量子“飞天”，难在哪儿？

■本报记者 赵宇彤

11 月的北京，天气转凉，而在中国民航科学技术研究院内，却是一派热闹景象——“致未来·C-Talk”公益性科技演讲大会现场，百余位不同行业的专家学者讨论得热火朝天。

一边是叩问微观世界的量子科技专家，一边是放眼万米高空的航空从业者，这些来自不同领域的观点激烈碰撞，只为探索同一个追问：量子与航空的融合，将重新定义什么？

把量子带上天空

提起量子，你会想到什么？是微观世界中连肉眼都无法分辨的原子，还是高深莫测、科幻小说里常常出现的物理词汇？

“从量子力学的角度来讲，我们经历了两次量子科技革命。第一次是被动发现了量子力学的一些规律；第二次则是进入 21 世纪，量子计算、量子通信和量子精密测量等新兴技术极大地改变和提高了人类获取、传输、处理信息的方式及能力。”活动现场，北京量子信息科学研究院研究员于海峰介绍道。

而量子这一微观世界能量、物质的最小离散基本单元，如何与翱翔在蓝天白云中的钢铁巨物摩擦出创新的火花？

“先回想一个生活场景，无论出行是开车还是骑车，都会依赖手机的导航软件。”中国航空工业集团西安飞行自动控制研究所高级工程师王宇晨举了个例子，一旦进入隧道、地下车库等卫星信号薄弱的地方，定位就极易中断。

“但如果是航空器，比如一架满载数百乘客的民航客机，遇到天气干扰和电磁场异常等突发情况，卫星信号中断，会怎样呢？”看着台下面面相觑的目光，王宇晨指出，“当前航空导航的重要问题，就是过度依赖脆弱的卫星信号。”

除了卫星信号，还有哪些方式能够实现可靠导航？微观世界的原子给出了新答案。

“原子跃迁频率不随外界环境、温度变化而改变，量子惯性传感理论上具备无漂移的特性，原子在真空内部自由运行，不会因外界干扰而产生偏差。”王宇晨解释称，这一技术能在卫星信号受限时，为飞行安全构筑一道屏障。

从目视飞行到机械罗盘辅助驾驶，再到惯性导航技术的成熟、卫星和无线电构筑起新型导航网络……迈向航空的每一步里，人类都有着更高、更远、更安全的导航追求。

“当工程控制能力和触角逐渐深入微观世界中最底层原子的时候，我们可以探索构建一种基于量子惯性传感的新型导航体系。”王宇晨说，有朝一日，原子也将支撑航空器实现更安全、从容的飞行。

让“对话”更安全

在飞机与卫星的“对话”中，安全性是不容忽视的另一大挑战。

“通信是永恒的追求，如今的数据都是有价值的，我们希望能得到更高的安全性保障。”清华大学物理系教授李俊林说。而他和团队采用的方案，是高速移动光通信。

“光通信和微波通信相比，最大的优点是快。”李俊林介绍道，对于飞机这类高速移动平台，通常对通信速率有较高要求。而在速度之外，通信安全和数据安全则是另一重挑战。

在飞机与卫星的空间光通信中，传统调制方式易受大气湍流、风场干扰，再加上两者都在高速移动，想要精准对准、稳住光束并不容易。

“基于量子光学的相关性，我们研究了关联通信技术。”李俊林说，这一方案不仅抗湍流、抗环境光干扰能力突出，还能大幅降低瞄准跟踪的精度要求，多普勒频移带来的影响几乎可以忽略不计。

安全这件事，不只存在于万米高空。低空经济要想行稳致远，清晰可靠的实时空域感知同样必不可少。

“随着低空飞行器越来越多，大量‘低慢小’目标很难被发现。而且，楼房遮挡、地面杂波、恶劣天气，都会让传统微波雷达的效果大打折扣，使其面临很大的现实挑战。”中国民航科学技术研究院总工程师李敬说。

一旦监视存在盲区，就难逃安全隐患。而量子感知凭借独特的物理机制，为低空监视提供了新思路。

“单光子探测可捕获微弱光回波，支撑弱信号下的测距与成像，而高灵敏度量子磁传感器能够捕捉细微磁场变化，在特定场景实现无源探测，形成有效补充。”李敬说。

而当前更务实的思路，不光是在技术上找到突破口，还得拿到真实低空环境中进行实测验证。

“能不能探测到目标？会不会误报？能覆盖多大范围？成本能否接受？”李敬抛出一连串问题，“把它们和雷达、光电、无线电监测融合验证，多一条感知路径就多一层安全保障。”

