

研发核心芯片、建立技术标准、营造产业生态

量子科技：从梦想走向实用

■本报首席记者 许琦敏

日前，国际著名学术期刊《自然》发表了我国在量子科技领域的又一重大成就——跨越4600公里的天地一体化量子通信网络。

这篇论文的发表，证明了广域量子保密通信技术在实际应用中的条件已初步成熟。我国科研人员构建的天地一体化广域量子保密通信网络初具雏形，为未来实现覆盖全球的量子保密通信网络奠定了科学与技术基础。

地面跨度4600千米、多用户量子密钥分发(QKD)、长达两年多的稳定性和安全性测试、标准化研究，以及在政务、金融、电力等不同领域的应用示范——搭建这张庞大的“未来工程”网络的设备仪器，不再是实验室里仅仅满足实验需求的产品，而必须是稳定可靠、满足业务运行要求、可批量生产的工业化产品。

这些设备产品是如何在短短数年内，从实验室走向产业化的？日前，记者走访济南量子技术研究院，探寻我国的量子保密通信技术与产品的产业化之路。

筹谋未来工程，十年布局让产业落地

发表在《自然》上的论文，是对我国十几年来量子通信技术发展的一次系统性总结。论文审稿人评价它是“地球上最大、最先进的QKD网络”，将其形容成“大型未来工程”。

目前，天地一体化量子通信网络包括北京、济南、上海、合肥四个光纤量子城域网、一条“京沪干线”，以及连接兴隆、南山两个地面站的星地链路。其中，干线长2000公里，两个卫星地面站相距2600公里。

按通信信道的不同，量子密钥分发主要有光纤和自由空间两种实现方式。光纤QKD技术的信道稳定性较好，不易受温度、湿度、天气等环境因素影响，可实现基本恒定的安全码率，在城域城际范围内能方便地连接到千家万户。而超远距离、移动目标、岛屿和驻外机构等光纤资源受限的场景，则可通过卫星中转的自由空间信道连接。

因此，将地面光纤和自由空间结合，可以实现大规模、全覆盖的全球化量子通信网络。广域量子通信网络的发展路线，就是通过光纤实现城域量子通信网络、通过中继器实现两个邻近城市间的连接、通过卫星平台中转实现遥远区域间的连接。

就在32年前，人类历史上首次量子通信在实验室诞生，传输了仅仅32厘米。32年之后，量子保密通信何以如此迅速走向工程实践？早在2009年，我国量子科技领军人物、中国科技大学教授潘建伟就开始筹谋量子通信技术产业化之路。

2001年，潘建伟回国在中国科大组建实验室，2004年在国际上首次实现五光子纠缠及终端开放的量子隐形传态。这是国内量子信息研究领域第一篇发表在《自然》上的论文，也标志着中国在多光子纠缠操纵方面的工作，已成功跃居国际领先水平。

当科研逐渐从“领跑”“并跑”走向“领跑”，潘建伟团队也开始意识到，真正有应用价值的量子科技，需要多方面技术的综合集成，并且达到工程化的实用水平。

2009年5月，中国科学技术大学量子通信团队创立科大国盾量子技术股份有限公司，迈出了量子通信技术产业化的第一步。2010年，山东省与中国科大签订协议，引进国盾量子团队，投入大量资金支持量子通信产业落地。2011年5月，济南量子



▶全球首套小型化可移动量子卫星地面站

▶三英寸近化学计量比铌酸锂晶体

三英寸近化学计量比铌酸锂(SLN)晶体

▶波导芯片实验室的百级黄光区

技术研究院成立，主要开展量子科学基础研究和应用基础研究，为量子科研成果转化提供技术支撑，并承担组织量子科技公共研发平台、建设量子保密通信试验网等任务。

自此，潘建伟团队基本奠定了合肥—上海—济南的三元发展态势，分别以基础研究、应用基础研究、产业化为主要任务，形成从实验室到产业的联动发展态势。

有了产业化的支撑，我国量子通信开始了脚踏实地的步伐。2011年12月，作为中科院空间科学先导专项首批科学实验卫星之一，“墨子号”量子科学实验卫星立项；2013年7月，“京沪干线”项目立项。一边突破前沿关键技术，一边技术落地转化成为设备与产品，不断提升产品稳定性、安全性，这为我国搭建起世界首个天地一体化量子通信网络奠定了坚实基础。

