

量子通信发展态势和“十五五” 发展愿景

当前，量子科技已被全球主要科技强国视作未来科技竞争的关键制高点与核心驱动力，其发展正深刻地重塑着全球科技力量对比、国家安全格局及经济社会发展模式。我国对量子科技发展予以了前所未有的高度关注。自2020年10月16日中共中央政治局就量子科技研究和应用前景举行第二十四次集体学习，明确我国量子科技发展方向以来，一系列战略规划与政策举措密集推出，促使我国量子科技产业驶入了发展的快车道。

1 基础与形势

量子科技包括量子材料与器件、量子计算、量子通信和量子精密测量等领域。

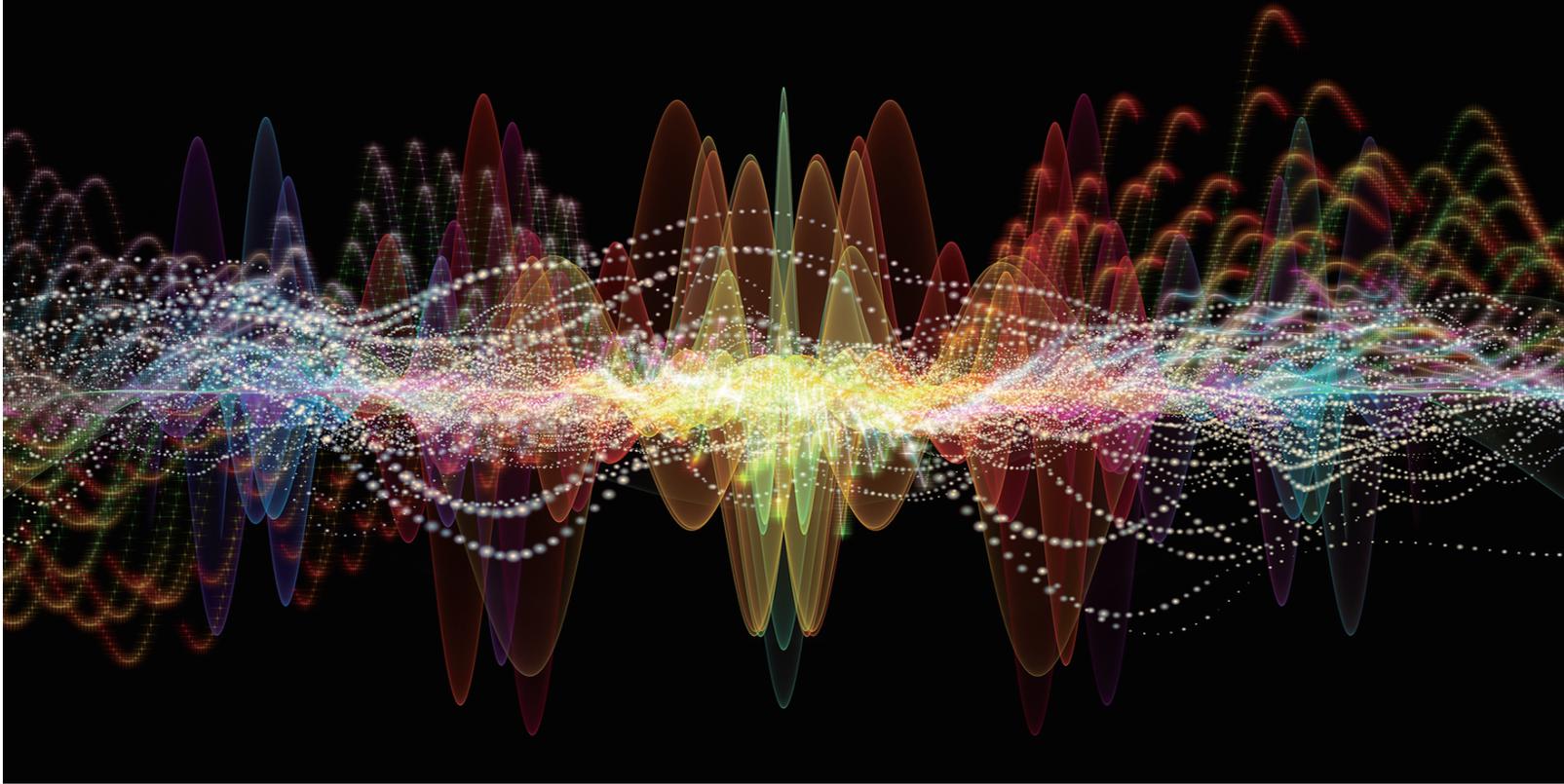
量子通信是以量子态为载体传输随机数、经典信息和量子态的量子技术。量子通信包括量子密钥分发、量子直接通信、量子隐形传态等方向。量子密钥分发通过量子态传输随机数以安全协商密钥，量子直接通信以量子态直接安全传输信息，量子隐形传态通过量子纠缠远程传输量子态。量子密钥分发提出最早，发展时间最长。量子直接通信是我国科学家原创提出的理论，近年来得到快速发展，已经达到实用水平。

