

# 量子通信技术在电子信息领域的应用与展望

张琪 代惠康 彭钧 王栋 卢羿  
武汉烽火信息集成技术有限公司 湖北 武汉 430205

**摘要:** 量子通信依托量子叠加、纠缠等核心原理,具备绝对安全、抗干扰强等特性,核心技术涵盖量子密钥分发、中继及传输技术。其在电子信息领域广泛应用于安全防护、通信网络及基础设施等场景,国内外已实现骨干网、星地一体网络等布局。当前技术、成本、产业仍存瓶颈,但随着核心器件国产化推进、技术融合深化及场景拓展,未来将突破发展困境,推动电子信息领域安全升级,助力数字经济高质量发展,兼具科研与产业价值。

**关键词:** 量子通信技术; 电子信息领域; 应用; 展望

引言: 在数字经济快速发展的当下,电子信息领域的安全需求与通信效率要求持续提升,传统通信技术在安全性、长距离传输等方面的短板日益凸显。量子通信作为量子力学与通信技术融合的新型技术,凭借物理层面的绝对安全性和高效传输优势,成为破解行业痛点的关键方向。本文立足量子通信核心理论与关键技术,分析其在电子信息领域的核心应用、现存瓶颈,展望未来发展趋势,为技术落地与产业升级提供参考。

## 1 量子通信技术核心理论与关键技术

### 1.1 量子通信技术核心理论基础

(1) 量子力学基本原理: 量子叠加指量子可同时处于多个状态,是量子通信的基础;量子纠缠使两个量子无论距离多远均存在关联,是远距离通信的核心;测不准原理限制了对量子状态的精准测量,保障通信安全;量子不可克隆定理禁止复制未知量子态,从根本上杜绝信息被窃取。(2) 量子通信的核心特性: 绝对安全性源于量子态测量会改变其状态,可及时发现窃听;抗干扰性强,不受电磁等外界干扰影响;高效传输性可实现多量子态并行传输,提升通信效率。

### 1.2 量子通信关键技术体系

(1) 量子密钥分发(QKD)技术: BB84协议是基础协议,利用单光子偏振态编码;诱骗态BB84协议解决光子源缺陷问题,提升安全性;MDI-QKD与TF-QKD协议进一步优化传输距离和抗干扰能力。(2) 量子中继技术: 核心包括量子存储、纠缠交换和纠缠纯化,其中稀土离子掺杂晶体量子存储器是当前主流存储载体,可延长量子态存续时间,突破长距离传输瓶颈。(3) 量子信号传输技术: 光纤传输是当前主流方式,适配现有通信基础设施;卫星中继传输解决光纤长距离损耗问题,实现全球覆盖;经典-量子共纤传输降低基础设施建设成本,推动产业化<sup>[1]</sup>。

### 1.3 量子通信技术与传统通信技术对比

(1) 安全性对比: 量子通信是物理层面安全,依赖量子力学原理,无法被破解;传统通信是数学加密安全,存在被破解风险。(2) 传输效率与距离对比: 传统通信长距离传输存在信号衰减,效率下降;量子通信通过中继技术突破距离瓶颈,传输效率更稳定。(3) 成本与产业化难度对比: 量子通信核心器件稀缺、基础设施建设成本高,产业化难度大;传统通信技术成熟,成本低,产业化程度高。

## 2 量子通信技术在电子信息领域的核心应用

### 2.1 电子信息安全领域应用

(1) 政务信息加密传输: 聚焦政务领域高安全需求,为政务云平台提供端到端量子加密防护,保障政务数据在云端存储、传输过程中的私密性;针对政务视频传输,通过量子密钥对视频流进行实时加密,防止会议内容、政务指令被窃听、篡改;在涉密文件交互场景中,依托量子不可克隆定理,实现涉密文件的加密传输与访问管控,确保文件仅能被授权主体查看,从根本上杜绝涉密信息泄露,支撑政务工作的安全高效开展。

(2) 金融领域安全防护: 针对金融高频交易的时效性与安全性需求,采用量子密钥分发技术对交易指令进行加密,避免交易信息被截获、篡改,保障交易公平与资金安全;在资金清算环节,通过量子加密技术对清算数据、账户信息进行全程保护,防范清算过程中的信息泄露与恶意攻击;推广量子OTN专线应用,为银行、证券等金融机构搭建专属量子加密通信链路,实现跨机构、跨区域的安全数据交互,筑牢金融领域信息安全防线。

(3) 个人信息安全保障: 落地量子密话应用,通过量子密钥对语音通话进行加密,实现通话内容的绝对安全,杜绝通话被窃听、录音;针对个人数据存储场景,采用量子加密算法对个人隐私数据、身份信息进行加密存