突破硬核技术，让光子顺畅“奔跑”

在中国科大上海研究院有一个展示大厅，屏幕上滚动显示着“京沪干线”覆盖四省市共32个节点的示意图。这是目前世界上最远距离的基于可信中继方案的量子安全密钥分发干线。

“这条干线上，有不少设备就来自济南的量子通信产业化基地。”身为济南量子技术研究院执行院长，张强在上海研究院的时间也不少，因为济南有很多技术的产业化源头出自上海研究院。

由张强所负责的周期化铌酸锂波导芯片研制平台，就设在济南量子院。目前，这一平台是世界前三、中国大陆唯一掌握逆向质子交换铌酸锂波导技术的研发机构，已实现周期化铌酸锂波导芯片的完全自主化、国产化、量产化。芯片相关技术参数已达到国际领先水平。

“铌酸锂是一种很好的光信号调制材料，用它做成的波导芯片，是量

子通信网络中不可或缺的核心器件之一。”张强打了个比方，这就好比庞大的电网需要大大小小的变压器，才能使得发电厂的电力顺畅输送到大城小村的每个角落，光信号在传输过程中，同样需要变换频率，来确保信息的高效率传输。比如，自由空间光通信的频率和光纤通信的频率就不一致，来自卫星的光信号“落地”之后，必须变换频率，才能在光纤中继续“奔跑”，而波导芯片就是承担这一重要任务的。

“我们已基本建立起了铌酸锂波导芯片的全产业链条，覆盖从铌酸锂晶体生长到集成化多通道量子频率转换芯片多个关键环节。而且，我们在该芯片基础上，通过国际合作，研制出了多种单光子探测器。”张强介绍，新研制的单光子探测器效率已经比“墨子号”中所使用的有了大幅提升，未来效率还可进一步提升。

值得一提的是，围绕波导芯片，相关上下游企业已经在济南量子技术研究院周围，初步形成了一个产业生态链，不少激光相关企业已经与研究院建立了合作关系。

根据潘建伟的设想，在“墨子号”之后，还将研制地球静止轨道量子通信卫星，实现白天量子通信，乃至构建“量子星座”。目前，济南量子院与中国科大已经在国际上首次成功实现了白天远距离自由空间量子密钥分发，通过地地实验验证了日光条件下星间和星地之间量子密钥分发的可行性。这为未来构建基于量子卫星的星地、星间量子通信网络奠定了基础。

在济南量子技术研究院的顶楼天台，架设有一台小型量子通信地面接收站。在目前的天地一体化量子通信网络中，用来与“墨子号”建立星地链路的是两个体型庞大的地面接收站。而未来，这种重量仅在百公斤左右的小型地面站，将会逐渐成为主流。

济南量子技术研究院副院长周飞介绍，这是全球首套小型化可移动量子卫星地面站，已与“墨子号”成功完成了星地对接。目前，此类可移动小型地面站已和国际上多个地面站进行了星地量子密钥分发实验，未来有望进一步做到可单人搬运。同时，在保证密钥分发速率的前提下，团队还成功研制出了几十公斤的小型化空间量子密钥分发载荷，这些成果也为形成卫星量子通信国际技术标准奠定了基础。

在《自然》这篇关于量子保密通信网络的总结性论文中提到，这张网络已开展了长达两年多的相关技术验证和应用示范以及大量的稳定性测试、安全性测试及相关标准化研究，通过了光子数分离攻击、致盲攻击、时移攻击、波长依赖攻击和一些潜在的特洛伊木马攻击等安全性测试，结果表明“京沪干线”可以抵御目前所有已知的量子黑客攻击方案。