过去五年，在以习近平同志为核心的党中央

的坚强引领下，我国在量子通信领域持续投入资源，积累了显著的优势，为“十五五”时期达成更高质量、更具可持续性的发展筑牢了坚实根基。具体体现于以下4个方面：

(1) 顶层设计与战略布局持续强化，组织保障有力。国家层面不断加强量子科技发展的系统性谋划。继中央政治局集体学习后，相关部委积极贯彻落实，协同推进。在科研力量布局上，国家实验室体系的引领作用凸显。国家成立了量子信息科学国家实验室，以及北京量子信息科学研究院、粤港澳大湾区量子科学中心等区域性高水平研发机构，形成了分工协作、各具特色的科研创新矩阵。这些机构聚焦量子材料器件、量子通信、量子计算、量子精密测量等前沿方向，开展基础科学理论研究、关键技术攻关和前沿探索，成为国家战略科技力量的重要组成部分，为产业发展提供了源源不断的创新源头。

(2) 科技创新能力实现全球“并跑”向“领跑”的转变，成果丰硕。经过多年积累，我国量子通信技术的整体实力已稳居全球第一梯队，并在若干方向实现了“领跑”。2004年美国建成国际上首个量子密钥分发网络，我国则于2007年建成首个城域量子通信网络。“墨子号”量子科学实验



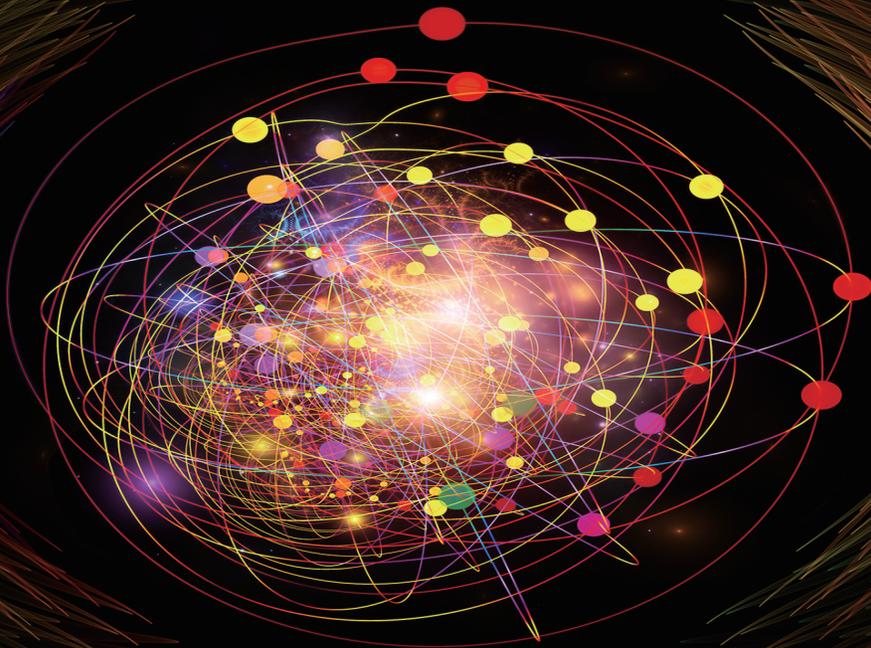
卫星的成功，实现了星地间千公里级的量子纠缠分发和量子密钥分发，标志着我国在空间量子通信技术上取得了重大突破，为构建全球化量子通信网络验证了可行性。在城域量子通信方面，量子直接通信技术的样机研发取得重要进展，展示了其在特定场景下兼具保密性和窃听感知能力的独特优势。此外，在光纤量子通信领域，科研团队多次刷新双场量子密钥分发的无中继传输距离纪录，极大提升了光纤量子保密通信的实用化水平。这些具有国际影响力的重大成果，不仅彰显了我国在量子通信基础研究领域的深厚积淀，也强有力地支撑了我国在该领域全球竞争中的战略地位提升。更为重要的是，我国量子通信发展呈现出“科研”与“应用”双轮驱动、良性互动的可喜局面。一方面，前沿科研成果为应用探索提供了技术可能性和先进性保障；另一方面，来自能源、金融等行业的应用需求反馈，又为科研方向调整和技术优化提供了明确导向，推动了技术创新与市场需求的紧密结合。

