

量子通信技术与产业取得明显进展

■文 / 赖俊森 赵文玉（中国信息通信研究院）

网络信息安全形势日益复杂，量子通信作为从物理机制上实现绝对安全的信息传输的新型通信方式，目前已成为全球信息通信行业的关注焦点。其中，能够进行信息直接传输的量子隐形传态技术仍处于实验研究的探索阶段，是量子信息领域基础科研的前沿热点。而以量子密钥分发为核心的量子保密通信技术，能够大幅度提升现有通信技术的信息传输安全性，在政务、金融、外交等领域具有广阔的应用前景，近年来在技术研究、试点应用和产业推广等方面发展迅速。

一、量子通信成为国家科技实力竞争的重要战场之一

上世纪中叶，随着量子力学的创立和发展，人类开始认识和利用电子、光子和原子等微观粒子的独特属性，开启了量子科技革命的第一次浪潮，其中诞生的半导体、激光器和原子能等一系列重大科技突破，为今天信息社会的形成和发展奠定了基础。近年来，随着单量子态调控和原子激光冷却等技术的突破和发展，人类对于微观世界的认识和操控能力进一步提升，量子技术和信息科学相融合的量子科技革命第二次浪潮即将来临。其中以量子通信和量子计算等为代表

的量子信息技术的研究与应用，在未来国家科技竞争、新兴产业培育、国防和经济建设等领域具有重要战略意义。

世界多国量子通信研究与应用的政策支持与项目布局全面展开，竞争态势日益明显。近年来，美国通过“量子信息科学和技术发展规划”等项目，持续支持量子通信和量子计算等前沿研究和应用，每年的研究经费投入达2亿美元。欧盟公布“量子宣言”，投资10亿欧元，支持量子计算、通信、模拟和传感四大领域的研究和应用推广。英国发布“国家量子技术计划”，投资2.7亿英镑支持量子通信、传感、成像和计算四大研发中心。日本成立量子信息和通信研究促进会，计划十年内投资400亿日元，支持量子通信和计算等领域的研发攻关。我国在2016年发布的“十三五”规划纲要中提出着力构建量子通信和泛在安全物联网，并在多项科技与信息产业规划中将量子通信列为战略性新兴产业。同年，科技部设立“量子调控与量子信息”重点专项，部署量子通信和计算等领域的战略性前沿研究。

作为量子信息领域中最接近实用化的技术，近年来量子通信在理论验证、实用化水平提升和新应用场景开发等方面取得了一系列研究成果。以

中科大（中国科学技术大学，下同）为代表的中国研究团队在该领域与世界先进水平基本保持同步，成为推动量子通信技术进步的重要力量。在量子隐形传态的研究探索方面，2015年，荷兰代尔夫特理工大学克服传统实验中的光子探测效率和传输距离漏洞，充分验证了量子纠缠的非定域性。同年，中科大首次完成基于单光子偏振和轨道角动量的多自由度量子隐形传态实验，并于2016年首次完成了30公里城域光纤现网的量子隐形传态实验，成为量子通信研究领域的代表性成果。在量子密钥分发的实用化研究方面，2016年，东芝欧研所报道了光量子态与传统光信号基于波分复用实现共纤传输和对高速信号进行实时加密，提升了量子密钥分发的实用性。2017年，中科大报道了基于新型测量设备无关协议的404公里光纤线路量子密钥分发实验，提升了传输距离极限。同年，英国布里斯托大学和牛津大学还分别报道了基于光子集成电路的芯片化量子密钥收发器和基于空间光的手持式量子密钥终端，为量子密钥分发设备和应用的演进奠定基础。

二、量子保密通信试点应用逐步开展，我国量子卫星占领先机

量子保密通信的高安全性优势受

到世界各国政府和信息通信业界的重视，近年来的试点应用和网络建设项目广泛开展。2015年，美国 Battelle 公司建成俄亥俄至华盛顿 650 公里的量子保密通信光纤线路，并公布连接美国东西海岸的环美量子通信骨干网络建设计划。同年，韩国政府宣布投资电信运营商 SKT 开始分阶段建设覆盖全境的量子通信网络，并逐步在政府和商业网络中采用量子加密技术。2016年，英国量子通信中心开始建设连接布里斯托、伦敦和剑桥三地的量子通信试验网络，意大利也启动了的总长 1700 公里贯穿全境的量子通信骨干网建设项目。

