

济南量子技术研究院联合中国科学技术大学、中国科学院上海技术物理研究所、微小卫星创新研究院等单位组成的研究团队，在国际上首次实现“济南一号”微纳量子卫星与小型化、可移动地面站之间的实时星地量子密钥分发，在单次卫星通过期间实现多达100万比特的安全密钥共享。在此基础上，联合团队和南非斯泰伦博斯大学科研团队合作，在中非之间12900多公里的距离上建立量子密钥，完成对图像数据“一次一密”加密和传输。该工作为实用化卫星量子通信组网铺平道路。相关研究成果于2025年3月20日在线发表在国际学术期刊《自然》杂志上。

于泊升 济南报道

小型化地面站 助力移动量子通信

通信安全是国家信息安全和经济社会发展的重要基础。基于量子密钥分发的量子保密通信是迄今唯一可实现“信息论可证”安全的通信方式，可大幅提升现有信息系统的安全传输水平。目前，基于光纤链路的城域城际量子通信已发展成熟并初步得到应用，而远距离乃至全球化的量子保密通信，还需要克服光纤存在的固有损耗以及难以覆盖全球的问题。利用卫星平台进行自由空间量子密钥分发，能有效克服这些限制，实现全球范围的量子保密通信。

研究院与多家科研机构协同攻关，在星地量子通信方面开展了一系列开创性研究。2017年，中国科学技术大学牵头研制的“墨子号”量子科学实验卫星在国际上首次实现星地量子密钥分发，并与地面光纤量子保密通信骨干网“京沪干线”构成首个天地一体化广域量子保密通信网络，充分验证了基于卫星实现全球化量子通信的可行性。由于“墨子号”量子卫星无法直接覆盖全球且成本较高，发射多颗低成本微纳量子卫星并实现组网运行，成为构建高效率、实用化、全球化量子通信网络的迫切需求。

朝着这一目标，研究团队成功突破了低成本小型化诱骗态量子光源技术、复合激光通信的实时密钥提取技术、基于卫星姿控的高精度跟踪等关键技术，并完成星载量子密钥分发载荷、量子微纳卫星平台研制。量子微纳卫星载荷重量约23kg，比“墨子号”降低约一个数量级，光源频率提升约6倍，密钥生成时效性由数天时间完成提高到单轨实时成码。2022年7月27日，国际首颗量子微纳卫星“济南一号”成功发射入轨，部分载荷器件由研究院负责研发。

早在2019年，研究院团队就启动小型化量子通信卫星地面站系统项目。2019年12月30日23时31分至39分，部署在研究院楼顶的卫星地面站与“墨子号”对接测试成功，这标志着我国首个小型化可移动量子卫星地面站在济南建设完成。此后，科研人员继续推动量子卫星地面站的小型化研究。完成此次实时星地量子密钥分发的一台卫星地面站就部署在研究院的楼顶，重量仅100kg，而首台地面站重达13吨。这款新型卫星地面站系统适应城市、山区、高原等各类环境，能够快



部署在济南量子技术研究院科研楼顶的小型化地面站。

相距上万公里，「济南一号」实时达

全球首次，我国实现星地量子密钥分发新突破



“济南一号”量子微纳卫星运行示意图。来源：墨子沙龙

速部署，原理上已可支撑移动量子通信。

为构建“量子星座” 奠定坚实基础

在本研究工作中，“济南一号”量子微纳卫星与济南、合肥、南山、武汉、北京、上海、南非斯泰伦博斯等地面光学站建立光链路，实现实时星地量子密钥分发实验。星载量子诱骗态光源平均每秒发送2.5亿个信号光子，结合上下行光通信实现密钥的实时提取，一次过轨对接实验可生成250kbits-1Mbits的安全密钥，平均成码率可达3kbps。以卫星作为可信中继，研究团队进一步实现了地面相距12900公里的北京站和南非斯泰伦博斯站之间的密钥共享和数据中继。

该研究工作为未来发射多颗微纳卫星构建“量子星座”奠定了坚实基础，不仅为大规模实用化量子通信网络的建设提供了关键技术支撑，更为量子互联网的全球部署开辟了新的发展路径。

《自然》杂志审稿人称赞该成

果是“技术上令人钦佩的成就”，代表了“基于可信节点量子星座提供广域卫星量子密钥分发服务的长足进步”，并“展示了卫星量子密钥分发技术的成熟，代表了实现量子与经典通信卫星星座的里程碑”。《自然》杂志还以“向长距离安全量子通信的现实飞跃”为题配发研究简报进行报道，《自然》播客、著名科学杂志英国《新科学家》等也对该工作进行了专题报道。

