量　子　星　辰　照　亮　地　球

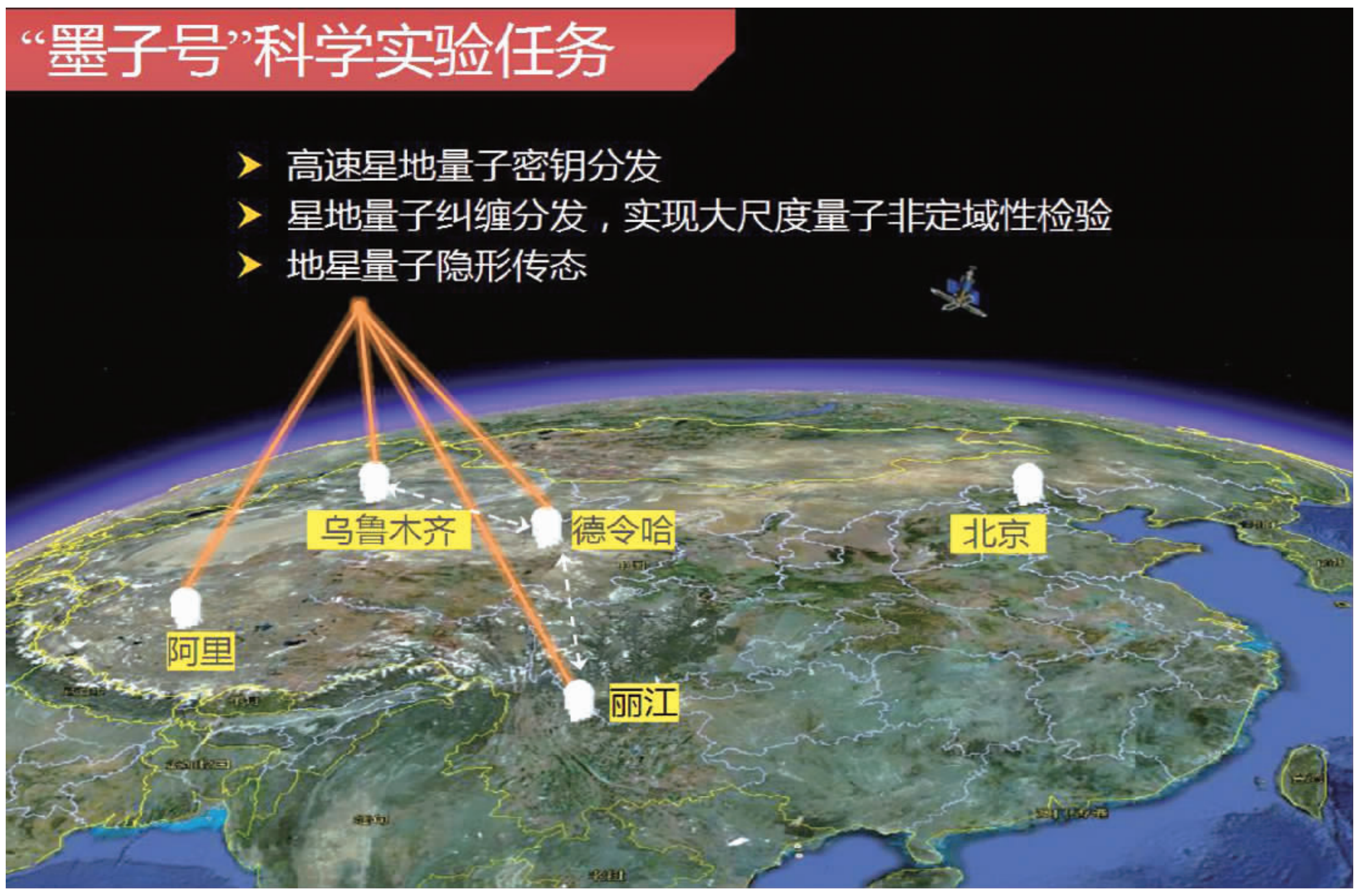
——世界首颗量子卫星“墨子号”提前完成全部预定科学目标

经济日报·中国经济网记者　佘惠敏

热点追踪

8月10日凌晨，我国科学家潘建伟院士领导的中科院联合团队关于量子卫星“墨子号”的两篇科研论文同时在线发表在国际权威学术期刊《自然》杂志上，内容分别是“墨子号”在国际上首次成功实现从卫星到地面的量子密钥分发，以及从地面到卫星的量子隐形传态。潘建伟团队今年6月已发布在《科学》杂志的一篇论文宣布，“墨子号”成功实现了千公里级星地双向量子纠缠分发及大尺度量子非定域性检验。

中国科学院院士、中国科学技术大学教授、量子科学实验卫星首席科学家潘建伟宣布：至此，“墨子号”已圆满实现预先设定的全部三大科学目标。



这些科学目标的实现有何意义？量子卫星的下一阶段目标是什么？我国空间科学还将瞄准哪些前沿去发力？请看经济日报·中国经济网记者采写回来的报道。

量子通信：天文高度的领跑

在最近发表的这些实验中，量子技术已经突破了天空的限制，为我国在国际上抢占了量子科技创新制高点，成为国际同行的标杆

“这两篇论文的发表，意味着潘建伟教授和他的研究团队顺利完成了3项量子实验的展示，这些实验将会是全球任何基于空间量子网络的核心组成部分。”《自然》杂志的物理科学主编卡尔·齐姆勒斯介绍，在第一篇论文中，研究团队用相互纠缠的光子安全传送了至关重要的量子密钥，而量子密钥是保障通讯极高保密性的关键。在第二个实验中，研究团队展示了如何用处于纠缠态的光子来实现量子力学中最著名却神秘莫测的方面——量子隐形传态。研究团队通过量子隐形传态，远距离将一个位于地球或太空的物体的量子态信息传送给另一个在地球或太空的物体，而物体本身却不需要移动。