储,防止数据被非法窃取、滥用;在身份认证环节,结合量子态的唯一性,构建量子身份认证系统,提升身份识别的安全性与可靠性,有效防范身份冒用、伪造等问题。

## 2.2 通信网络领域应用

(1)量子城域网建设:以城市为核心,部署城市级量子通信节点,实现城市内各政务部门、金融机构、重点企业的量子通信全覆盖;优化用户接入方案,推出适配不同用户需求的量子接入终端,简化接入流程,降低接入成本,推动量子通信在城市民生、产业发展等领域的普及应用,打造安全、高效的城市通信网络底座。

(2)星地一体量子通信网络:依托量子卫星组网,构建天地一体化量子通信体系,突破地面光纤传输的距离限制,实现跨洲跨洋的远距离量子通信;通过卫星中继传输,解决地面量子通信长距离传输中的信号衰减问题,实现全球范围内的量子通信覆盖,为跨国政务、国际金融等跨区域通信场景提供高安全保障。(3)5G/6G与量子通信融合:推动量子通信与5G、6G技术深度融合,研发量子增强型移动通信系统,提升移动通信的安全性与抗干扰能力;针对5G/6G时代低时延、高带宽、高安全的通信需求,将量子密钥融入通信链路,实现低时延高安全的数据传输,支撑车联网、工业互联网、远程医疗等高端通信场景的安全落地。

## 2.3 电子信息基础设施应用

(1)数据中心安全防护:针对跨地域数据中心协同工作的需求,采用量子加密技术实现数据中心之间的协同加密传输,保障跨地域数据交互的安全性;在数据备份环节,对备份数据进行量子加密处理,防止备份数据被窃取、篡改,确保数据中心数据的完整性与安全性,为数字经济发展提供安全的数据存储与交互支撑。(2)电力通信加密:将量子通信技术应用于电力系统,在变电站部署量子通信设备,对变电站之间的调度指令、运行数据进行加密传输,防止电力系统被恶意攻击、操控;保障电力调度信息的安全,提升电力系统的稳定性与可靠性,防范电力通信中断、数据泄露等风险,支撑智能电网的安全运行<sup>[2]</sup>。(3)商业航天组网:在商业航天卫星组网中,利用量子通信技术实现卫星之间的时钟同步,提升卫星组网的精度与稳定性;对星地测控指令进行量子加密,防止测控指令被截获、篡改,保障卫星的正常运行与测控安全,推动商业航天产业的高质量发展。

## 3 量子通信技术在电子信息领域应用的现状、问题与瓶颈

### 3.1 国内外应用现状

(1)国内应用进展:已建成“京沪干线”等骨干网

络,合肥量子城域网实现城市级全覆盖,“墨子号”量子卫星与地面链路构成天地一体化网络,“济南一号”微纳卫星推动星地量子通信实用化,已实现中国与南非跨12900公里的量子密钥分发,在政务、金融领域应用成效显著。(2)国外应用进展:欧盟推进QCI计划,构建覆盖全欧及海外领地的量子通信基础设施,融合卫星与地面光纤网络;美国启动量子互联网项目,聚焦核心技术研发与跨区域组网;英国建成伦敦量子城域网,重点服务金融、政务等敏感领域,推动技术商业化落地。

(3)产业化发展现状:产业链已形成上游核心器件、中游系统设备、下游应用服务的完整布局;国盾量子、光迅科技等龙头企业实现QKD设备量产,推动核心器件国产化;用户规模稳步扩大,主要集中在政务、金融等领域,但民用市场渗透率较低。

### 3.2 应用过程中存在的核心问题

(1)技术层面问题:QKD成码率仍显不足,难以满足高带宽通信需求;量子中继技术尚未成熟,长距离传输仍受限于信号衰减;部分核心器件仍存在依赖进口的情况,自主可控能力有待提升。(2)成本层面问题:基础设施建设多采用专网模式,铺设专用光缆、部署设备成本高昂,是传统通信网的数倍;终端设备定制化程度高,价格昂贵,普通用户和中小企业难以承受,制约规模化推广。(3)应用层面问题:行业渗透局限于政务、金融等高端领域,在民生、中小企业等领域应用较少;场景拓展有限,多集中在加密传输,多元化应用场景尚未充分挖掘;行业标准体系缺失,规范统一的应用标准尚未完善。

### 3.3 技术与产业发展瓶颈

(1)核心器件国产化瓶颈:量子芯片、单光子探测器等关键器件攻关不足,虽部分产品达到国际先进水平,但核心工艺仍有差距,国产化率未完全实现突破,制约产业自主发展。(2)网络融合瓶颈:量子通信网络与传统通信网络协同难度大,现有“专网专用”模式兼容性差,跨域互通技术不完善,难以融入现有通信基础设施,增加应用成本。(3)人才与政策瓶颈:量子通信专业人才短缺,尖端研发与应用型人才供需失衡;行业标准不统一,影响跨企业、跨领域协同发展;政策支持多为宏观导向,细化落地的扶持政策不足,难以充分支撑产业规模化发展。

