进量子通信技术方面的研究，而且已通过军队实施了相应方式的向战场和向全球传输报文能力的量子通信计划。
1999	美国洛斯·阿拉莫斯国家实验室量子信息小组又进一步实现了 500 米的自由空间传输。
2003	美国国防部高级研究计划署领衔建设了 DARPA 量子通信技术试验网络。
2004	美国马萨诸塞州剑桥城正式投入运行了世界上第一个量子密码通信网络，主要通过普通光纤来传输采用量子密码术加密的数据，网络传输距离约为 10 千米。
2006	美国洛斯·阿拉莫斯国家实验室继而再次成功地实现了一项诱骗态方案，同时实现了超过 100 千米的量子保密通信实验。
2007	美国科学家的一项集体合作研究，让相距一米的离子阱中的两个独立原子实现了量子纠缠和远距离量子通信。
2009	美国政府发布的信息科学白皮书明确要求各科研机构能协调开展量子信息技术研究。当年美国 DARPA 及时建成了城域量子通信演示网。美国麻省理工学院科学家在冷原子中量子存储和波动研究领域有了新突破，此套技术恰恰是设计量子信息网络的关键，因而使整个研究向未来广域量子通信网络的最终实现迈出了重要的一步。
2010	美国国家标准与技术研究所、美国洛斯·阿拉莫斯国家实验室都分别对量子源产出的近红外单光子转换、量子局域网的密码体系以及自由空间量子密码等开展了深入研究，有些器件已被安装到美国白宫和五角大楼的量子通信系统，投入初期使用。
2013	美国独立研究机构 Battelle 公布了环美量子通信骨干网络项目，该项目计划为谷歌、微软、亚马逊等互联网巨头的数据中心之间的通信提供量子安全保障服务。
2015	美国航空航天局（NASA）计划在其总部与喷气推进实验室（JPL）之间建立一个远距离光纤量子通信干线，该干线的直线距离 600 千米、光纤皮长 1000 千米左右、拥有 10 个中转基站，并计划将其拓展到星地量子通信。

资料来源：互联网，东北证券

2.2.2. 量子通信技术在欧洲的发展

欧盟在其“欧洲研究与发展框架规划”中也提出了用于发展量子信息技术的“欧洲量子科学技术”及“欧洲量子信息处理与通信”计划。为此，欧洲专门成立了包括英国、法国、瑞士、意大利、奥地利和西班牙等国在内的量子信息物理学研究网，这是继欧洲核子中心和航天技术国际合作之后，又一针对科技重大而复杂问题的大规模国际合作，主要用于研究量子通信、量子计算和量子信息科学。

表 3: 欧洲量子通信发展历程

时间	重要事件
1993	英国国防研究部在光纤中实现了基于 BB84 协议的相位编码量子密钥分发，光纤传输长度为 1 千米。同年，瑞士日内瓦大学用基于 BB84 协议的偏振编码方案，亦取得了在光纤中传输光子的极佳效果。
1995	瑞士日内瓦大学用一对三的网络量子密码做通信演示实验和在光通信光缆中进行实地表演，都得到了颇为理想的科研业绩。该年英国更是成功实现了 30 千米长的光纤传输中量子密钥分发。
1997	瑞士日内瓦大学利用特殊镜体消除了光纤中的双折射等影响因素，使得系统的稳定性和使用的方便性大大提高，此成果以致被称为“即插即用”的量子密码方案。
1999	整个欧盟愈加集中国家力量致力于量子通信的研究，各种研究项目多达 12 个。同年，瑞典科学家与日本学者合作，在光纤中成功地进行了 40 千米的量子密码通信实验。
2002	德国慕尼黑大学与英国军方下属的研究机构合作，在相距 23.4 千米的两山峰间用激光成功地传输了光子密钥。
2003	瑞士日内瓦 ID Quantique 公司和美国纽约神奇量子科技公司明确地发布了一项可以传送量子密钥的商品公告。
2004	瑞士日内瓦因特网服务供给商 Deckpoint 与 ID Quantique 两家公司共同展示的网络，可以将日内瓦内的多个服务器数据备份到 10 千米之外的信息站台，并通过量子加密网络，使其能频繁地发送新密钥。
2006	欧洲慕尼黑大学—维也纳大学联合研究小组不但成功地实现了诱骗态方案，同时还实现了超过 100 千米的量子保密通信实验。
2007	由奥地利、英国、德国等国研究人员组成的小组，在量子通信研究中更是通过了通信距离达 144 千米的最远纪录。
2008	意大利和奥地利的科学家小组终于首次识别出从地球上空 1500 千米处的人造卫星上反弹回地球的单批光子，实现了在太空绝密传输量子信息的重大突破。欧盟趁机发布了一份关于量子密码的商业白皮书，准备正式启动量子通信技术标准化研究，并联合来自 12 个欧盟国家的 41 个最优秀的量子信息研究团体迅速成立了“基于密码的安全通信”工程统一组织。
2011	英国科学家凭借着足够的研究事实证明，量子点和经典数据流能在传统的光纤网络内交织在一起，即意味着量子密钥分配能与传统的数据通道一起工作，为下一步量子互联网的全面建成铺平了前进道路。
2013	英国政府发布为期 5 年的量子信息技术专项，投入 2.7 亿英镑用于量子通信和量子计算等方面的研究成果转化为新应用和新产业。
2015	欧盟发布量子安全白皮书，同年年底，欧盟再次采取大规模国际合作，推出用于发展量子信息技术的，欧洲“量子科学技术计划”和《欧洲量子信息处理与通信》计划；全球领先的云环境灾难恢复及数据保护解决方案提供商 Acronics 和 ID Quantique 签署战略合作协议，将向 Acronics 的客户共同提供云计算量子加密服务。
2016	欧盟批准了 10 亿欧元的量子研究基金并计划于 2018 年启动该项目，以促进包括安全通讯网络和通用量子计算机等在内的多项量子技术的发展。
	荷兰第一大电信公司，荷兰皇家 KPN 电信集团宣布在借助 IDQ 帮助，其海牙和鹿特丹的数据中心实施了基于量子密钥分发的加密方案。