这些想法不只是说说而已。“探测更灵敏，低空运行更稳妥，城市迎接新业态时才能从容有序。”这正是李敬想要达成的目标。

“飞天”？没那么简单

当量子科技离开物理学家的实验室，走向真实的工程应用，还面临着更多挑战。

“现实中，民航客机具有机体、发动机震动等问题，且高空气流会影响整个系统，地球不同区域还存在电磁噪声。”王宇晨指出，而多重噪声的叠加，不仅会干扰量子精密测量，甚至会淹没微弱的量子传感信号。

此外，目前法国天文台拥有当前精度最高的冷原子陀螺，可以精准感知地球自转二十万分之一的微弱变化。但这套装置“个头”远超两米，相较于寸土寸金的飞行器内部空间，这类庞大的产品形态无法直接上机，还需要持续优化、缩小体积，才能真正塞进飞机机头。

“尽管量子传感器具备高精度的测量特点，但现阶段在工程上仍无法像传统测量方案一样，覆盖很大的测量范围。”王宇晨说，如何实现二者的结合仍是一道难题。

“我们可以把传统传感器看成游标卡尺的主尺，量子传感就是上面那把游标：主尺负责大范围测量，量子游标则提供更高精度、不会慢慢漂移的基准。”在王宇晨看来，如果能充分发挥两类传感器的长处，就能进一步提升航空导航传感器的整体性能。

“当前，在流体力学领域，量子计算机还只是‘小试牛刀’的应用。”于海峰认为，在航空航天领域，量子计算有三大“看家本领”。

首先是存储能力，量子比特越多，存储量就会呈指数级上涨。50 个量子比特就能达到大约 10^{16} 的存储规模，在进行有限元网格计算时，能画出密度极高的计算网格。

其次，在求解线性方程组时，用于求解线性方程组的量子加速线性方程算法可以处理不少棘手的计算问题，是计算流体力学的强大工具。

最后，量子演化擅长解决组合优化、寻找最优方案这类问题。简单而言，就是先把问题翻译成量子的初始状态，规划演化路径，从中搜寻最优方案。

“这三点就是量子计算切入流体力学的潜在方向。”于海峰总结道，面对更复杂的场景，离不开算法与硬件的持续优化，“这也是量子计算和航空领域深度融合的突破点”。

发现·进展

中国科学院大连化学物理研究所

实现四原子反应立体动力学调控

本报讯（记者孙丹宁）近日，中国科学院大连化学物理研究所研究员杨学明院士团队联合该所张东辉院士和刘舒研究员团队，在四原子反应的微分立体动力学研究中取得新进展。相关成果发表于美国《国家科学院院刊》。

分子反应动力学旨在揭示反应碰撞过程的详细机制，并最终实现对反应产物的调控。在量子态水平上制备反应物是实现这一目标的主要手段。研究团队结合高分辨交叉分子束实验与全维量子动力学计算，研究了 $HD(v=1,j=2)+OH\rightarrow D+H_2O$ 反应，非极性的 HD 分子被制备在键轴平行或垂直于相对速度方向的两种初始排列上。详细的散射波函数分析表明，初始 $m=\pm2$ 量子态没有经过势能面上的静态过渡态，而是经由非共面的动力学过渡态。该过渡态中的非零二面角是三原子反应中不存在的几何自由度，它降低了反应活性，增强了侧向散射，同时使产物的振转态分布基本保持不变。此外，HD 分子的初始排列信息被保留在了产物 H_2O 的转动方向上。

该工作从实验和理论两方面研究了分子—分子反应中的微分空间不对称，并证明了反应物的取向排列可以引导反应经由不同的动力学过渡态，从而控制反应途径。

相关论文信息：*https://doi.org/10.1073/pnas.2625794123*

华中农业大学

揭秘成虫发光器官发育机制

本报讯（记者甘晓）华中农业大学植物科学技术学院教授付新华、副教授吴刚团队通过追踪一种昼行性萤火虫，揭示了萤火虫成虫发光器官发育及发光调控的机制。相关研究成果近日发表于《自然－通讯》。