“以前人们会说量子技术的极限在天边，但这说法其实有些保守了。在最近发表的这些实验中，量子技术已经突破了天空的限制，这也是中国在物理科学方面投资及努力的证明。正因为有了这些投资与努力，该研究团队才能够将应用型量子通信技术研究提升到如此的天文高度。”卡尔·齐姆勒斯盛赞了中国研究团队在空间量子技术方面的成绩。

本次发布的星地高速量子密钥分发，是“墨子号”量子卫星的科学目标之一。实验采用卫星发射量子信号，地面接收的方式。“墨子号”量子卫星过境时，与河北兴隆地面光学站建立光链路，通信距离从645公里到1200公里。在1200公里通信距离上，星地量子密钥的传输效率比同等距离地面光纤信道高20个数量级（万亿亿倍）。卫星上平均每秒发送4000万个信号光子，一次过轨对接实验可生成300kbit的安全密钥，平均成码率可达1.1kbps。这一重要成果为构建覆盖全球的量子保密通信网络奠定了可靠技术基础。

本次发布的地星量子隐形传态是“墨子号”量子卫星的另一科学目标。量子隐形传态采用地面发射纠缠光子、天上接收的方式，“墨子号”量子卫星过境时，与海拔5100米的西藏阿里地面站建立光链路。地面光源每秒产生8000个量子隐形传态事例，地面向卫星发射纠缠光子，实验通信距离从500公里到1400公里，所有6个待传送态均以大于99.7%的置信度超越经典极限。假设在同样长度的光纤中重复这一工作，需要3800亿年（宇宙年龄的20倍）才能观测到1个事例。这一重要成果为未来开展空间尺度量子通信网络研究，以及空间量子物理学和量子引力实验检验等研究奠定了可靠的技术基础。

2016年8月16日发射升空的“墨子号”量子卫星，是由我国完全自主研制的世界上第一颗空间量子科学实验卫星。该卫星从科学概念的提出到关键技术突破，从工程组织实施到科学成果产出，均由我国科学家主导完成。