济南量子技术研究院正在建设一

个量子保密通信攻防平台。“网上对于量子通信安全性的质疑很多，但真正跑来‘打擂台’的还非常少，专业团队就更少。”周飞介绍，多年来，济南量子院也一直致力于量子通信安全的基础研究，在国际上开创性地发展了“测量器件无关量子密钥分发”理论和“双场量子密钥分发”理论，分别支撑实现了404公里和509公里量子保密通信世界纪录。

飞入寻常百姓家，为量子通信“立标准”

从2009年开始推动量子技术的产业化，到如今已有150多家行业用户接入，天地一体化量子通信网络已经实现了实用化。据介绍，目前京沪干线网络的密钥分发量可以支持1.2万以上用户同时使用。

在广域量子通信网络的雏形已基本形成的基础上，未来进一步推动量子通信在金融、政务、国防、电子信息等领域的广泛应用，已是相当清晰的发展趋势。随着骨干网的扩展，这张天地一体化量子通信网络还将形成更复杂的拓扑结构，今后将有可能在此基础上，构建国家地地授时网络，为定位、导航和授时服务提供保障。

如何让量子保密通信能够进入寻常百姓家，一直是研发团队关注焦点之一。2017年，国盾量子就与中兴合作，推出了全球首款使用量子密钥的商用安全加密手机。这种手机采用特制的SIM卡，将量子密钥充入手机中。不过，目前这款手机还不能随时接收量子密钥，只能使用存储在SIM卡中的密钥，来建立量子保密通信的链路。密钥消耗完之后，就必须重新“充”入新一批密钥，方能继续使用。不久之后，此类手机也将实现“多卡合一”“多号合一”模式，未来借助天地一体化量子通信网络等新基础设施建设，实现有线和无线之间的互联互通。

周飞认为，未来或许每栋建筑都可能预留出量子通信的信道接口，一幢大楼只需放置一台量子加密机，就能为所有用户提供密码接收服务。

不过，要将这些梦想变为现实，关键在于建立标准。目前，在天地一体化量子通信网络大量测试结果及标准化研究的基础上，全球三大标准化组织之一ISO/IEC正在基于京沪干线的实践编制国际标准《QKD安全要求、测试与评估方法》，另一国际组织ITU也正基于京沪干线的建设模式起草可信中继安全要求、QKD网络功能架构等国际标准。

在标准建立的过程中，济南量子技术研究院承担着其中的大量工作。“量子科技与行业发展结合，在工业互联网、金融等领域，一定可以产生大量新业态、新模式。”周飞相信，量子科技所带来的产业革命，必将释放出难以想象的巨大能量，给人类社会带来新纪元。

科学新知

上海期刊

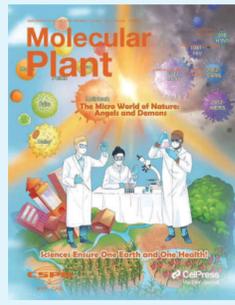
坏死肌纤维或促使肌肉干细胞增殖

最近，《细胞研究》以封面论文报道了一项研究，该研究首先发现，在肌纤维细胞中阻断细胞坏死的发生，会破坏肌肉的修复能力。研究还进一步发现，坏死的肌纤维能够释放促肌肉干细胞增殖的因子。

传统上，细胞坏死一直被认为扮演着对机体有害的角色。然而，在生理条件下发生的细胞坏死，所释放的胞内分子是否可能含有有益于机体维持稳态的因子？这个问题一直被忽略。

中国科学院分子植物科学卓越创新中心孙丽明研究组和胡莘研究组合作发现，在肌肉损伤修复过程中，肌纤维细胞通过发生细胞坏死，在死亡的同时高表达有益于组织修复的蛋白TNC，为肌肉干细胞的增殖提供了有利的微环境。

这项研究为理解细胞坏死通过释放蛋白因子直接激活组织干细胞增殖，进而推动组织修复，提供了重要的依据。(程磊整理)