峨眉黑脉萤。 付新华/摄

10 多年前，付新华在四川野外发现一种翅膀呈鲜红色的萤火虫。这种名为峨眉黑脉萤的萤火虫，幼虫能够发光，但成虫不发光，而是在白天依靠性信息素求偶。该团队认为，这种翅膀鲜红的萤火虫可能是理解发光器发育与调控机制的一扇窗。

研究发现，峨眉黑脉萤在从蛹发育为成虫的过程中，其腹部的成虫类型发光器并未发育，且腹部表皮全部变黑。同时，幼虫时期原本存在的球形发光器，在成虫羽化后也迅速凋亡。

团队将峨眉黑脉萤与仍会发光的近亲雷氏萤进行基因组和跨物种比对。结果发现，发光关键基因 Luc1 在各发育阶段均不表达。与此同时，与发光层、透明角质层、反射层对应的 3 套代谢基因模块整体萎缩，上游由 Abd-A/Abd-B 主导的调控网络也发生简化，发光器因此无法建成。

反过来，研究人员在会发光的雷氏萤中将关键基因漆酶 Lac2 的两个剪接型分别敲低。敲掉 Lac2a，成虫表皮失去色素、发光器结构崩坏、亮度骤降；敲掉 Lac2b，闪光节律被打乱，变成持续微光。这恰好把峨眉黑脉萤的两种缺陷分别在实验室里复现了出来。实验结果从正反两面印证了峨眉黑脉萤不发光的机制。

研究进一步发现，这些基因并非各自独立失灵，而是调控它们的上游网络在这一谱系中发生了简化。据此，团队提出“调控网络简化”的解释框架：复杂器官在进化中的丢失，未必源于某个基因的一次性突变，而可能来自整个调控网络的改变。这一发现为理解生物学中复杂性状在进化过程中的获得与丢失提供了重要的科学依据。

相关论文信息：*https://doi.org/10.1038/s41467-026-78505-w*

全国科技名词委

2026 年收录近 6 万条科技名词

本报讯（记者高雅丽）11 月 20 日，全国科学技术名词审定委员会（简称全国科技名词委）2026 年度工作会议暨学术年会在京举行。会议集中发布了 28 部学科名词审定公布成果，2026 年累计收录规范科技名词 59575 条。会上还发布了 2026 年度学科研究前沿热点词，涵盖 18 个学科领域，词元、智能体编程、中微子天文学、脑机接口、低空安全等入选。

此次发布的 28 部成果涵盖临床医学名词 4 部，包括神经外科学、普通外科学、高原医学、医学信息学；公共卫生与预防医学名词 22 部，包括营养学、毒理学、消毒学等，以及中医药学名词（第二版）、自动化科学技术名词（第二版）。

2026 年度学科研究前沿热点词覆盖测绘学、水利科技、编辑与出版学、天文学、临床医学、煤炭科技、美术与书法、公共卫生与预防医学、戏剧、博物馆学、护理学、民用航空、计算机科学技术、舞蹈、信息与通信科技、音乐、艺术学、广播电视与网络视听艺术等 18 个学科领域。各学科名词审定委员会专家结合最新研究动态，对入选热点词逐条阐释，集中反映相关学科一年来的重点突破方向和前沿走向。

武汉大学李德仁院士团队发布“时空智能学”，南方科技大学医学院院长王松灵院士团队发布“稳态医学”。这两项成果均产生于我国科学家在前沿领域的原创性实践，标志着新概念新术语体系化工作正在纵深推进。



11 月 24 日，由中国科学院合肥物质科学研究院建设的 400 米大气环境气象梯度观测塔（庐州塔）项目主塔钢结构完成第 42 节吊装作业，主塔结构顺利封顶。

庐州塔坐落于合肥未来大科学城，是一座集大气污染梯度、温室气体通量、气象全要素精细化连续观测为一体的大型科研设施。庐州塔将在结构封顶后，陆续开展塔身气象伸臂、观测平台、内外升降机、强弱电系统等附属结构及科研设备安装调试工作。项目计划于 2027 年 9 月全面竣工投用。

庐州塔总高 410 米，配备 23 个固定观测平台和 1 个可连续升降观测舱，投用后可开展从地面到高空的大气环境气象梯度观测研究，为地基、机载、星载等大气立体探测装备研发提供技术验证平台。