现在，“墨子号”量子卫星提前、圆满地完成了预先设定的全部3大科学目标，标志着我国在量子通信领域的研究在国际上达到全面领先的优势地位。“墨子号”也开启了全球化量子通信、空间量子物理学和量子引力实验检验的大门，为我国在国际上抢占了量子科技创新制高点，成为国际同行的标杆，实现了向“领跑者”的转变。

千年梦想：不被破解的密码

与经典通信不同，量子密钥分发通过量子态的传输，在遥远两地的用户共享无条件安全的密钥，这是目前人类唯一已知的不可窃听、不可破译的无条件安全的通信方式

“不被破解的加密技术，是人类的千年梦想。而所有依赖于计算复杂度的传统加密算法原则上都会被破解。”谈起发射量子卫星的科学设想源起，潘建伟这样感叹。

确实，在现代社会，信息安全面临的问题越来越严重。RSA 512密码1999年被破解；RSA 768密码2009年被破解；标准密码“配对密码”在2012年被破解；广泛应用于文件数字证书中的SHA-1算法2017年2月被谷歌破解。

人们怀疑，以人类的才智无法构造人类自身不可破解的密码。而量子力学的百年积累，却为信息安全做好了准备。

量子是构成物质的最基本单元，是能量的最基本携带者，不可分割。量子的各种态不能精确测量，也不能被精确复制。量子不可克隆和不可分割的特性，使得量子通信一旦被窃听就必然被发现。

与经典通信不同，量子密钥分发通过量子态的传输，在遥远两地的用户共享无条件安全的密钥，利用该密钥对信息进行一次一密的严格加密，这是目前人类唯一已知的不可窃听、不可破译的无条件安全的通信方式。量子通信的另一重要内容是量子隐形传态，它利用量子纠缠可以将物质的未知量子态精确传送到遥远地点，而不用传送物质本身。远距离量子隐形传态是实现分布式量子信息处理网络的基本单元。

今年五月，在新疆乌鲁木齐南山“墨子号”量子科学实验卫星过境（合成照片）

量子通信通常采用单光子作为物理载体，最为直接的方式是通过光纤或者近地面自由空间信道传输。但是，这两种信道的损耗都随着距离增加而指数增加。由于量子不可克隆原理，量子通信的信号不能像经典通信那样被放大，这使得之前量子通信的世界纪录为百公里量级。根据数据测算，通过1200公里的光纤，即使有每秒百亿发射率的单光子源和完美的探测器，也需要数百万年才能建立一个比特的密钥。

因此，要实现安全、长距离、可实用化的量子通信，就必须利用外太空几乎真空因而光信号损耗非常小的特点，通过卫星辅助大大扩展量子通信的距离。同时，卫星具有方便覆盖整个地球的独特优势，因而成为在全球尺度上实现超远距离实用化量子密码和量子隐形传态最有希望的途径。

2003年，潘建伟团队提出了利用卫星实现星地间量子通信、构建覆盖全球量子保密通信网的方案，随后于2004年在国际上首次实现了水平距离13公里（大于大气层垂直厚度）的自由空间双向量子纠缠分发，验证了穿过大气层进行量子通信的可行性。2011年底，中科院战略性先导科技专项“量子科学实验卫星”正式立项。2012年，潘建伟领衔的中科院联合研究团队在青海湖实现了首个百公里的双向量子纠缠分发和量子隐形传态，充分验证了利用卫星实现量子通信的可行性。2013年，研究团队在青海湖实现了模拟星地相对运动和星地链路大损耗的量子密钥分发实验，全方位验证了卫星到地面的量子密钥分发的可行性。之后，该团队经过艰苦攻关，克服种种困难，最终成功研制了“墨子号”量子科学实验卫星。

现在，“墨子号”既实现了千公里级的星地高速量子密钥分发，又实现了远距离地星量子隐形传态，意味着“不被破解的加密技术”这个人类千年梦想，已经有了成为现实的科技基础。