资料来源：互联网，东北证券

2.2.3. 量子通信技术在的发展

在量子保密通信这场国际化竞争中，我国尽管属于后来者，但起点高，进展快，在应用研究的多个方面已经达到了世界先进水平，特别在城域量子通信关键技术方

面，已经达到了产业化要求，处于世界领先水平。

表 4: 中国量子通信发展历程

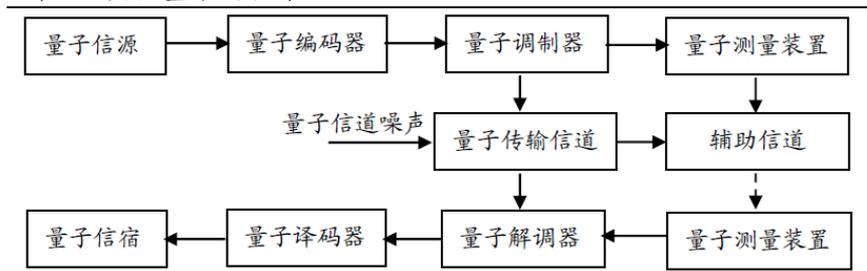
时间	重要事件
1995	中国科学院物理研究所在国内首次实现了基于 BB84 协议的量子通信演示实验。
2000	中国科学院物理研究所完成了工作波长为 850nm 的全光纤 QKD 实验系统。
2005	中国科技大学郭光灿研究团队在北京和天津之间实现了通信距离为 125km 的光纤 QKD 通信系统的实验,使我国在量子通信实用化上取得了突破。
2007	我国潘建伟研究小组、美国洛斯阿拉莫斯国家实验室、欧洲慕尼黑大学-维也纳大学联合小组各自分别独立实现了诱骗态方案，实现了诱骗态 QKD 实验，通信距离超过 100km。
2009	潘建伟小组又将 QKD 实验的通信距离扩大到 200km。中国科大郭光灿小组在安徽省芜湖市建成了“量子政务网”。
2010	中国科技大学和清华大学研究人员合作将在自由空间进行传输的 QKD 系统传输距离由以前的几十米扩大到 16km，推动了 QKD 方案在自由空间的传输实用化的进程。
2011	中国科学院战略性先导科技专项之一“量子科学实验卫星”启动。主要目的是开展卫星与地面之间绝对安全的高速量子密钥分发实验，通过高精度的捕获和跟瞄系统，建立超远距离的量子信道，并在此基础上进行广域量子通信网络的演示，这将是国际上首次星地间量子通信实验。
2012	基于潘建伟小组的研究成果,世界上规模最大的 46 节点的量子通信试验网在安徽省合肥市建成，标志着大容量的量子通信网络技术已经取得了关键突破。
	中国科学技术大学研究团队将远程量子密钥分发系统的安全距离扩展至 200km，并将成码率提高了 3 个数量级，创下新的世界记录。
2014	世界第一条量子信息保密干线——“京沪干线”量子通信工程开工建设，总长度达 2000 公里，建设连接北京、上海的高可信、可扩展、军民融合的广域光纤量子通信网络。 济南市建设的“济南量子通信试验网”正式投入使用。这是我国第一个以承载实际应用为目标的大型量子通信网，也是世界上已知的规模最大、功能最全的量子通信试验网。 世界首颗“量子科学实验卫星”完成了关键部件的研制与交付。
2015	中国科学技术大学科研人员在量子领域研究获得重要进展，在国际上首次成功实现多自由度量子体系的隐形传态。
2016	首颗量子科学实验卫星将在 2016 年 8 月择机发射，将首次实现卫星和地面间量子通信，初步构建我国广域量子通信系统，并推动量子通信在广域网无线加密中的发展。

资料来源：互联网，东北证券

2.3. 量子通信系统架构与关键技术分析

一个典型的量子通信系统包括量子信源，量子信道和量子信宿三个主要部分。量子信源产生消息并发送出去；量子调制将原始消息转换成量子态形式，产生量子信号；量子信宿是消息的接收者，量子解调将量子态的消息恢复成原始消息；其余都属于量子信道范畴。另外通常还有辅助信道，是指除了传输信道以外的附加信道，如经典信道，主要用于密钥协商。

图 3: 典型量子通信系统



数据来源：互联网，东北证券

表 5: 量子通信系统结构与作用

结构	作用
量子信源	将要传输的信息转化成量子比特流
量子编码器	对量子比特流进行编码, 进行数据压缩或加入纠错码对抗噪声
量子调制器	使量子信号的特性与信道特性匹配
量子解调器	通过量子操作得到调制前的量子信息
量子传输信道	传送量子信号
辅助信道	经典信道及其它附加信道
量子信道噪声	环境对量子信号的影响
量子译码器	把量子比特转化成经典信息
量子信宿	量子信息接收方

资料来源: 东北证券

根据信息传递机理分, 量子通信技术分基于单光子信道的量子通信和基于光子纠缠对的量子通信。

表 6: 量子通信不同传递机理对比

	基于单光子信道的量子通信	基于光子纠缠对的量子通信
机理	与经典通信相同	利用粒子纠缠特性脱离实物的隐形传递机制
信息载体	单光子	纠缠光子对
传递信道	光纤、自由空间光 (FSO) 等物理信道	光纤、自由空间
特点	具有经典通信无法提供的严格安全性	信息传递理论上可超光速, 与距离无关, 但由于需要经典信息作测量辅助, 获取信息的速度并未超光速; 具有经典通信无法提供的严格安全性。
应用方式	量子安全直接通信; 量子密钥分发; 量子机密共享	量子隐形传态; 量子纠缠密钥分发

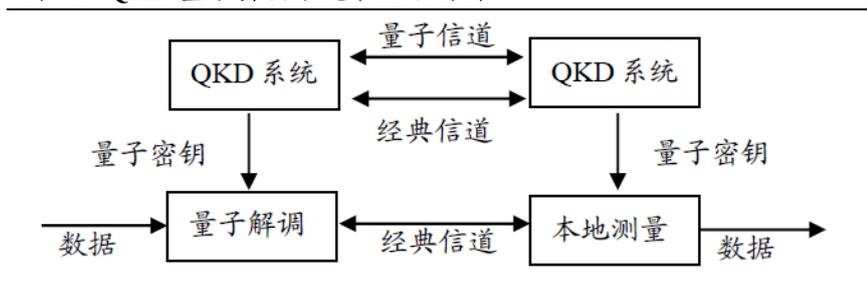
资料来源: 东北证券

根据通信系统工作原理的不同, 量子通信关键技术可分为量子密钥分发(QKD)、量子隐形传态(Quantum Teleportation)、量子安全直接通信(Quantum Secure Direct Communication, QSDC)、量子机密共享(Quantum Secret Sharing, QSS)等。

2.3.1. 量子密钥分发(QKD)

量子密钥分发 (QKD), 即利用量子状态作为信息加密和解密的密钥。量子密钥分配以量子态为信息载体, 基于量子力学的测不准关系和量子不可克隆定理, 通过量子信道使通信收发双方共享密钥, 是密码学与量子力学相结合的产物。QKD 技术在通信中并不传输密文, 只是利用量子信道传输密钥, 将密钥分配到通信双方。其基本通信结构如下:

图 4: QKD 量子密钥分发系统结构图



数据来源: 互联网, 东北证券

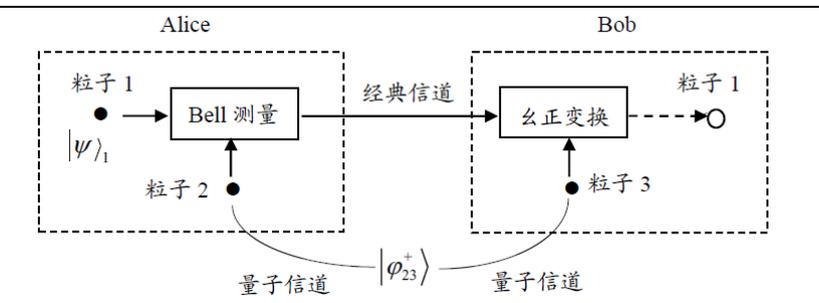
目前，各国学者在理论上已经提出了几十种量子密钥分配方案，根据信号源的不同大致可分为三类：基于单量子的量子密钥分配方案、基于量子纠缠对的量子密钥分配方案和基于单量子与量子纠缠对的混合量子密钥分配方案。

现有的量子密钥分发技术可以实现实验室状态下 200 公里以上的量子通信，再辅以光开关等技术，还可以实现量子密钥分发网络。目前，开始产业化的是量子密钥分配，例如“京沪量子通信干线”、“沪杭量子通信干线”以及陆家嘴量子通信金融网等。

2.3.2. 量子隐形传态

量子隐形传态是量子信息领域的典型应用，又称为量子离物传态或量子远程通信，该理论由 C.H.Bennett 等人于 1993 年提出。与传统的通信方案相比较，量子隐形传态技术是利用量子纠缠理论，通过一对 EPR 纠缠对实现远距离量子信息传输，不需要直接传输量子比特信息而实现量子纠缠态的转移。量子隐形传态理论在实验中得到了成功实现，并成为当前量子通信系统的重要理论基础。其基本结构与原理如下图所示：

图 5: 量子隐形传态技术系统结构图



数据来源：互联网，东北证券

Alice 要将粒子 1 传递给接收者 Bob 需要分别经过经典信道和量子信道两部分的传输过程，其具体步骤如下：

- (1) Alice 在发送端对所持有的粒子 1 和 2 进行联合 Bell 测量，使其坍塌到四个 Bell 基中的一个。Alice 将测量得到的结果通过经典信道传给 Bob。当 Alice 完成测量工作后，Bob 手中的粒子 3 立刻坍塌到所对应的量子态上。
- (2) Bob 根据所接收到结果对手中的粒子 3 的量子态进行相对应的么正变换，得到粒子 1 初始未知态的一个精确备份，完成了未知态的传输。