图为 400 米大气环境气象梯度观测塔。

本报记者王敏报道
中国科学院合肥物质科学研究院供图

全球猪肾移植存活最长患者术后满 365 天

中国异种移植如何迎头赶上

■本报记者 张思玮 通讯员 李春雨

近日，美国新罕布什尔州 58 岁女性患者 Molly Falco 接受基因编辑猪肾移植满一年（365 天），成为目前全球已知接受猪肾移植后存活时间最长的活体患者。据国外媒体报道，该患者没有出现严重并发症，目前不再需要透析。

据悉，这枚猪肾来自生物技术公司 eGenesis 培育的基因编辑供体猪 EGEN-2784，于 2025 年 11 月 22 日在美国麻省总医院被植入患者体内。

“真正的价值不在‘365 天’这个数字，而在于它把异种肾从‘奇迹叙事’推进到‘工程叙事’——基因编辑方案可行、免疫抑制组合可调、生物安全可控、肾功能可维持。”华中科技大学同济医学院附属同济医院器官移植研究所教授陈忠华在接受《中国科学报》采访时表示，异种移植已翻开新的一页，中国异种移植必须迎头赶上。

从个案推向临床

麻省总医院肾移植项目医疗主任 Leo Riella 直言，经过对 Falco 及此前几位患者的治疗，医生已经积累了一些经验，例如哪些药物需要继续使用，哪些药物可以适当减量。“对于希望长期依靠猪肾维持生命的患者而言，找到合适的药物使用平衡至关重要。”

Riella 团队预计明年将公布一项新临床研究结果。如果研究结果积极，研究团队希望在大约 5 年内，能够拥有一种获准用于人体的产品，为部分特定患者提供一种替代透析的治疗选择。

此前，美国食品药品监督管理局已批准纳入 30 例及以上患者的注册性临床试验，将主要终点设在术后 24 周，也反映出异种移植正在从个案探索走向队列研究。

陈忠华认为，谁能率先把个案成功转化为稳定、可重复的临床结果，谁就有望在下一阶段的国际竞争中占据主动。

这一转变背后，也是异种移植技术路线的持续演进。其实，异种移植的每一次失败和成功，都在帮业内专家将术后免疫反应的时间轴一寸一寸标定出来。

陈忠华表示，美国纽约大学猪心移植 66 小时后的多组学分析、61 天猪肾脑死亡模型构建，以及麻省总医院 271 天猪肾移植的临床实例等，为我们提供了有价值的线索——排异反应什么时候启动、什么时候达到顶峰、什么时候是治疗“窗口期”，都逐渐有了分子层面的答案。

异种器官进入人体后，首先面临的是超急性排斥反应。由于猪与人体之间存在种属差异，人体预存天然抗体可能迅速识别猪器官表面的异种抗原，并激活补体系统，导致移植物在短时间内发生严重损伤。基因编辑技术通过敲除猪体内与异种抗原相关的关键基因，降低人体天然抗体对异种抗原的识别和攻击，从而为移植物在人体内发挥功能创造条件。

近年来，异种移植研究的最大突破是解决了超急性排斥反应问题，即通过敲除猪的 3 个关键基因，避免了以分钟或小时计算的排斥反应。

但这只是第一步。事实上，基因编辑已经解决了超急性排斥这个长期被视为关键屏障的难题，但抗体介导排斥、T 细胞介导排斥、固有免疫激活在迄今几乎所有异种移植案例中都出现了。

陈忠华表示，常规组织病理和标准临床监测的灵敏度不够，识别不出亚临床损伤，等能看到时已经错过了干预窗口——这才是当前最大的瓶颈。

Falco 实现一年有功能存活的意义，不仅在于刷新了存活时间纪录，更在于异种肾移植正在从个案突破走向更加系统的临床探索，也再次证实了异种移植后精准诊治的重要作用。

分子信号永远早于病理信号，没有精准诊断就没有精准应对。因此，如何进一步优化基因编辑方案，进行精准诊断与治疗，从而建立更加精准的免疫抑制策略，是异种移植从短期存活迈向长期有功能存活必须面对的挑战。

跨越 3 道门槛

国外异种移植不断取得进展，中国异种移植也已实现“从跟跑跨到并跑，部分赛道领跑”。但陈忠华表示，要保持这一发展势头，不能只关注个别技术突破，还须系统布局核心技术、自研药物、工业化产业链、行业标准和国际协作。