“济南力量”凸显 量子通信技术全球领先

近年来，济南市积极布局量子科技这一未来产业，济南高新区建设5.2万平方米的“三楼一体”产业载体，专门支持量子产业发展，量子科技的“济南力量”日益凸显。

截至目前，国家实验室济南基地落地，承接重大科学任务；国内唯一、国际首个量子计算与测量领域标准化技术委员会（SAC/TC 578）获批，支撑山东成为世界量子信息标准化的核心阵地；工信部“国家5G应用安全创新推广中心”

延伸阅读

南非科学家： 在晴朗夜空看到中国量子卫星的光芒

“在一个晴朗的夜空，我们看到中国卫星闪烁的绿色光芒，随后地面站检测到信号，通信成功了！”南非斯泰伦博斯大学量子计算教授弗朗西斯科·彼得鲁乔在接受采访时，如此回忆中国量子卫星首次连接到南半球地面站的场景。

中国和南非科研人员合作的论文20日发表于国际著名学术期刊《自然》，研究团队报告在相隔12900多公里的距离上通过卫星实现量子密钥分发，为实用化卫星量子通信组网铺平道路。参与实验的南非科学家表示，这是南半球首次开展卫星量子密钥分发实验，在2025年“国际量子科学与技术年”，与中国的合作更显科技促进人类共同发展的意义。

跨越南北半球： “激动人心”

“那是非常激动人心的时刻。”参与这项研究的彼得鲁乔内回忆说。斯泰伦博斯大学工程楼的屋顶上，建了一个地面站与中国的卫星通信。这里的环境合适，湿度低，天空经常晴朗无云。就在一个晴朗的夜空，地面站接收到了卫星信号。“我们尽情庆祝，共享大餐。”

本项研究利用了中国2022年发射的世界首颗量子微纳卫星“济南一号”，与之前已闻名世界的“墨子号”量子卫星相比，量子微纳卫星的成本更低，多项性能更高，同时地面站也变得小型化、可移动，从而方便部署。

据介绍，研究团队利用量子微纳卫星与设在中国合肥、北京、上海以及南非斯泰伦博斯等地的地面站建立光链路，实现实时星地量子密钥分发实验。斯泰伦博斯大学物理系高级讲师娅西拉·伊斯梅尔分享了她最难忘的时刻。本次实验持续多个夜晚，在单次卫星通过期间实现了多达100万比特的安全密钥共享。那个晚上，她和中国同事围坐在电脑旁，眼睛紧盯着屏幕，实时监控卫星通过时生成的密钥率。“当密钥率突破100万比特时，我们非常兴奋地跳起来，这是我们从未想过能达到的数字。”

量子科技发展： 合作“双赢”

“我们非常自豪能够与中国合作。”彼得鲁乔内说，中国在量子通信等领域处于世界领先地位。南非专家与中国同行合作有助于提升

落地济南，探索量子密钥服务、量子密钥加密带宽服务的商业模式，推进量子通信技术创新和产业生态稳步形成。全市集聚量子信息及相关企业30余家，从业人员达到800余人，总市值超过50亿元，在实用化量子通信技术研究和量子通信产业化方面处于世界领先地位。

2022年成功发射的全球首颗量子微纳卫星以“济南”命名；2023年底，济南市量子信息产业集群入选省级未来产业集群；本月初，“祖冲之三号”刷新量子计算优越性世界纪录，该超导量子计算原型机的部分核心部件也在济南研制。在山东省、济南市的支持下，济南量子院建成了国内最大规模集成先进制程的超导量子处理器工艺线，正在开展基于超导体体系的大规模表面码纠错研究。

下一步，研究院将继续深耕量子通信领域基础研究与应用基础研究，力求创造更多突破性成果，不断拓展量子通信应用场景，朝着构建大规模实用化量子通信网络的目标持续探索前行，以量子技术革命性突破服务国家信息安全重大需求。

自身的专业知识，同时也作出了自己的贡献，可以说是一种“双赢”。

他指出，这次是在南半球开展的首次卫星量子密钥分发实验，说明南半球没有被排除在未来的相关技术进展之外。如今，量子科技正在催生一系列新兴产业，这是加入新的产业革命的良机。通过与这一领域的佼佼者——中国合作，南非可以拓展相关知识，培养新型人才，创造更多就业机会。

这次跨越上万公里量子通信实验成功，意味着未来可以发射多颗微纳卫星构建“量子星座”，在全球部署具有良好保密性的量子通信网络。伊斯梅尔说，这是相关领域研究人员的共同目标，“要完成这个目标，需要国际合作来保证建设全球性的量子网络。”

今年是量子力学诞生100周年。联合国教科文组织宣布今年为“国际量子科学与技术年”，目的包括促进量子科技与社会的结合发展。彼得鲁乔内表示，当今世界面临种种挑战，而科学是应对挑战的重要工具，人们在科学合作中也可以加深彼此了解。“我希望能通过加强量子领域的国际合作，帮助建设一个和平繁荣的世界，共同应对全球挑战。”

据新华社