(3) 产业生态呈现系统化、梯队化发展态势，初具规模。过去5年，我国量子通信产业生态实现了从“点”状突破到“面”上拓展的系统化跃升。市场主体日益丰富，形成了科大国盾量子技术股

份有限公司（简称国盾量子）、中电信量子信息科技集团有限公司（简称中电信量子集团）、安徽问天量子科技股份有限公司（简称问天量子）等一批具备核心技术和知识产权，并关注应用场景创新的骨干企业。在工业和信息化部指导下，由中国信息通信研究院牵头成立的量子信息网络产业联盟，成员单位已迅速增长至104家，覆盖了从核心器件、设备研制、网络建设到应用服务等产业链各环节，以及主要用户单位，有效促进了产业链上下游的交流协作与供需对接。

从产业链结构分析，当前呈现“上游基础相对薄弱、中游集成与设备制造技术强劲、下游应用场景日益多元”的特点。中游的设备与系统集成环节，依托前期的科研积累和工程化能力，已能提供包括量子密钥分发设备、量子随机数发生器等在内的成熟产品。下游应用层面，除了传统的国家安全领域，已在电力系统调度、金融交易加密、电子政务安全、大数据中心防护等关键信息基础设施领域开展了卓有成效的试点示范，验证了量子通信技术的实用价值和增值潜力。

(4) 标准化与人才队伍建设稳步推进，基础支撑不断夯实。标准是技术大规模应用和产业健康发展的关键前提。国家标准化管理委员会



(Standardization Administration of China, SAC) 批准成立了全国量子计算与测量标准化技术委员会 (SAC/TC578)、全国信息技术标准化技术委员会量子信息标准工作组 (SAC/TC 28/WG 34)。中国通信学会专门成立了量子密钥分发标准工作组和量子直接通信标准工作组。在国际上,我国积极参与并主导国际标准制定。据统计,在国际电信联盟电信标准化部门已发布的42项量子通信相关标准中,我国专家参与了其中30项的制定工作;在国际标准化组织/国际电工委员会已发布的3项量子计算与通信标准中,我国也均有贡献。2025年国际电信联盟成立了由26人组成的新兴技术学术顾问委员会,龙桂鲁教授成为委员,参与量子通信组的工作。这表明我国在国际量子通信标准领域已具备一定的话语权和影响力。人才是量子科技发展的第一资源。

量子通信属于典型的高度知识密集型领域,需要大量具备量子力学、光学工程、电子信息、密码学等多学科背景的复合型创新人才。我国高等教育体系正积极回应这一需求。目前,全国已有物理学、电子科学与技术、信息与通信工程等27个与量子科技紧密相关的本科专业,相关在校生规模约26.8万人。更值得关注的是,已有包括