从量子隐形传态的传输过程可以看出，粒子 1 在 Alice 手中已经遭到破坏，不可能通过通信信道传输到 Bob 处，Bob 只是通过相应的么正操作利用手中已有的粒子 3 实现对未知粒子 1 的再现，而不是对粒子 1 的复制，所以量子隐形传态理论并不违背量子不可克隆定理。

量子隐形传态的工作原理使得需要传输的未知量子态不受到传输信道的影响，并且该系统能够较好的抵御外界窃听或攻击，这使得该理论在量子通信网络中得到了广泛应用，尤其是涉及到量子态的转移、中转等技术上有着很好的应用前景。

2.3.3. 量子安全直接通信(QSDC)

量子安全直接通信是指通信双方以量子态为信息载体，基于量子力学相关原理及量子特性，利用量子信道，在通信收发双方之间安全地、无泄漏地直接传输有效信息，特别是机密信息的通信技术。

QSDC 是量子通信技术的一个重要分支，主要用于直接传输机密信息。通信的收发双方无需事先建立安全密钥，就可以直接通过量子通道进行信息传输。QSDC

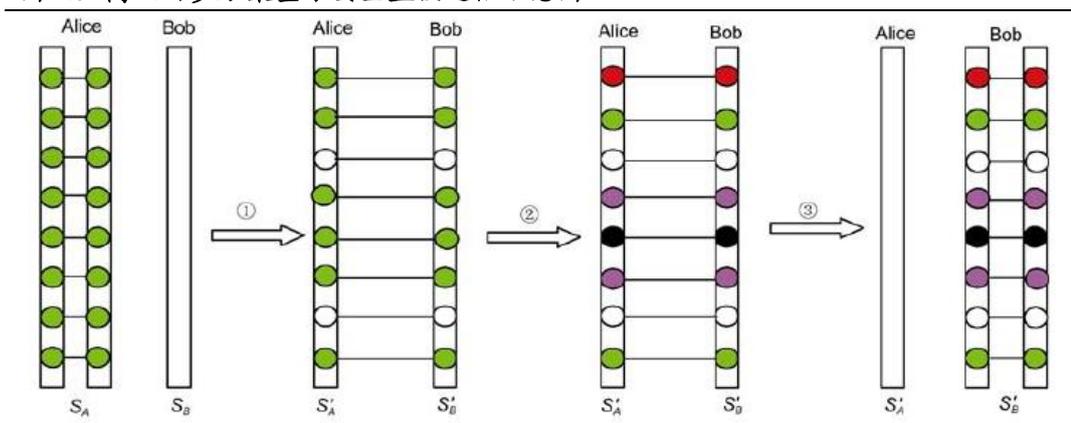
与量子密钥分发的根本区别在于在量子信道中直接传递秘密信息，安全性要求比量子密钥分配高，但总体而言，QSDC 方案还存在非实时及其量子信道信息所需要的纠缠态、量子存储等技术还不成熟的问题。

下面以高效两步方案为例说明 QSDC 的原理：

在高效两步方案中，Alice 随机制备 n 个处在某一 Bell 态上的纠缠光子对，并将这个纠缠光子对分成两个序列，从每一纠缠光子对中挑出一个光子 A，组成一个光子序列，而上述每一纠缠光子对中的另一个光子就可以组成另一个光子序列。Alice 先将量子数据块发给信息接收者 Bob。Bob 接收到这个粒子序列后，随机地选择部分粒子进行安全性检测，与 Alice 进行安全分析。在确保第一步通信安全以后，通信双方就建立了一个安全的量子纠缠信道。Alice 将量子数据块发送给 Bob。这样，Bob 就得到了 Alice 的编码纠缠态。对这些纠缠态进行联合的纠缠态测量就可以读出态的信息，从而获取 Alice 加载的信息。通信双方就以安全的方式传输了信息。

高效两步方案中的 ILBED（窃听检测前的信息泄露）是通过对分步传输的量子数据块进行抽样测量来得以避免的。对由 EPR 对中的第一个粒子组成的块进行随机抽样测量后，可以确定该粒子块的安全性，而这些粒子只是纠缠对中的一个粒子组成的，因此不携带粒子对的整体状态，窃听者虽然可以窃听，但是得不到粒子对的状态信息，而窃听者的窃听则造成误码检测中的误码率升高，从而被合法通信双方探测。如果发现窃听，则将终止通信，而此时窃听者由于没有得到整个的粒子对，得不到任何秘密信息，从而就避免了 ILBED。

图 6: 高效两步方案量子安全直接通信示意图



数据来源：互联网，东北证券

2.3.4. 量子机密共享(QSS)

量子机密共享是传统的机密共享在量子通信中的运用和发展，传统的机密共享旨在对重要的密钥进行安全保护，使即便部分或全部密钥被第三方窃取也难以恢复出真实的密钥。其主要实现思路是，将原始密钥分割成多份，然后将多份密钥分别发给多个用户，每个用户都只能获取一份或多份密钥份额，只有在多个密钥分享者合作下，才能恢复出原始的密钥，不能满足上述条件的共享者将无法得到全部的密钥。通过使用机密共享方案，可以在分享机密信息的同时，防止不诚实用户的破坏企图。

量子机密共享是多个通信方之间通过多量子纠缠态实现的量子通信，但现实应用技术难度大，还基本处在理论研究阶段。

2.4. 量子通信主要特点分析

与经典通信方式对比，量子通信的特点主要包括以下三点：

量子通信具有无条件安全性。量子通信技术的信息安全是基于量子密码学，并以量子状态作为密钥而突破了传统加密方法的束缚，明显具有不可窃听、不可复制

性和理论上的“无条件安全性”。任何截获或测试量子密钥的操作，都会改变量子状态，量子通信总会确保两地之间密钥分配和通信的绝对安全性。量子通信对于信息的加密也不再是要依靠传统加密技术所依赖的复杂算法，而是靠物理法则来保证，由此被认为是保障通信安全的终极技术手段。

量子通信具有较强抗干扰能力和传输能力。在信息传输通道方面，量子信息传递过程不会为任何障碍所阻隔，线路时延可以为零，因此能实现最快通信，并且不存在任何电磁辐射污染，整个通信程序完全达到充分环保。在通信远距离方面，量子通信属于远距离通信，量子隐形传态具备穿越大气层的能力，而这就为未来基于卫星量子中继的全球化量子通信网奠定了基础。

量子通信传输效率极高。根据量子力学的叠加原理，一个 n 维量子态含有 2^n 个态信息，而量子并行性使得量子计算机可以同时对 2^n 个数进行数学运算，因此使用量子计算机对 n 维量子态进行传输，效率显著提高。