《分子植物》由中国科学院分子植物科学卓越创新中心与中国植物生理与植物分子生物学学会主办

花药叶绿体功能研究获重要突破

《分子植物》近日发表的一篇论文发现，在植物花药发育过程中，叶绿体功能及其所介导的物质能量代谢对于花药发育具有重要作用，是花药叶绿体功能研究领域的重要突破。

花药是雄蕊产生花粉的主要部分。在这项研究中，科学家们发现花药内皮层叶绿体在花药发育早期具有淀粉周转能力，在后期具有光合作用能力，因此对花药发育和花粉形成具有不可或缺的作用。

此研究进一步解析了玉米花药内皮层叶绿体与绒毡层之间可能的协作模式，为植物雄性发育研究开拓了一个新视角。《分子植物》同期封面以此研究为例，阐释了植物科学以及多学科交叉研究的重要性。微世界中，一些花粉和病毒在大小形态上表现出高度的相似性，但它们对人类的影响却截然不同。为了有效地防治由这些病毒引起的传染病，科学家们需要联合起来，多学科发展，共同守护地球和人类的可持续发展，从而促进人类进步，增进人民健康福祉。

(吴斐婕整理)



《细胞研究》由中国科学院分子植物科学卓越创新中心主办

一种新型电磁波吸收剂研制成功

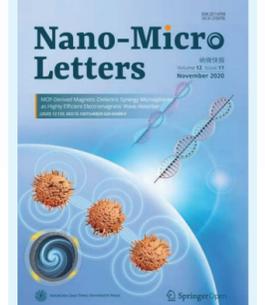
《纳微快报》近期以封面文章介绍了复旦大学车仁超教授在原位电磁场电镜方面做出的一系列突破性进展，该研究利用原位电镜解决了吸波材料的微观机制问题。

随着5G技术、隐身技术，以及民用物联网电磁兼容、抗电磁干扰技术的发展，电磁波吸波材料日益受到关注。功能材料的本征电磁特性和特殊的纳微结构，会对其电磁波能量转换产生重大影响。吸波材料与电磁波之间的作用机制，仍是困扰该领域发展的关键问题。

近20年来，车仁超教授围绕微波吸收材料展开了系统研究，制备出一系列不同结构和维度的高性能吸波材料。该团队通过溶剂热反应和碳热还原处理，成功地合成了由金属—有机骨架(MOF)衍生出的多孔Ni_{1-x}Co_x@Carbon复合材料。

在热分解过程中，生成的磁性颗粒/团簇充当催化剂以促进有机配体的石墨化转变，最终形成特殊核壳纳米结构单元。作为轻质、高效的电磁波吸收剂，MOF衍生出的Ni_{1-x}Co_x@Carbon微球具备良好的阻抗匹配特性和突出的衰减能力。

(沈淑莎整理)



《纳微快报》由上海交通大学主办



《光子学研究》由中国科学院上海光学精密机械研究所主办

远距离单光子成像创新纪录

《光子学研究》近期发表论文，报道了一种新的光学雷达系统，可在城市环境中实现距离长达45千米的单光子三维成像，创下了新的成像距离纪录。

光学雷达基于一种光学遥感技术，可在城市环境中实现超远距离目标探测。在现实应用中，光子会穿过充满各种散射损耗介质的空间，并在传播途中引入各种不可避免的噪声。在此等情况下，依然要得到高品质、高分辨率的遥感成像，非常具有挑战性。

这篇论文则报告了一种全新的远距离单光子成像雷达系统。在硬件方面，研究人员搭建了一套高效率、低噪声的同轴扫描收发系统，既能对微弱的回波光子信号进行收集，又能高度抑制背景噪声。在软件上，他们开发了一套适配于远距离的计算成像算法。在光子信号极少的情形下，该算法仍具有极高的光子效率和超分辨率能力。该系统对于面向低功耗和高分辨率的超远距离激光雷达研究，具有里程碑式的重要意义。

(杨蕾整理)

国盾安全手机 A2021H

▶全球首款使用量子密钥的商用安全加密手机



▶量子保密通信电话设备