## 4 量子通信技术在电子信息领域的发展展望

### 4.1 技术发展趋势

(1)关键技术突破方向:聚焦高成码率QKD技术攻关,提升密钥生成速率以满足高带宽通信需求,目前国

盾量子相关设备已使密钥生成速率提升至1Mbps,未来将进一步突破;推进实用化量子中继技术落地,解决长距离传输信号衰减问题,助力全球量子网络构建;加速芯片化集成进程,缩小量子设备体积、降低功耗,推动量子器件小型化、便携化,适配多场景应用需求。(2)技术融合趋势:推动量子通信与量子计算深度融合,实现算力与安全的双向赋能,构建更高效的量子信息系统;与AI技术结合,优化量子密钥分发的调度效率,实现攻击行为毫秒级感知与阻断;深化与物联网融合,推出量子安全物联模组,覆盖“端一边一云一网一芯”全场景,已在燃气、水务等民生领域开展试点应用。(3)传输技术升级:大力发展空芯光纤传输技术,依托其超低时延、高功率承载的优势,突破传统实芯光纤传输瓶颈,目前已实现超百公里空芯光纤共纤传输突破;优化多芯光纤共纤传输技术,通过频谱协同分配机制解决量子与经典信号干扰问题,提升传输容量与安全密钥率,降低规模化部署成本<sup>[3]</sup>。

#### 4.2 应用场景拓展展望

(1)新兴领域应用:在低空经济领域,利用单光子探测器实现无人机“黑飞”精准识别,为低空飞行安全提供保障;在自动驾驶领域,集成量子安全技术,实现车联网数据加密传输,提升L4级自动驾驶的环境感知与通信安全;在远程医疗领域,通过量子加密保障医疗数据、手术指令的安全传输,助力远程精准诊疗落地。(2)规模化应用推进:加快全国性量子骨干网建设,整合现有“京沪干线”等资源,完善城市级量子城域网布局;推进跨区域量子网络互联,依托“墨子号”等卫星实现天地一体化组网,拓展跨洲跨洋通信能力,目前已构建4600公里全球首个星地量子通信网。(3)民用领域普及:研发低成本量子终端设备,推出定价亲民的民用量子通信手机,将终端价格降至中端水平,打破成本壁垒;拓展大众化量子安全服务,推出量子密话、个人数据加密等便捷服务,推动量子安全服务走进普通用户生活,预计未来5年覆盖千万级用户。

#### 4.3 产业与政策发展展望

(1)产业链完善方向:加大核心器件国产化攻关力度,突破量子芯片、单光子探测器等关键器件技术瓶颈,实现核心组件100%自主可控;推动上下游企业协同发展,构建“科研机构+设备商+运营商”的协同闭环,完善从核心器件研发、设备制造到应用服务的完整产业链,提升产业整体竞争力。(2)政策支持方向:加大专项扶持资金投入,重点支持核心技术攻关与基础设施建设;加快行业标准制定,完善量子通信技术、应用及安全标准体系,规范产业发展;推进国际合作,参与全球量子通信规则制定,加强与各国在技术研发、网络互联等方面的合作,提升国际话语权。(3)产业生态构建:组建量子生态联盟,整合产业链资源,推动企业、高校、科研院所协同创新;深化产学研用融合,推动科研成果快速转化,培育一批龙头企业与创新型中小企业;搭建量子技术创新平台,聚焦核心技术攻关与人才培养,构建良性循环的产业生态,支撑量子通信产业高质量发展。

#### 结束语

量子通信技术在电子信息领域的应用已从理论走向实践,在政务、金融等领域成效显著,成为保障信息安全、优化通信网络的重要支撑。尽管目前面临核心器件依赖、成本较高、场景拓展不足等问题,但随着技术攻关、政策扶持与产业协同推进,其与5G/6G、量子计算等技术的融合将不断深化。未来,量子通信将逐步实现规模化、民用化普及,为电子信息领域高质量发展注入新动能,开启安全通信新时代。

#### 参考文献

- [1]林宇轩.量子通信技术的原理与应用研究[J].电子学报,2022,30(5):123-130.
- [2]苏雅琴.量子密钥分发技术在信息安全中的应用[J].通信技术前沿,2023,15(3):45-52.
- [3]陈梓豪.量子通信网络的构建与发展[J].电子科技进展,2024,22(4):78-85.