表 7: 量子通信相对经典通信主要特点对比

	经典通信	量子通信
安全性	受威胁越来越大	无条件安全
抗干扰能力和传输能力	中	较强
传输效率	高	极高

数据来源：东北证券

3. 量子通信产业分析

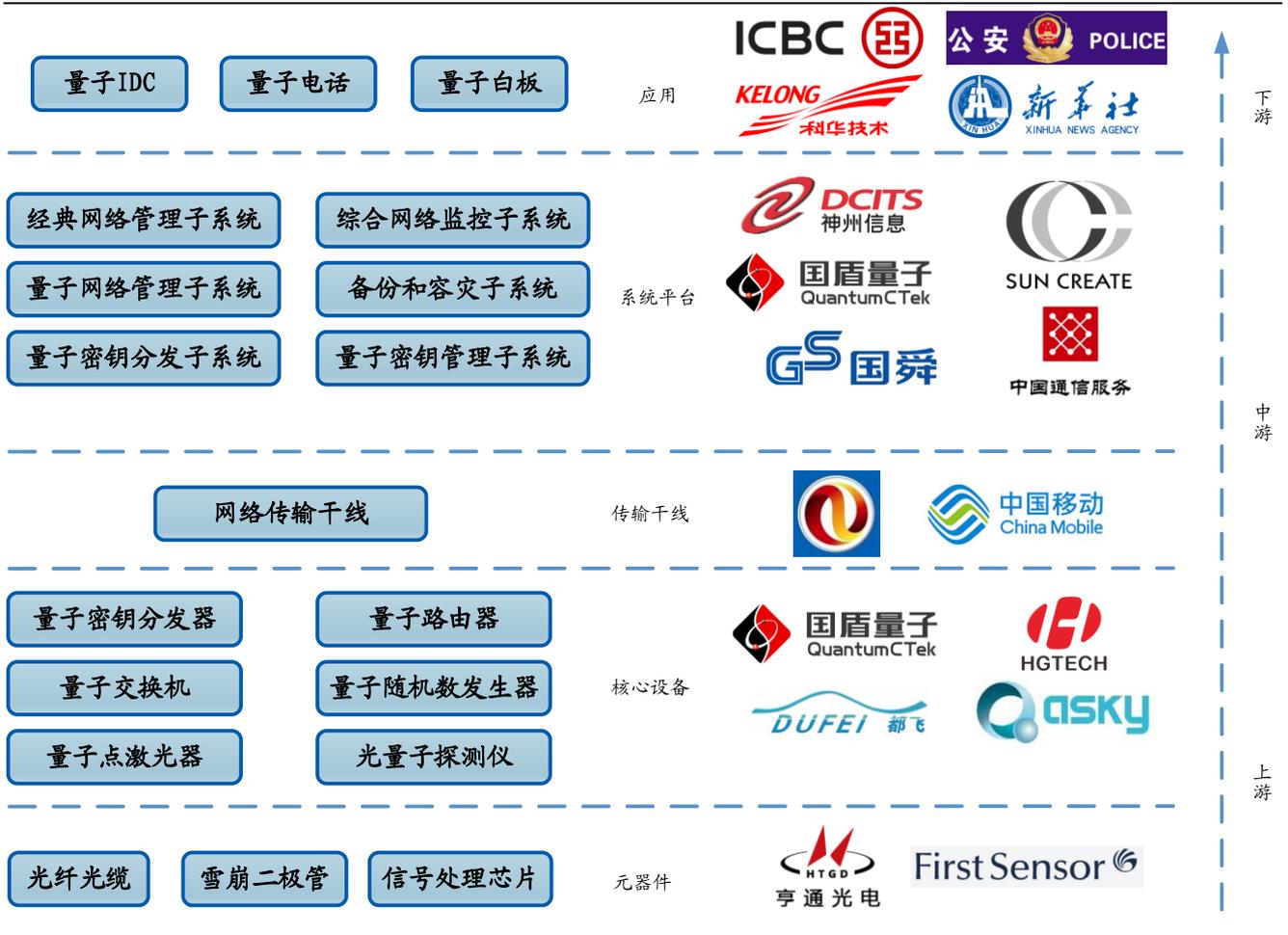
3.1. 量子通信产业链

量子通信产业链上游主要是信号处理芯片、雪崩光电二极管（APD）等元器件及各类核心设备。国内能够提供核心设备的企业并不多，主要包括国盾量子（浙江东方参与出资成立）、问天量子和神州量通（都飞通信控股 51%）。国外厂商主要包括瑞士 IDQ 公司、美国 Bennet 公司等。

量子通信产业链中游主要包括网络传输干线提供商和系统集成商。以量子保密通信“京沪干线”技术验证及应用示范项目为例，提供传输干线服务的公司是中国有线电视网络有线公司，提供系统集成服务的公司包括神州数码系统集成服务有线公司（神州信息子公司）、中国通信建设集团有线公司（中国通服子公司）等。

量子通信产业链下游主要是各种行业应用，如金融、军事、政务、商务等领域。提供的产品包括量子电话、基于量子保密技术的 IDC、量子白板等。

图 7: 量子保密通信产业链



数据来源：东北证券

3.2. 量子通信核心设备

量子通信核心设备是量子保密通信产业链中最核心的一个环节。核心设备主要包括量子密钥分发设备、量子交换机、量子网关、量子网络站控、量子随机数发生器等。

3.2.1. 量子密钥分发设备

量子密钥分配终端（QKD）主要负责量子通信过程中密钥的收发。密钥分配终端根据结构的不同，可以分为收发独立型结构和一体型结构。收发独立型设备是指发送端机和接收端机分为两个独立设备，也称为单向量子密码系统。收发一体型设备包含量子密钥发射端和接收端，也称为双向量子密码系统，组网较为灵活。

量子密钥分发网络密码机，将量子密钥分发技术与传统商用密码技术有效融合，可实现大容量、高性能的网络数据加密传输。相比传统网络安全设备，该产品不仅确保了敏感的密钥分发过程的安全性，而且密钥更新速度更快、业务密钥生命周期更短，从而使系统的安全性得以大幅提升，满足了各种基于网络的应用系统对信息安全的需求。

图 8: 量子密钥分发网络密码机



数据来源: 国盾量子网站, 东北证券

3.2.2. 量子安全网关

量子安全网关是量子通信组网中的核心设备, 是完成量子密钥分发的最基本器件。量子密钥由量子网关通过光纤链路分发。量子网关内部集成有光源、探测器和电子学板卡, 能够实现普通电话、传真、IP 电话、视频会议及文件传输等的应用接入, 对语音、视频、数据等使用量子密钥进行高安全保密通信。按所处区域不同, 量子网关分为可信中继量子网关和普通量子网关。

图 10: 40M 量子网关



数据来源: 国盾量子网站, 东北证券

量子网关主要完成以下功能:

- 量子密钥分发与管理;
- 数据加解密: 加解密算法可根据业务类型、优先级、密钥类型等选择;
- 应用接入: 为普通电话、传真、VOIP 电话、视频会议提供标准接口;
- 网络接口及其他功能。

3.2.3. 量子交换机

量子交换机用于多个 QKD 终端设备间量子信道的搭建, 是量子通信网络中实现量子信道共享的设备, 位于网络拓扑的汇聚节点, 集中管理网络信道资源。光量子交换机按光路切换类型可分为全通型和矩阵型。

全通型量子交换机可以实现所有光端口两两互联, 矩阵型光量子交换机可以实现内外光端口互联。

图 9: 量子密钥分配终端 (一体机)



数据来源: 问天量子网站, 东北证券

图 11: GHz 量子网关



数据来源: 国盾量子网站, 东北证券

图 12: 全通型量子交换机



数据来源: 国盾量子网站, 东北证券

图 13: 矩阵型量子交换机



数据来源: 国盾量子网站, 东北证券

3.2.4. 量子网络站控设备

量子集控站, 由光量子交换机、量子通信服务器和量子密钥分发终端组成。利用多个量子集控站组成多种网络拓扑, 可以提高组网的灵活性和稳定性, 能方便地对量子通信网络进行扩展, 扩大量子通信网络的覆盖面积, 大大扩展通信距离。已建成的“合肥城域量子通信试验示范网”和“济南量子通信试验网”, 都是基于量子集控站实现的多用户量子通信网络。