我国面临的信息安全形势日益复杂，在政务、金融和关键基础设施等领域，提高信息安全保障能力的需求更为紧迫，量子保密通信的试点应用呈现出需求牵引、政策驱动、快速发展的特点。2004年，中科大在北京至天津 125 公里现网光纤中完成首次量子密码传输，之后相继在北京、济南、芜湖、合肥与上海等地建立了多个城域量子保密通信实验示范网，新华社金融信息量子保密通信验证专线以及关键部门间的量子通信热线等。2016年，发改委牵头投资的量子保密通信“京沪干线”项目全线贯通，基于 32 个可信中继站点，实现距离超 2000 公里的全球首个广域量子保密通信骨干线路。2017年，量子保密通信“沪杭干线”“宁苏干线”和“武合干线”等一批由地方政府和社会资本参与投资的项目纷纷开始建设，成为我国量子保密通信产业化应用与推广的新动力。

量子通信单跨段最大传输距离为百公里量级，实现长距离传输需要进行中继。目前量子中继技术尚不成熟，

卫星平台因其不受地形地貌限制，信道损耗小，覆盖面广、安全性高等优点，成为在长距离量子通信中进行纠缠分发或密钥中继的理想平台。我国从 2010 年起，由中科院等单位牵头设立相关领域的战略先导专项，相继在北京八达岭和青海湖等地完成多项自由空间量子通信实验验证。2016年 8 月，成功发射全球首颗量子通信科学实验卫星“墨子号”，并报道了多项基于“墨子号”卫星的重要研究成果，典型包括：首次实现 1200 公里纠缠光子分发测量，验证量子力学原理在空间大尺度环境下正确性；首次在 1200 公里低轨卫星和地面站间完成了 1.1kbit/s 安全码率的量子密钥分发，突破了传输距离的极限；首次在星地之间 1400 公里链路完成单光子量子比特隐形传态，为超远距离量子通信组网奠定基础。与同期的德、日、新、加等国的类似实验报道相比，我国在星地量子通信领域的科学研究与工程应用水平处于领先，体现出集中力量办大事的制度优势。

三、量子保密通信产业链初步形成，标准化工作开始启动

随着近年来试点应用和网络建设项目的推进，我国量子保密通信产业初步建立，形成了集技术研究、系统集成、建设运维和安全应用等相应的产业链。以中科院（中国科学院，以下同）及中科大等为代表的研究机构在协议算法研究和核心器件研发及国产化方面取得了大量成果，为保证我国量子保密通信产业在核心技术领域不受制于人奠定坚实基础。国盾量子、问天量子 and 九州量子等系统设备商，具备提供商用化的量子密钥分发系统、组网设备和整体应用解决方案

的能力，在市场和研发能力等方面也进一步增强，成为推动量子保密通信产业发展的重要力量。国科量子、亨通问天量子 and 神州量子等项目建设与运维单位，依托在建和已完成的量子保密通信城域网络和干线项目，为政务、金融和行业专网应用提供信息安全加密服务，并逐步拓展量子安全认证和量子加密终端等新型应用场景与市场。以新华社、工商银行和阿里巴巴等为代表的政企与行业客户，开始采用量子保密通信设备和量子密钥进行专网的信息安全防护，交易数据的加密传输以及数据中心的安全备份等应用。

随着量子保密通信产业的发展，产业链合作与标准化研究等工作也逐步展开。2015 年底，由中科院牵头，联合中科大、科大国盾和阿里巴巴等单位，成立了中国量子通信产业联盟，通过整合研发制造和应用服务等各方的优势资源，共同推进量子信息技术与产业的创新和应用。标准是引导和规范产业发展的重要工具，标准化也是产业发展成熟的必经之路。在全球量子通信技术与产业竞争中，标准制定的话语权对于企业生存和产业发展都至关重要。欧洲电信标准化协会于 2010 年成立量子密钥分发标准组，开始相关标准研究，陆续发布了应用案例、器件接口、安全性证明和光器件特性等七项标准建议。2017 年 6 月，中国通信标准化协会量子通信与信息技术特设任务组成立，下设量子通信工作组和量子信息处理两个工作组，包含 36 家会员单位。特设任务组目前已经立项并开展两项国家标准。一项行业标准和三项研究课题的研究工作，后续将有力支撑我国量子通信技术及产业应用的健康发展。