陈忠华认为，目前中国异种移植仍须跨越 3 道门槛。

一是稳定、可重复的临床前研究数据。按照国内行业提出的基线要求，需要连续完成 6 例猪－非人灵长类动物移植研究，受体存活超过 6 个月的比例达到 60%以上。只有积累稳定、可重复的长期数据，才能为后续临床研究提供更可靠的依据。

第二是国产核心免疫抑制药物。目前异种移植使用的药物主要是同种器官移植领域的传统药物，缺乏专门针对猪－人种属差异设计的药物。现有药物存在靶点不够精准、剂量大、疗程长、用药品种多等问题，术后感染和肝损也是需要面对的风险。随着异种移植向长期存活推进，开发更有针对性的免疫抑制药物，将成为提升移植物长期功能的重要方向。

第三是标准化产业体系。异种移植用无指定病原体医用供体猪，屏障环境下繁育、病原筛查、器官离体保存和冷链运输等环节，目前仍处于起步阶段。供体猪培育、器官获取、保存运输和质量控制涉及多个专业领域，任何一个环节出现问题，都可能影响移植器官的质量和安全性。

“这 3 道门槛，不能单靠一个部门、一个实验室，必须‘高校＋医院＋企业＋监管’四方共同努力。”陈忠华强调。

异种移植是补充

异种移植有望为器官短缺提供新的解决途径，在可预见的 3 至 5 年初级阶段里，其定位就是“桥接”——给等不到肾的人争时间，而不是取代人源移植。

“初期作为让患者脱离透析、等待人源供肾的‘桥梁’，随着长期安全性和耐久性建立，才可能成为独立终点治疗。”Riella 表示。

这意味着，异种移植的发展应当与传统器官捐献体系形成补充关系，而不是替代关系。即使未来异种器官的安全性和长期功能得到进一步验证，如何确定其适用人群、临床定位和长期管理方式，仍需更多临床证据。

陈忠华表示，从一年有功能存活的突破，到临床前研究、专用药物和产业体系的建设，再到审批机制和临床规范的完善，异种移植真正成为患者可及的治疗选择，还有一段路要走。

中国科学院成都生物研究所等

植物新种“红花卫矛”发表

本报讯（记者杨晨）近日，中国科学院成都生物研究所生物多样性保护中心西南山地植被调查与编研创新团队联合重庆三峡医药高等专科学校的科研人员，在《植物》发表了一个卫矛科卫矛属植物新种 *Euonymus zhongianus* J.Hu & Q.-Liu，并根据花色深红色将其拟名“红花卫矛”。研究人员结合野外形态观测、标本比对及分子遗传证据，厘清该新种与近缘类群的分类界限，并根据现有种群资料完成了初步保护评估。

2021 年至 2022 年间，科研人员在石柱土家族自治县山地野外调查中发现一处卫矛属未知小居群，其植株和花形态近似荚蒾卫矛，但果实、假种皮性状差异明显。仅依靠野外形态无法准确判断该未知居群的系统发育位置，为厘清它和近缘物种的演化关系，研究人员分别基于核基因、叶绿体基因构建系统发育树，开展分子系统学研究。分子分析结果表明，红花卫矛与百齿卫矛互为姊妹群。

依据分子分析锁定的近缘类群，进一步开展形态对比观察表明：红花卫矛与荚蒾卫矛、都安卫矛、百齿卫矛存在部分共同形态特征，均为常绿灌木，侧脉弧曲不达叶缘，花 4 数，花柱、花丝不显著。但可通过一组综合性状将红花卫矛与上述近缘物种区分：植株高 0.8~1.5 米，叶薄革质，叶柄长约 2 毫米，侧脉 3 至 6 对；花瓣红色，蒴果裂瓣椭圆形，橙黄色假种皮包裹种子 2/3 以上。

科研人员依据物种红色名录标准，因现有调查数据不足，将红花卫矛评估为数据缺乏。他们建议继续开展周边喀斯特生境专项调查，并对已知野生居群实施长期野外监测。

相关论文信息：*https://doi.org/10.3390/plants15223533*

社址：北京市海淀区中关村南一条乙 3 号 邮政编码：100190 新闻热线：010－62580621 广告热线：010－62580726 发行热线：010－62580707 广告经营许可证：京海工商广登字 20170236 号 零售价：1.00 元 年价：218 元 工人日报社印刷厂印刷 印厂地址：北京市东城区安德路甲 61 号