图 14: 量子网络站控设备



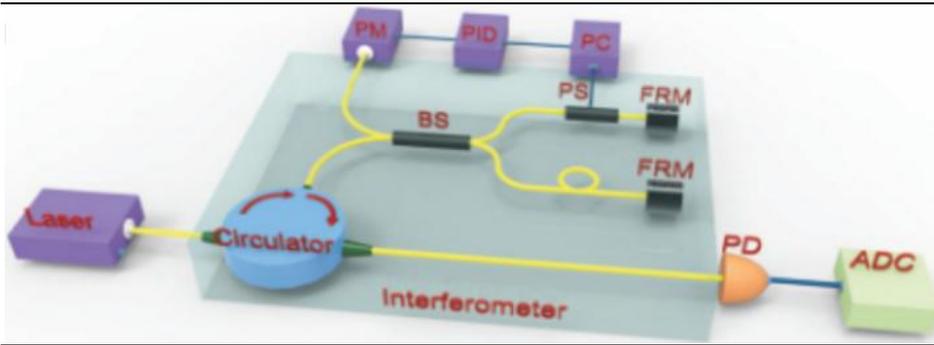
数据来源: 互联网, 东北证券

3.2.5. 量子随机数发生器

量子随机数发生器是基于量子物理和量子效应而产生的真随机数的系统, 在实用化量子密码系统等对随机性质量和安全性要求较高的领域具有重要的应用。比特率是量子随机数发生器最重要的指标。早期的量子随机数发生器利用单光子路径选择方案, 比特率仅为 4Mbps。

实用化量子通信领域一个重要目标是将量子密码系统的工作频率提升至 10GHz, 需要至少 50Gbps 以上的量子随机数发生器对单光子脉冲进行调制编码。在日前举办的“光纤通信 50 年高峰论坛”上, 上海交通大学教授王寿泰透露, 最近, 中国科学技术大学潘建伟、张军等和英国牛津大学的同事合作, 发展了基于激光相位波动的超高速量子随机数产生技术, 利用功率实时反馈等手段, 实现了无需温控的高稳定度干涉仪, 可将半导体激光器中自发辐射光子的量子相位波动信息转化成强度信息, 进行超高速采样。实验实现了 68Gbps 的高速量子随机数发生器, 与此前的最快速率相比, 提高了一个数量级, 成为世界上最快的量子随机数发生器。

图 15: 量子随机数发生器原理图



数据来源: 互联网, 东北证券

4. 量子通信应用场景分析

目前, 量子保密通信运用较为成熟领域有三个, 分别是国防、金融、政务。

4.1. 量子通信在金融行业的应用

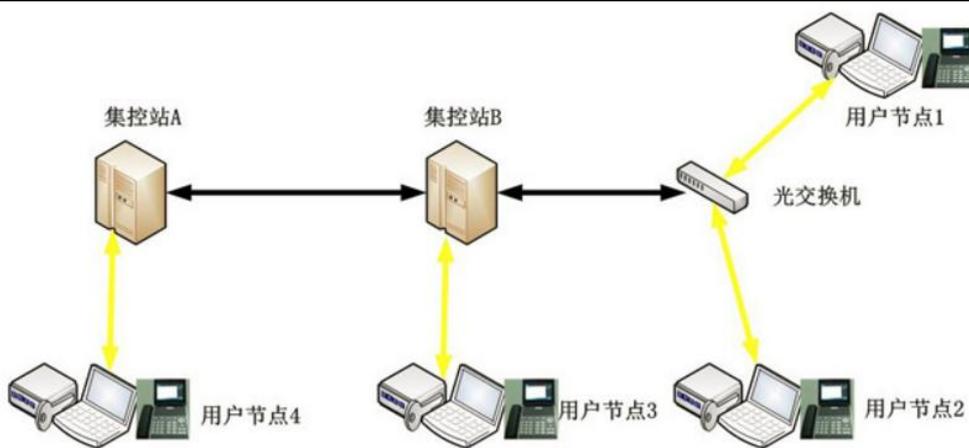
4.1.1. 金融信息量子通信验证网

2011 年上半年, 针对金融信息安全的要求, 新华社和中国科学技术大学合作开展了量子通信技术在金融信息传输方面的研究。2011 年 9 月底, 双方合作建成了连接新华社新闻大厦和新华社信息交易所的“金融信息量子保密通信技术验证专线”, 当年 11 月底, 将该“专线”扩展成为 4 个节点、3 用户的“金融信息量子通信验证网”。

2012 年 2 月 21 日, “金融信息量子通信验证网”在新华社金融信息交易所开通, 标志着量子通信技术首次在金融信息传输领域的应用。

“金融信息量子通信验证网”使用北京联通提供的商用光纤, 线路最长超过 20 公里, 在此网络上的量子密钥成码率达到 10Kbps 以上, 该验证网支持高保密性视频语音通信、实时文字交互和数据传输。高速数据传输的速率达到 300Mbps 以上, 能够满足大多数加密通信应用的需求。

图 16: 金融信息量子通信验证网结构图



数据来源: 互联网, 东北证券

图 17: 金融信息量子通信验证网启动仪式



数据来源: 新华网, 东北证券

图 18: 刘延东体验金融信息量子通信验证网



数据来源: 新华网, 东北证券

4.1.2. 工行试水量子通信

2015 年 2 月 1 日, 中国工商银行成功应用量子通信技术实现了工行北京分行电子档案信息在同城间的加密传输, 标志着量子通信在国内银行业首次成功应用。

据工行内部人士介绍, 为了进一步提升信息安全水平, 工行与中国科学技术大学合作实施了“量子保密通信京沪干线技术验证及应用示范项目”, 目前的应用主要是柜面业务客户信息凭证、信贷审批凭证、信用证等加密传输。预计今年会实现工行在上海的数据中心处理的业务通过“京沪干线”量子通信通道传输到北京数据中心做异地备份。未来工行最核心的数据都会在量子加密信道上传输, 以保证信息的安全性。

图 19: 工行应用量子通信相关报道



数据来源: 央视网, 东北证券

图 20: 应用了量子通信技术的工行 IDC



数据来源: 央视网, 东北证券

据了解, 在银监会的支持下, 除了工商银行外, 民生银行、北京农商行等金融机构都参与了量子通信的改造。

4.2. 量子通信在政务行业的应用

4.2.1. 芜湖量子政务网

2009 年 5 月 18 日, 世界首个量子政务网在安徽芜湖市试运行, 标志着量子通信技术在政务行业的成功应用。

芜湖量子政务网是郭光灿院士和韩正甫教授带领的团队与芜湖市政府合作完成的, 其所使用的核心器件(包括光电调制芯片)都是中科大自主研发或与国内单位联合研制的, 整个网络实现了全部国产化。芜湖量子政务网也标志着我国量子保

密通信产业化迈出关键一步。

据报道，首期建成的芜湖“量子政务网”连接了芜湖市科技局、招商局、经贸局、总工会和质监局等市政机关及芜湖市电信大楼 8 个用户，设置了 4 个全通主网节点和三个子网用户节点以及 1 个用于攻击检测的节点，长 15 公里。

芜湖“量子政务网”传输内容包括文件、音频、动态图像等多种信息。可实现实时语音通信绝对保密，满足召开大范围内的保密视频会议的需要。接收信息用户用量子密钥解密才能获取准确内容，否则获得的是乱码。当攻击节点窃听时，系统会发生“滴滴”报警，用户立即丢弃量子密钥停止传输。