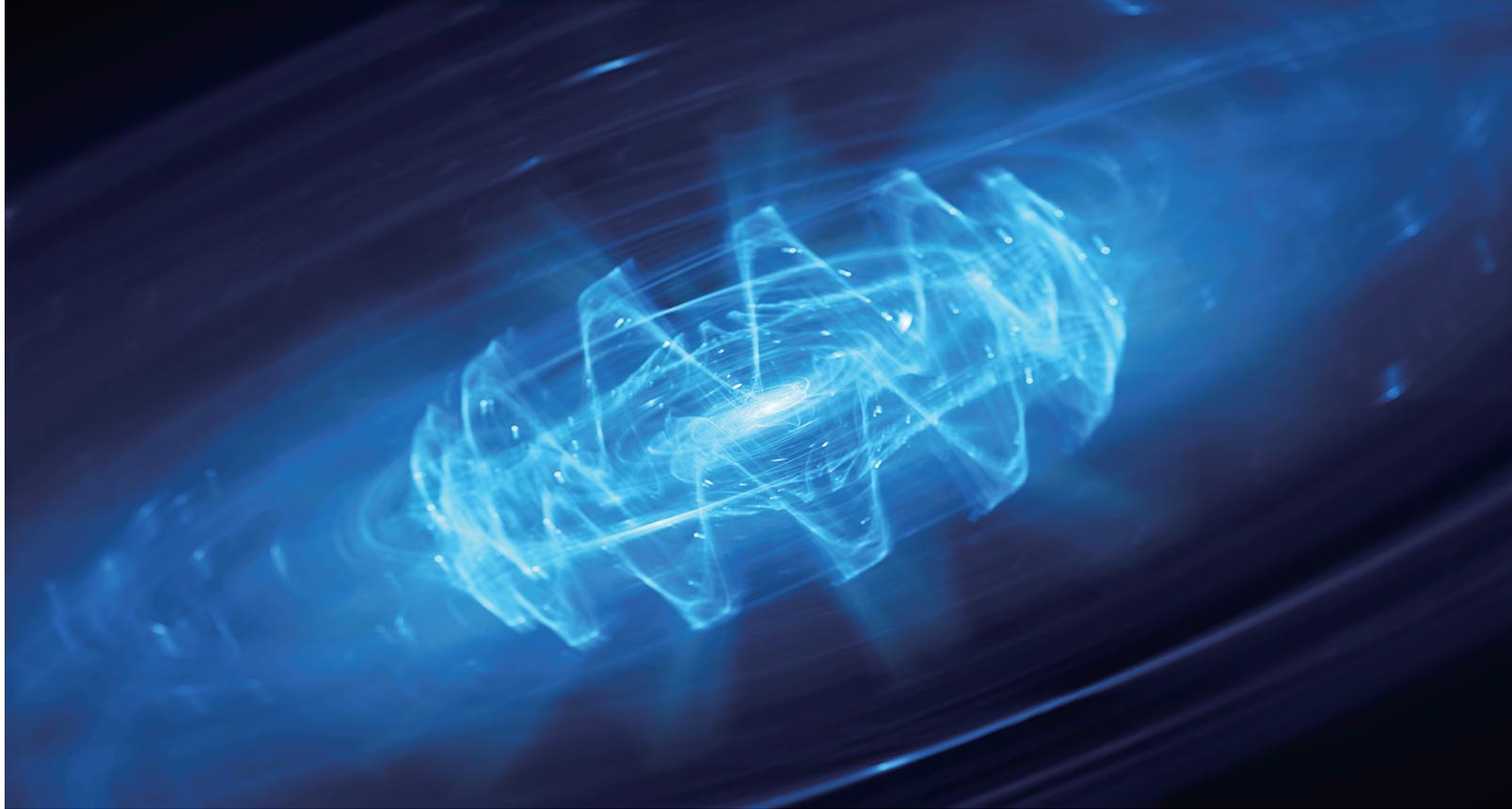
中国科学技术大学在内的17所高水平高校获准开设“量子信息科学”本科专业,年培养专业人才约500人,为未来产业发展储备了高质量的后备力量。

2 面临的挑战与问题

我国在量子通信行业仍面临诸多突出的挑战与瓶颈,迈向量子科技强国任重道远,突出体现在有:

(1) 产业链供应链安全韧性不足,关键环节存在“卡脖子”风险。量子通信系统的性能高度依赖于核心关键元器件。目前,高性能的超导纳米线单光子探测器、特定波长的低噪声激光器,以及部分用于控制和处理的高速专用芯片等,我国在一定程度上仍依赖进口。近年来,国际科技竞争加剧,高端元器件出口管制趋严,使得供应链风险凸显。虽然国内如赋同量子科技(浙江)有限公司(简称赋同量子)等企业在超导纳米线单光子探测器方面取得了快速进步,展现出良好的国产化替代前景,但总体而言,实现关键器件自主可控、打造安全可靠的产业链供应链仍是“十五五”时期的紧迫任务。

(2) 后量子密码布局与迁移工作启动相对滞后,面临标准转换压力。后量子密码(Post-



Quantum Cryptography, PQC) 是指能够抵抗未来量子计算机攻击的经典密码算法。自 2016 年起, 美国国家标准与技术研究院即启动了全球后量子密码算法的标准化进程, 经过多轮评估, 已于近期公布了入选的算法名单, 并计划在未来两年内完成标准化。相比之下, 我国国家密码管理局下属的商用密码标准研究院直到 2025 年 2 月才正式面向全球征集新一代公钥密码算法, 在标准化的整体进度上晚于欧美主要国家。这可能导致在未来全球密码标准切换的窗口期, 我国在网络安全体系平滑过渡方面面临更大压力和挑战。