空间科学：群星闪耀的未来

在“墨子号”随后的一年多设计寿命里，量子通信实验将开展洲际合作，并将实现量子通信与经典光通信相融合的安全信息传输，还希望实现基于纠缠的远距离量子密钥分发

“墨子号”量子卫星的设计寿命为两年，现在一年不到就已完成全部科学目标，剩下的一年多时间，它还将瞄准哪些新目标呢？

首先，量子通信实验将开展洲际合作。潘建伟透露，目前科研团队正与欧洲量子通信团队合作进行洲际量子密钥分发，已顺利完成与奥地利格拉茨地面站的对接测试，正在开展量子密钥分发实验，“墨子号”即将具备洲际量子保密通话的条件。与德国和意大利等国的洲际量子密钥分发合作也正在计划中。

其次，将实现量子通信与经典光通信相融合的安全信息传输。通过量子手段传递的并不是信息本身，而是密钥；信息还是通过经典的激光通信手段传播。下一步目标，是实现二者的融合传输，让量子通信与经典通信网络实现无缝链接。

潘建伟还希望实现基于纠缠的远距离量子密钥分发。这一目标实现后，即使“墨子号”卫星被别国捕获控制，只要量子纠缠能够产生，我国科学家还是能够通过“墨子号”进行安全的量子密钥分发。

此外，科学家们并不满足于“墨子号”这一颗量子卫星，他们希望发射更多的量子卫星，通过卫星组网，实现高效的全天时、全球化量子通信。“单颗低轨卫星无法直接覆盖全球，目前只能在地影区工作。”潘建伟表示，希望通过多颗量子卫星组成的量子星座，配合地面的光纤网络，构建完整的空地一体广域量子通信网络体系，把量子密钥分送到千家万户。

量子通信技术蓬勃发展，未来有望在国防、政务、金融和能源等领域加以广泛应用，形成具有国际引领地位的战略性新兴产业和下一代国家信息安全生态系统。

“墨子号”并不是一枝独秀的独苗，它是中科院空间科学先导专项在“十二五”期间支持的4颗科学卫星之一。除“墨子号”外，其他3颗科学卫星均已成功发射——“悟空号”暗物质粒子探测卫星、实践十号返回式科学实验卫星、“慧眼号”硬X射线调制望远镜卫星均获得了大量科学数据，相关科学成果还将陆续发布。

中国科学院院长白春礼院士透露，未来，还将有更多中国发射的科学卫星在太空闪耀。中科院已在空间科学先导专项中对“十三五”“十四五”期间的科学卫星进行安排和部署，将聚焦于宇宙的起源、黑洞、引力波、系外行星探测、太阳系资源勘探、太阳爆发机理、地球空间爆及其粒子逃逸、水循环和全球变化的关系等当前国际重大基础科学前沿。其中，中科院与欧洲航天局联合支持的太阳风—磁层相互作用全景成像卫星（SMILE）已经立项实施，爱因斯坦探针卫星（EP）、先进天基太阳天文台卫星（ASO-S）已经启动立项综合论证。

我们期待着，在不久的将来，群星闪耀的中国科学卫星，将为我国早日建成世界科技强国作出重要和不可替代的贡献。

潘建伟院士介绍“墨子号”卫星已取得的科研成果。　本报记者　佘惠敏摄

科技万象

标…「生…」的…

本报记者　杜　芳

从前农民种田，松软的土地“会呼吸”，一锄头下去，能翻出许多湿漉漉的蚯蚓；现在却不一样了，田地不长虫、不生草，“地下生物”也少了。农药、化肥乃至更多“加工品”的使用，虽然催生了单产，但也让土地的健康状况每况愈下。

中国工程院院士、北京林业大学教授尹伟伦告诉《经济日报》记者，当前全国土壤环境质量总体良好，但局地土壤污染严重且变化加剧。我国粮食产量占世界的16%，化肥用量却高达31%——每公顷化肥用量是世界平均用量的4倍。这造成了整个土壤中营养不平衡，过量的化肥也不能持效，很快被水分冲到地下，造成环境污染。土壤有机质的含量在大大减少，土壤在衰退……