图 21: 实验室博士生介绍文件加密后的不同



数据来源：中广网，东北证券

图 22: 量子政务网关键设备—全通型量子路由器



数据来源：中广网，东北证券

4.2.2. 合肥城域量子通信试验示范网

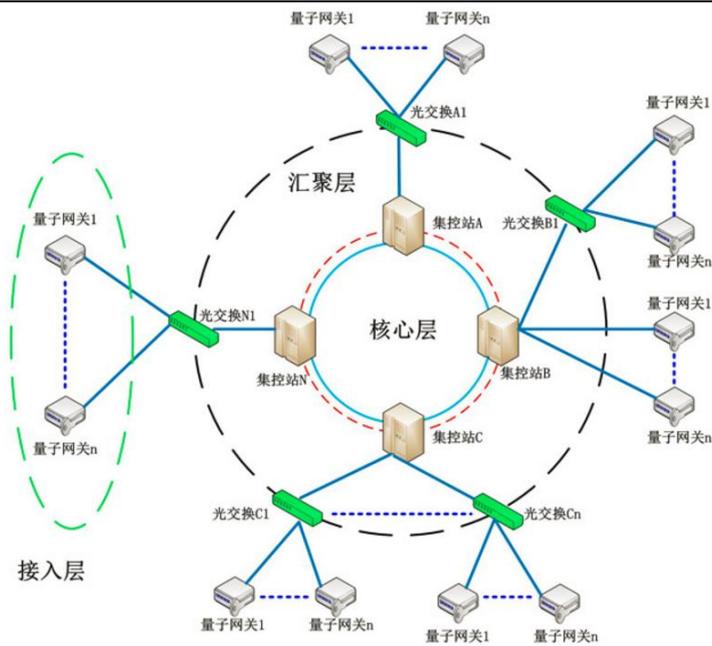
合肥城域量子通信试验示范网于 2010 年 7 月开工实施，2012 年 3 月 30 日成功开通，由中国科学技术大学和安徽量子通信技术有限公司（国盾量子的前身）承建，是世界首个规模化城域量子通信网。

据报道，合肥城域量子通信试验示范网成功搭建了 46 个节点、40 组用户，覆盖合肥市主城区，用户涵盖省市政府机关单位、金融机构、军工企业、科研院所等。这 46 个节点内的用户可以互相通话，但无法拨打其他的电话，其他的电话也无法拨入。

合肥城域量子通信试验示范网具有网络扩容能力，能够提供量子安全下的实时语音通信、实时文本通信及文件传输等功能。

中国科技大学副研究员陈腾云表示，在 40 组用户中，已对其中运行条件较好的 16 组用户加入了视频业务，“量子电话”的电话号码也有些特殊，比如“1006#”、“1036#”等。根据单位的需求，这些号码今后也可修改成普通的七位数号码。量子电话使用的是数字信号，通过加密，将更安全，速度也更快。比如在 2M 的带宽下，传输 1G 的文件需要 7 分钟，但使用这个网络则能快 3000 多倍。未来希望这个技术今后可以运用到城际之间，比如与上海、北京的“量子电话”进行联通。

图 23: 城域量子通信实验示范网结构图



数据来源: 互联网, 东北证券

图 24: 市委书记与合肥市公安局进行量子通话



数据来源: 互联网, 东北证券

图 25: 李克强总理体验量子加密通话



数据来源: 互联网, 东北证券

4.2.3. 济南量子通信试验网

2014年3月26日, 经过两年多的努力, 由山东量子科学技术研究院承建的“济南量子通信试验网”正式投入使用。“济南量子通信试验网”的顺利运行, 标志着量子通信城域网技术已经发展成熟。

“济南量子通信试验网”总投资1.22亿元, 包括三个集控站, 50个用户节点, 28个节点单位, 可以为省内含省直机关事业单位、高校、银行等提供超过90部量子加密的语音电话、传真、文本通信和文件传输业务, 业务接通率达到99%以上。

图 26: 济南量子通信试验网集控中心



数据来源：齐鲁网，东北证券

图 27: 济南量子通信试验网用户分布图



数据来源：齐鲁网，东北证券

下一步“济南量子通信试验网”将与国家 863 项目的中远距离试验床进行对接，并作为“京沪干线”大尺度光纤量子通信骨干网工程的重要接入网络。

4.3. 量子通信在国防行业的应用

利用量子通信技术在军事国防行业进行信息加密传输具有广阔的市场空间。2002 年，美国制定的“十年发展规划”中明确提出，“到 2012 年发展一套可行的带有足够复杂度的量子计算技术”，美国全国科学基金会投资 5000 万美元对量子通信进行研究。目前，美国白宫和五角大楼安装了量子通信系统，并已投入使用。

中国军队在量子通信技术上也并不落后。据《中国简报》报道，中国已经成功利用高功率蓝光激光器实现了自由空间量子信息传输，其传输距离达到 16 公里，证实了利用卫星实现远距离量子通信的可行性。据介绍，中国军队利用蓝色激光进行传输实验，美国则是利用红外线。蓝色激光和红外线在传输距离和强度上各有优劣，主要区别在于蓝色激光在水中的穿透性更强，可广泛应用于水下通信。

据通信指挥学院通信发展战略研究所所长孟宝宏介绍，量子通信在国防和军事领域具有广阔前景，主要体现在四方面。第一，在现有的军事通信系统网络基础上，可以通过天基平台部署量子通信密钥生成与分发系统，向未来战场覆盖区域内任意两个用户分发量子密钥，从而构成作战区域内机动的安全军事通信网络。第二，由于光量子密码具有“不可破”和“窃听可知性”，且光量子加密设备可与现在的光纤通信设备融合。因此，可以用来改进目前军用光网信息传输保密性，从而提高信息保护和信息对抗能力。第三，岸基与深海之间的通信一直是世界性难题。利用长波通信，不仅系统庞大、造价高、抗毁性差，而且仅能实现海水下百米左右的通信。由于量子通信光子隐形传态与传播媒质无关，这就为远洋深海安全通信开辟了一条崭新的途径。第四，军事信息网络需要大容量、高速率传输处理及按需共享能力。随着量子通信技术的研发突破和日趋成熟，可以利用量子隐形传态以及超大信道容量、超高通信速率和信息高效率等特点，建立满足军事特殊需求的超光速军事信息网络。

2009 年，在 60 周年国庆阅兵期间，潘建伟团队在天安门城楼、中南海、国庆阅兵指挥部等关键地点之间构建了实时语音加密“量子通信热线”，用于保障重要信息传送。

2012 年 11 月，在党的“十八大”期间，根据会务组的安排，在部分核心部位部署量子通信系统，为会议提供基于量子技术的安全通信保障。潘建伟团队成功部署了与会代表信息数据库实时高速同步、音视频密话指挥网络系统。在会议期间，该系统成功实现了 7×24 小时零故障运行，并被安排在现场长期部署使用。

4.4. 量子通信广域网（京沪干线、杭沪干线）

量子保密通信“京沪干线”总体目标是建成连接北京、上海，贯穿济南、合肥等地的量子保密通信骨干线路，连接各地城域接入网络，打造广域光纤量子通信网络，建成大尺度量子通信技术验证、应用研究和应用示范平台。项目实施分为三个阶段，第一阶段为技术验证和分系统联试阶段，第二阶段为室内联试阶段，第三阶段为工程建设的应用示范阶段。

图 28: 量子保密通信“京沪干线”路线图



数据来源：互联网，东北证券

据潘建伟介绍，京沪干线将于今年下半年开通。目前已有多个公司参与到“京沪干线”的建设当中。

表 8: 量子保密通信“京沪干线”技术验证及应用示范项目招投标情况一览表

招标日期	招标内容	中标情况
2013/10/11	京沪干线 初步设计	第一中标候选人：中国电子工程设计院 第二中标候选人：北京中瑞电子系统工程设计院 第三中标候选人：北京华咨工程设计公司
2014/5/16	京沪干线 通信线路资源采购 ： 第一段：北京接入网光缆线路、中继机房资源采购及技术服务； 第二段：上海接入网光缆线路、中继机房资源采购及技术服务； 第二段：北京至上海主干光缆沿线 20 个通信保密局站与高速主干光缆间一次性连接光缆线路资源采购及技术服务。	中国有线电视网络有限公司
2014/6/27	京沪干线 连接卫星北京地面站光纤线路租用及技术服务 ： 实现量子通信“京沪干线”与量子科学卫星网络的对接，需要租赁 240km 左右的本地网光纤和 3 个中继机房建设卫星地面站，租期三年。	未公布招标结果
2014/7/2	京沪干线 新华社应用示范系统产品集成 和安全服务，包括供货、安装、调试、安全测试、培训等。	第一名： 北京国舜科技有限公司 (834698.OC) 第二名：网神信息技术股份有限公司 第三名：北京知道创宇信息技术有限公司
2014/7/2	京沪干线 银行业应用示范系统 软件开发、产品集成和安全服务，包括系统设计、开发、供货、安装、调试、安	第一名： 北京国舜科技有限公司 (834698.OC) 第二名：网神信息技术股份有限公司