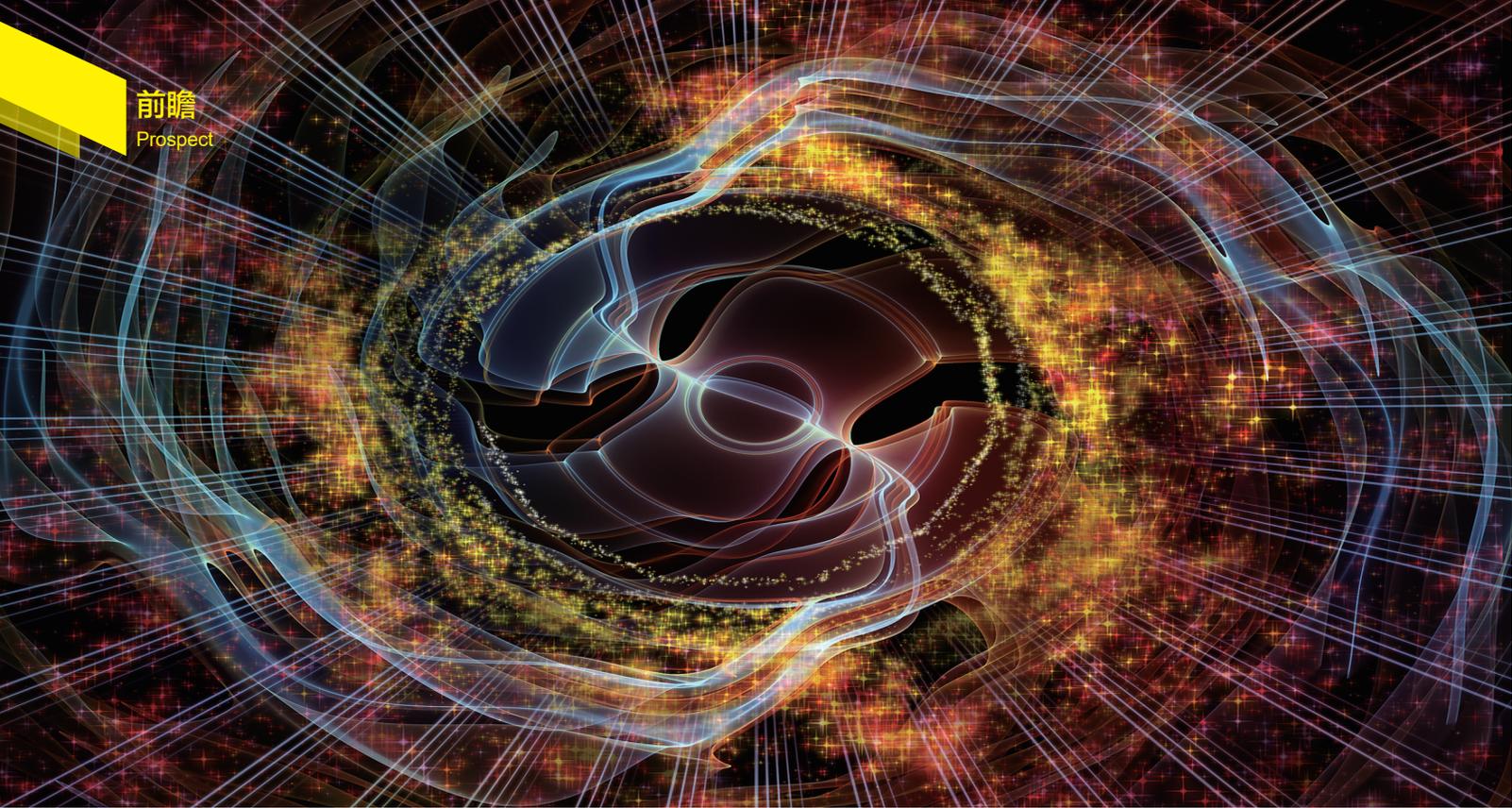
3 “十五五”量子通信发展愿景

基于对国内外发展态势的深入分析和对我国产业基础的客观评估, “十五五”时期, 我国量子通信产业发展的总体愿景是: 立足新发展阶段, 贯彻新发展理念, 构建新发展格局, 以提升国家网络空间安全保障能力为核心, 以推动产业高质量发展为主题, 以科技创新与体制机制创新为双轮驱动, 力争到 2030 年, 建成技术先进、生态健全、应用普及、安全可靠的量子通信产业体系, 实现从技术“领跑”到产业“主导”的关键跨越, 使量子通信成为我国现代化产业体系中的一张亮