与此同时，农药中大量有机氯和有机磷等也污染着土壤，并导致农作物对于病虫害的免疫能力降低，给农业粮食安全带来严重问题。再加之农膜污染、重金属污染、秸秆焚烧等不良因素，导致土壤生物多样性、土壤生态系统，特别是土壤微生物受到巨大影响，水、土、气、PH等要素也被逐渐改变。

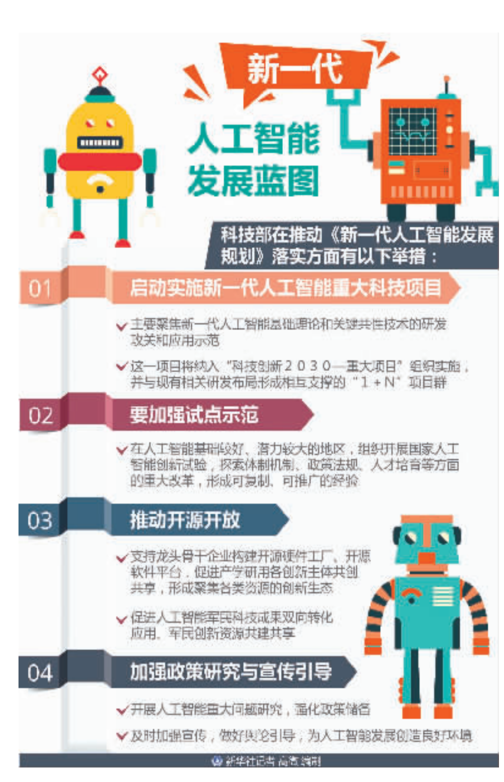
如何治疗这些“生病”的土壤？专家表示，还需因地施策、标本兼治。

畜禽粪便资源化利用是最直接的手段。目前，在广西许多地方小面积进行的换土翻土与有机肥利用，成效显著。但在有机物转化成肥料过程中，也需要注意很多问题。“为促使皮毛光滑，有些动物饲料中加了大量的硫酸铜；为促进畜禽大量产蛋，有的加了不少激素和抗生素。因此，有污染的粪便在资源化利用前，应该分析出来并统统用到林地的木材生产中，确保无残留的粪便进入农业地。”尹伟伦说。

生物修复技术好似一副调理的“中药”，通过利用生物多样性、多物种，对于地力恢复起到了很好的自我调节。其中，微生物菌群的加入，以及利用光化学、太阳辐射、菌根等方法，对于污染物的降解分解都具有良好效果。一些吸收重金属的林木还可以解决土壤中的轻度污染。因此，可以采取农业与林业轮作的方式，把污染的土地有效利用到林业生产中，经过一段时间再回到农业上去。此外，还可以借助化学物质，如碱性的磷酸盐、碳酸盐和石灰等，使用抑制剂，将重金属转化为难溶解的化合物，减少农作物对其吸收。

针对不同病情，需要开出不同的处方。中国工程院院士、中国环境监测总站研究员魏复盛指出，要对农业污染问题采取分类施策措施。对于没有污染或轻微污染的土壤要优先保护，对于轻度、中度污染的土壤要安全利用，并通过产业结构调整、农艺措施改善土壤环境。比如，在污染的土地上种植水稻会吸收镉，而种植荔浦芋头就不吸收，可以防止二次污染。而对于重度污染的土壤，要依法依规改变土壤用途，退耕还林还草。

专家表示，解决农地污染最根本的举措还是要推进农业现代化和产业化，推动农业的循环生态建设，科学合理用肥、用药。“为此，我们要强化科技支撑和产业的发展，建议设立土壤保护与污染防治重大科技专项，加强对土壤污染来源、演化机理、不同形态污染物在土壤中的消长转化规律研究，加强土壤保护与污染防治核心技术、药剂装备的研究。此外，我们还要以环保、农业、国土部门为主，建设国家土壤环境质量监测网络，按照统一规划、统一标准、统一规范、统一评价方法，实行农作物土壤环境质量点对点协同监测，实行监测数据共享。”魏复盛说。



本版编辑　郎　冰

联系邮箱　jjrbxzh@163.com