	全测试、培训等。	第三名：北京知道创宇信息技术有限公司
2014/11/19	京沪干线 室内联调系统 ：搭建最简单室内系统，完成“京沪干线”功能验证、性能检测和应用测试。联调系统由干线最简量子测试系统、应用系统和联试平台组成。	第一名：神州数码系统集成服务有限公司（ 神州信息 000555.SZ ） 第二名：北京方法科技发展有限公司 第三名：中国通信建设集团有限公司
2015/10/13	京沪干线 广电应用研究系统集成 ：包括建设数据承载网系统和项目量子加密流媒体点播、量子加密高清视频通信及视频会议系统。	北京网动网络科技股份有限公司
2015/11/30	京沪干线 主干网络量子系统建设 集成： 第1包：传输系统，包括数据传输系统及网管系统； 第2包：平台系统； 第3包：量子密钥分发扩容系统（京冀鲁段）；第4包：量子密钥分发扩容系统（苏皖段）； 第5包：量子密钥分发扩容系统（苏浙段）。	第1包中标候选人：中国通信建设集团有限公司（ 中国通信服务 00552.HK ） 第2包中标候选人：神州数码系统集成服务有限公司（ 神州信息 000555.SZ ） 第3包中标候选人：神州数码系统集成服务有限公司（ 神州信息 000555.SZ ） 第4包中标候选人：安徽四创电子股份有限公司（ 四创电子 600990.SH ） 第5包中标候选人：中国通信建设集团有限公司（ 中国通信服务 00552.HK ）
2016/4/6	京沪干线 工程监理服务 ： 对量子保密通信“京沪干线”的室内联调、实施阶段、调试阶段、分阶段测试、分段验收及总体验收、试运行期、保修服务阶段的全过程监理服务。	第一中标候选人：北京诚公通信工程监理股份有限公司 第二中标候选人：安徽博达通信工程监理有限责任公司 第三中标候选人：北京市驰跃翔工程监理有限责任公司
2016/4/26	京沪干线 详细设计服务 ： 为“京沪干线”32个站点的传输系统、平台系统、量子密钥分发扩容系统的施工图设计及总概（预）算编制说明及概（预）算总表及附录。 本项目所涉及的光纤信道（经典信道、量子信道）和平台环境（机房、供电、空调）均由招标方提供，采用中国有线的网络资源。	第一中标候选人：中国通信建设集团设计院（ 中国通信服务 00552.HK ） 第二中标候选人：北京中网华通设计咨询有限公司 第三中标候选人：北京华麟通信科技股份有限公司
2016/5/10	京沪干线 系统安全等级和风险评估服务 ，按照《信息安全等级保护管理办法》、《关于信息安全等级保护工作的实施意见》进行评估。	第一中标候选人：工业和信息化部电子工业标准化研究院 第二中标候选人：国家信息技术安全研究中心 第三中标候选人：中国移动通信有限公司研究院

数据来源：东北证券

另据报道，神州量通（都飞通信 837638.OC 持股 51%）将投入 1.7 亿元，建设“杭沪量子商用干线”，该项目全长 280 公里，是国内首条量子通信商用干线，设立杭州、乌镇、上海等六个中继和接入站点。建成后可实现沪杭区域内的政府、企业、金融机构等通信数据的绝密传输。目前神州量通已与杭州 90 余家银行展开相关项目合作。

5. 量子通信市场空间广阔，但依然任重道远

根据中投顾问的预测，国内量子通信短期市场规模在 100-130 亿元左右，长期市场规模将超过千亿。

表 9: 国内量子通信市场规模预测

	短期市场规模 (3-5年)	长期市场规模 (5-10年)
专网领域量子通信市场	35 亿元-45 亿元	300 亿元左右
公众网领域量子通信市场	50 亿元-60 亿元	600 亿元左右
云安全及特殊应用市场	20 亿元-30 亿元	300 亿元左右

资料来源: 中投顾问, 东北证券

从技术角度来看, 量子通信的商用仍面临一些挑战。首先, 量子通信在成码率、稳定性、抗干扰性能还存在一些局限性。在现有条件下, 基于量子密钥分配或量子隐形传态的通信技术很难超越经典通信系统在通信速率、通信距离、抗干扰等方面的性能。现有的光量子传输速率仍达不到光纤传输的。光纤量子密钥分发系统安全码率在 10KM 传输距离下达 1Mbps, 最远传输距离达 300KM。第二, 理想的量子通信协议在现实技术条件下难以实现。就单光子通信而言, 单光子源生成、量子态控制及量子测量等技术并不成熟。第三, 光子损耗及量子退相干问题。在对量子通信过程中, 如何尽量减小光子损耗, 保持量子特性不被破坏, 减少量子退相干效应是目前技术难题。

从产业化角度来看, 目前的量子通信还存在一些亟待解决的问题。首先采用量子通信技术进行数据的传输, 传输成本可能比经典通道传输信息要更高, 如何在提升性能的同时降低成本是一个值得探索的问题。其次, 目前量子通信项目的开展主要以高校、科研院所为主, 是一个小范围游戏, 市场其他设备厂商、集成商参与范围很小, 不利于产品的产业化和推广。第三, 目前国内仍未有量子通信相关标准。需要将目前的技术进行专利化和标准化, 才有利于产业的发展。

6. 量子通信产业投资机会

截至到目前, 已有多家公司提出了量子通信的发展战略, 并有多家公司参与到各地量子通信城域网、京沪干线等项目中。

表 10: 量子信息相关标的一览表

公司名称	合作方式	主要产品
国盾量子 (非上市)	中国第一家从事量子信息技术的企业, 是中国最大的量子通信设备制造商和量子信息系统服务提供商, 是全球广域量子通信网络化和商用服务的实践者和引领者。	量子通信网络设备、终端设备、核心器件、科学仪器, 以及系统性的管控和应用软件。
安徽问天 (非上市)	由芜湖市建设投资有限公司、中国科大共同投资成立, 依托中科院量子信息重点实验室, 我国量子密码标准制订工作组牵头单位。拥有点对点量子密码通信方案、量子密码通信组网技术、量子密码通信核心器件多项国际和国内专利。	量子密钥分配终端、百兆量子安全网关、千兆量子安全网关、百兆红外单光子探测器、光强度涨落仪、量子交换机、量子密码教学实验系统等。
神州信息 (000555)	全资子公司神州数码系统集成服务有限公司, 2014 年 12 月中标京沪干线项目室内联调系统项目, 2015 年 12 月中标京沪干线项目主干网络量子系统建设集成项目。	通信方案的验证及前期室内联调, 跨平台系统集成。
都飞通信 (837638)	子公司浙江神州量子通信技术有限公司 (持股 51%) 主要从事量子通信干线试验、建设、运营等业务。目前正在进行沪杭干线试验网络建设及商业化试验研究, 最快于 2017 年完成商业化运营。	量子通信干线试验、建设、运营。
浙江东方 (600120)	子公司杭州兆富投资合伙企业 (持股 28.22%) 持有神州量子 16.26% 股权, 神州量子子公司神州量通主要从事量子通信干线试验、建设、运营等业务。	量子通信干线试验、建设、运营。