丽名片, 为构筑国家发展新优势、维护国家长远安全提供战略支撑。

(1) 技术进步方面, 巩固并扩大现有技术优势, 加速新兴技术路径的成熟与应用, 强化跨领域技术融合创新。在光纤量子通信领域, 重点突破高速率、高稳定性、低损耗的量子保密通信系统的规模化部署技术, 使城域量子保密通信网络的核心性能指标达到国际顶尖水平, 满足金融、政务等高端应用场景的需求。加大对量子直接通信等具有潜力的技术路线的投入, 推动其从实验室样机走向实用化系统原型, 在特定高安全需求场景开展试点应用。同时, 积极布局量子纠缠源制备、量子存储、量子中继等下一代量子网络关键核心技术, 力争在“十五五”末期实现城域尺度量子纠缠分发网络的初步演示, 为未来实现长距离、全量子化的信息处理奠定基础。推动量子通信与经典光通信、人工智能、6G 移动通信、云计算等技术的深度融合, 研究量子安全与现有网络架构的结合, 为未来移动通信注入内生安全基因。

(2) 产业发展方面, 实现产业链上游自主可控与高端化, 促进中游系统集成与设备制造迈向智能化与标准化, 激发下游应用创新与服务模式



多元化。集中力量攻克高端单光子探测器、量子光源、高速控制芯片等核心元器件的设计、工艺和批量制造难关。鼓励设备商开发小型化、模块化、低功耗、即插即用的量子通信设备，降低部署和维护门槛。推动设备接口、网络管理协议的标准化，实现不同厂商设备间的互联互通。超越“密钥分发即服务”的单一模式，鼓励企业探索量子安全云服务、量子加密存储、量子安全身份认证等新型服务。培育一批专注于行业应用解决方案的创新型企业，深度挖掘政务、金融、能源、交通、医疗、工业互联网等领域的需求，形成“千行百业+量子安全”的繁荣局面。探索建设国家量子安全应用示范平台，为应用创新提供测试验证环境。

(3) 产业生态方面，实现人才培养体系化与梯队化，资本投入多元化与长效化，国际合作深化与话语权提升。支持更多高校设立量子信息科学与技术相关专业和交叉学科，扩大招生规模。鼓励校企共建实验室、实习基地，推行“订单式”培养。建立健全职业资格认证和技能等级评定体系，为产业输送多层次、高质量的人才。在保持国家财政投入对基础研究和前沿技术稳定支持的同时，更大程度地发挥市场在资源配置中的决定

性作用。通过政府引导基金撬动更多社会资本、风险投资进入量子通信领域。在确保国家安全和核心利益的前提下，秉持开放包容的态度，在标准制定、基础研究、技术示范等领域与欧盟、金砖国家等开展务实合作。鼓励我国专家在国际标准化组织中担任更重要的职务，积极贡献中国技术方案，将我国的创新成果和实践经验转化为国际标准，提升我国在全球量子通信治理中的话语权和影响力。

(4) 国家信息安全防护方面，完成密码体系平滑迁移的战略准备，实现量子保密通信与后量子密码的协同应用，建立健全量子安全测评认证体系。将PQC的迁移工作提升到国家战略高度。在“十五五”前期，完成对我国现行密码体系的全面风险评估，制定详尽的迁移路线图和时间表。优先在政务、金融、能源等对长期安全有极高要求的系统开展PQC算法试点部署，积累迁移经验。推动形成包含算法标准、实现规范、检测认证、升级方案在内的完整PQC迁移解决方案。探索研究量子保密通信与PQC的互补优势，探索“量子保密通信保障链路安全+后量子密码保障身份认证与数据安全”的融合安全方案。加快建立国家级的量子通信设备、系统及服务的检测评估与认证



机构。制定科学严谨的测评标准和方法，对量子通信的安全性、系统设备的可靠性、整个网络的安全性进行常态化测评和监督，确保投入使用的量子通信系统真正达到设计的安全目标。