目前正在进行沪杭干线试验网络建设及商业化试验研究，最快于 2017 年完成商业化运营。

三力士 (002224)	<p>2015 年 11 月 26 日，与王增斌团队就推动量子工程军用、民用技术成果双向转移等签署战略合作协议；</p> <p>2016 年 1 月 18 日，与王增斌团队共同出资设立三力士量子科技有限公司(出资占 70%)；</p> <p>2016 年 1 月 18 日，发起设立“三力士量子科技产业基金”公司投入资金不超过 5 亿元；</p> <p>2016 年 5 月 11 日，公司与如般创投共同设立山西三力士量子通信网络有限公司（出资占 60%）；</p> <p>2016 年 6 月 3 日，与山西省太原市民营经济开发区就山西省量子保密通信网络建设项目签订项目合作协议书。</p>	三力士量子科技有限公司拟进行量子通信，单光子通信，量子密钥分发等产业化项目的研究生产，预计于 2017 年 1 月前实现产业化。
四创电子 (600990)	参与京沪干线安徽段系统集成建设和调试相关工作。	量子通信干线系统集成。
中信国安 (000839)	公司合肥有线电视宽带网络有限公司(持股 40%)参与“合肥城域量子通信试验示范网”项目建设。	参与示范网建设。
科华恒盛 (002335)	2016 年 4 月 25 日，公司与国盾量子签署合作备忘录，针对已有和潜在客户就“结合量子通信技术与数据存储的服务”的需求和技术方案进行合作。持有中经云 10% 股权，中经云与国盾量子合资成立中经量通（持股 60%）。中经量通主要从事京沪干线上北京、上海的量子通信数据中心建设。	探索量子通信技术在数据中心领域的应用。
宁波建工 (601789)	参股融美科技（持股 20%），融美科技持有中经云 60% 股权，中经云与国盾量子合资成立中经量通（持股 60%）。中经量通主要从事京沪干线上北京、上海的量子通信数据中心建设。	投资建设量子通信数据中心建设。
华工科技 (000988)	全资子公司华工正源的首席科学家王肇中教授正在研制量子点激光器，用于量子通信系统。	量子点激光器。
中天科技 (600522)	中天科技向中科大上海研究所捐赠量子保密通信技术研究所需光纤光缆及器件。	光纤光缆及器件。
亨通光电 (600487)	2016 年 6 月，与北邮成立“北邮-亨通量子光电子学与弥聚子论联合实验室”，加强在量子光电子学等方面的研究。	探索量子光子学研究。
蓝盾股份 (300297)	2015 年 9 月 1 日，蓝盾信息与华南师大信息光电子科技学院签署了框架协议，共同筹建量子密码技术联合实验室，推动量子密码技术的产业化应用，分步骤推出量子密码网络的通信终端产品和网络节点产品，构建量子密码应用网络，最终为信息安全领域提供量子密码产品的销售和具体应用案例的解决方案。	探索量子密码技术的产业化。
新海宜 (002089)	公司产品采用自组网、量子通信加密等先进技术，并通过总参信息部的认证。	探索量子加密技术在专网中的应用。

数据来源：东北证券

6.1. 基于量子保密通信 IDC 领域投资机会

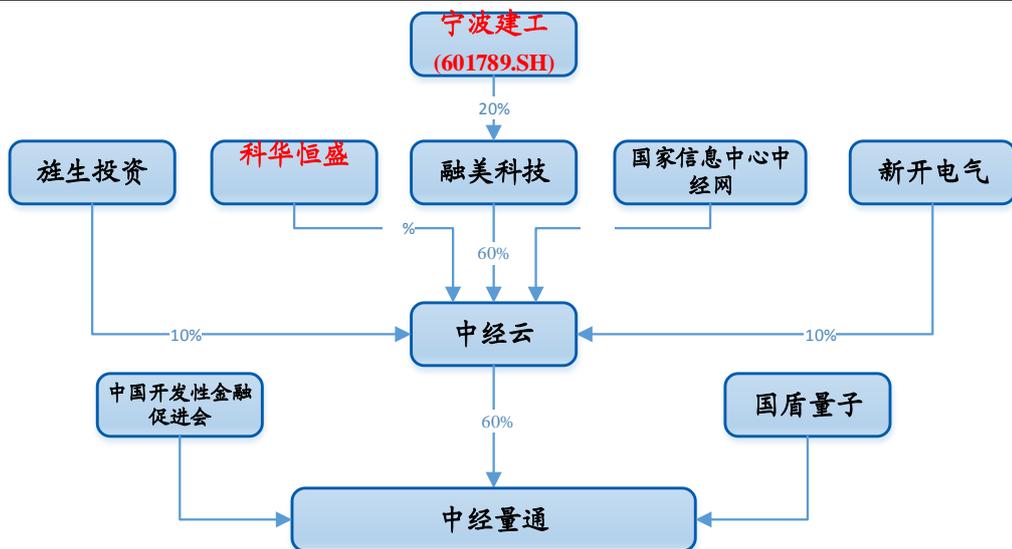
我们认为京沪干线建成之后，IDC 领域是量子保密通信商业应用的一个天然市场。工行 2015 年已经利用量子通信技术，实现了北京数据中心敏感信息的加密传输，未来 IDC 市场将会有更多高安全性、高保密性的需求，而能够提供基于量子保密通信技术的 IDC 将成为稀缺资源。中经云、国盾量子及中国开发性金融促进会共同成立的中经量通正是致力于基于量子保密技术 IDC 的设计、建设、运营服务的公司。与中经量通存在股权关系的上市公司包括科华恒盛和宁波建工。

科华恒盛：公司参股中经量通，与国盾量子合作，将量子加密技术引入到公司

北京、上海地区高品质 IDC 当中，为金融、政府、军队等提供高安全的 IDC 服务。公司目前北京 IDC 机房运营的机柜规模接近 2000 个，上海 IDC 项目规划机柜规模 4000 余个。

宁波建工：公司参股融美科技，融美科技持有中经量通母公司中经云 60% 股权。宁波建工也将参与到高安全 IDC 的建设和运营当中。此外，中经云在北京规划 10000 余个机柜的高品质 IDC 正在筹建之中。

图 29：中经量通科技（北京）有限公司股权图

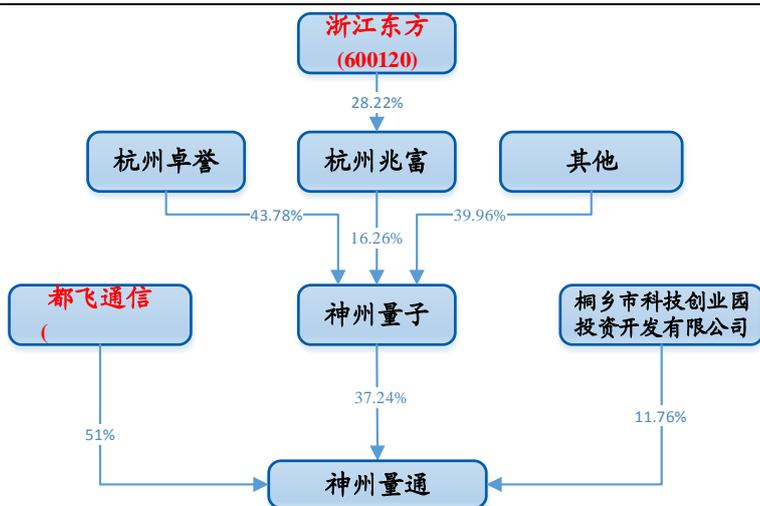


数据来源：东北证券，Wind

6.2. 量子通信干线建设运营投资机会

量子通信干线建设是量子保密技术商业化应用的前提。我们认为除了京沪干线、杭沪干线外，未来 3-5 年，国内会有更多量子通信保密干线的投建需求，为各类应用提供基础资源。浙江神州量子通信技术有限公司是一家主要致力于量子通信干线、网站建设与运营的公司，且承担着沪杭干线的研究、设计、建设和运营的工作。与神州量通存在股权关系的上市公司主要包括都飞通信（新三板）和浙江东方。

图 30：浙江神州量子通信技术有限公司股权图



数据来源：东北证券，Wind

都飞通信：公司持有神州量通 51% 股权，于 6 月 13 日挂牌新三板，公司在获得资金注入后，将转型升级，向量子通信干线试验和推广的方向发展。