4 保障措施与建议

为确保“十五五”发展愿景的顺利实现，针对当前存在的短板和未来可能的风险挑战，建议从以下6个方面着力，构建强有力的支撑保障体系：

(1) 优化顶层设计，营造良性竞争环境与宽松政策氛围。在强化国家战略规划和统筹的同时，注重发挥市场在资源配置中的决定性作用。产业政策应避免过度细化、指令性过强，更多采用负面清单、普惠性政策等方式，为不同技术路线、不同规模企业的创新探索留存足够的弹性空间。落实和完善针对量子信息技术企业的研发费用加计扣除、高新技术企业税收优惠、进口设备关税减免等政策，营造稳定、透明、可预期的政策环境，增强企业长期投入的信心。

(2) 促进生态协同，深化开放合作。建立由行业专家、产业领袖、政策专家共同组成的国家量子科技发展专家咨询委员会，定期研判趋势，制定和动态更新量子科技产业发展技术路线图。

搭建常态化交流平台，促进技术、人才、资本、产品、市场等创新要素的高效对接与循环。在国际合作方面，秉持开放态度，在确保国家安全的前提下，积极与欧盟“量子技术旗舰计划”参与方、金砖国家等建立多边、双边量子技术合作机制，共同研发、共享成果、共建标准，分散供应链风险，融入全球创新网络。

(3) 构建完善产业生态系统，推动标准化和认证工作。建立完善的产业链，加强产学研用结合，建立产业联盟和交流合作机制。积极探索量子信息技术在各行业的应用场景，建设科技成果转化平台，促进技术创新和产业孵化。深化企业与垂直行业的交流，明确需求，定制化开发验证，拓展多领域应用市场。构建完善的量子信息技术产业生态系统，推动量子技术的标准化和认证工作，确保产业链条的健康运作和技术的互操作性。

(4) 合理、持续的资金投入与政策支持。对量子通信产业的发展速度、应用成果及社会效益进行全面且合理的评估。对于短期内可以产生明显社会效益的方向，建议与市场结合进行资金和政策支持，促进其投入应用；对于在未来会产生巨大影响的方向，需要提前布局，合理并持续地投入资金推进其发展；同时在基础研究方向也给

予项目支持，保证其进行自由探索。政府应推出相关政策支持技术发展各阶段应用成果转化，实现其社会效益。

(5) 加强人才培养与知识产权保护。量子通信产业对从业者有较高要求。政府可以设立专业化的人才培训计划，提供量子信息技术领域的培训课程和学术研究机会。建议相关部门设立产学研合作专项资金，支持高校、科研机构与企业共同开展技术研发和项目合作。鼓励企业与高校、科研机构建立联合实验室、产业技术研究院等创新平台，共同攻克关键技术难题，提升产业技术水平。同时，加强知识产权保护，为科研人员和企业提供创新保护的制度支持。

(6) 强化基础科研与技术攻关并举，以高水平论文和关键技术突破共鉴。充分利用我国科研优势，注重理论与实验结合，加强自主创新能力，追赶并超越国际先进水平。在量子通信技术的核心领域进行集中攻关，以实现“从0到1”的自主创新，为技术与应用的发展奠定坚实基础。重点解决量子通信领域的关键器件方面的短板问题。拓展项目布局，向上游企业延伸，促进量子信息技术产业的范围扩展，同时着力提升自主制造水平。在评价体系上，对于基础科研可参考发表高

水平论文考核，对于技术攻关类项目，要以技术的突破作为考核指标。

“十五五”时期是我国全面建设社会主义现代化国家新征程的关键5年。党的二十届四中全会审议通过了《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》，突出强调“建设现代化产业体系，巩固壮大实体经济根基”，为新时期量子科技产业的高质量发展指明了前进方向。《前瞻科技》2025年第4期量子科技发展战略专刊，审视全球量子科技发展态势，评估我国量子通信产业的基础、优势与挑战，凝练提出了“十五五”时期的产业发展愿景，并研提了具有针对性的保障措施与建议，旨在为国家和相关部门决策提供参考，助力我国在新一轮科技革命和产业变革中把握先机、赢得优势。

龙桂鲁 客座主编，北京量子信息科学研究院副院长，清华大学教授；

张飞昊 北京量子信息科学研究院助理研究员；

陆军 中国工程院院士，中国电子科技集团公司首席科学家；

郭光灿 中国科学院院士，中国科学技术大学教授