

院士讲科普·未来产业

无创接入，脑机接口迎来更多可能

郑海荣

脑机接口是连接人脑与外部设备的新型人机交互技术，也是当前全球科技竞争的前沿领域。这一技术可以构建大脑与机器的直接信息通路，实现神经信号的读取、解码与写入，推动碳基生物智慧与硅基人工智能深度融合。

目前，全球脑机接口正处于实验室研发向规模化应用过渡的关键阶段，侵入式技术虽取得阶段性成果，但生物相容性、长期安全性等瓶颈仍难以突破。多年来，我与团队深耕无创脑成像与神经调控领域，致力攻克无创超声脑机接口方面的多项技术难题，探索出一条非侵入式脑机接口技术发展之路。

不同技术路线，存在多重挑战

目前，脑机接口主要有侵入式、半侵入式和非侵入式3条技术路线，技术形态各不相同，面临的挑战也各有侧重。

侵入式技术，是通过外科手术将微型电极植入大脑皮层。这一技术的神经元信号采集精度最高，但也有明显短板：植入电极易引发人体免疫排斥反应，长期使用也会出现信号衰减、器件失效等问题。此外，手术存在一定风险，且仅能采集局部脑区信号，无法实现全脑范围探测。

半侵入式技术，是将电极置于大脑皮层表面，寻求信号质量与使用安全间的平衡，但依然无法规避颅内植入带来的潜在风险。

非侵入式技术，则是依托穿戴设备从头皮采集脑信号，有着无创安全、易普及的特点，但其研发技术壁垒极高。颅骨与头皮会大幅衰减、干扰神经电信号，导致原始数据混杂大量噪声，如何在复杂环境下实现神经信号稳定采集与高精度解码，是摆在全球科研人员面前的共同难题。

放眼全产业链，我国脑机接口产业发展也面临着多重挑战：全脑信息定向写入技术有待突破，适配行业需求的低功耗专用神经芯片供给不足，通用芯片难以兼顾低功耗、高算力与多通道实时处理的要求。脑机接口直接接触及人类思维与隐私边界，配套的伦理规范、行业标准与监管体系也亟须同步构建完善。

探索无创入脑，拓展医疗场景应用

面对挑战，我们团队选择了一条新路径——无创超声神经调控原创技术路线。不同于传统电极植入思路，该技术依托超声、光、电磁等多元物理场，在不破坏人体天然生理屏障的前提下，实现全脑神经信息双向读写。

让超声波能够“穿透”颅骨、精准作用于颅内深部脑区，是这项技术要跨过的第一道关。在“穿过”颅骨的过程中，超声波易出现折射、能量损耗等问题。为此，团队开展复杂介质声场理论建模、仿真计算与对照实验，逐一破解超声波穿颅传播、能量聚焦、安全调控等科学问题，从科学原理层面确证了无创超声神经调控技术的可行性。

无创超声脑机接口技术有一个关键硬件——高密度相控阵换能器。此前，这一器件长期被国外技术垄断，通过深耕底层压电材料研发与精密加工工艺，我们团队完成全链条自主攻关，顺利实现器件国产化替代。自研的换能器，在电声转换效率、穿颅能力、

“科技突破的程度，很大程度上决定未来产业发展的速度、广度、深度。”

眼下，新一轮科技革命和产业变革加速演进，前沿技术不断涌现，引领和支撑未来产业快速崛起。

“十五五”规划纲要提出，瞄准引领未来发展重点领域，构建未来产业全链条培育体系，推动量子科技、生物制造、氢能 and 核聚变能、脑机接口、具身智能、第六代移动通信等成为新的经济增长点。

前瞻布局未来产业是发展新质生产力的必然要求，也与我们的日常生活息息相关。本版今起推出“院士讲科普·未来产业”系列报道，跟着院士了解新一轮科技革命和产业变革趋势，感受科技创新与未来产业发展的脉动。本期，中国科学院院士、南京大学常务副校长郑海荣带我们走进脑机接口产业发展前沿，了解小接口里的大学问、新成果。

——编者



图①：“北脑一号”半侵入式脑机接口系统。

图②：第二十四届中国·海峡创新项目成果交易会上，一名参观者在福建省脑机接口与神经调控转化工程研究中心展台体验。

图③：郑海荣在进行实验操作。

图④：郑海荣在进行实验操作。

聚焦精度等主要指标上表现出色。正是依托于此，团队成功研发万通道级智能神经调控系统，融合声场校正算法与多模态影像导航技术，打造出如同“大脑GPS”一样的高精度定位追踪体系，可将超声能量精准汇聚到颅内10厘米深度的毫米级靶点，既解决了传统电磁刺激作用范围弥散、作用深度不足的问题，又消除了植入式技术的创伤隐患。

在此基础上，我们提出“神经打印机”的前沿技术概念，利用多物理场调控大脑内纳米级离子通道，实现外部信息向大脑的定向“写入”。目前，该技术已在动物实验中实现特定记忆和行为的可控调节，有助于难治性脑疾病干预、人体神经功能重塑。

通过系统性临床研究，我们发现，无创超声调控能够有效降低难治性癫痫的发作频率、强度，明显改善重度抑郁患者的情绪状态与睡眠质量。值得关注的是，在10余例长期意识障碍患者的临床干预中，半数以上患者成功苏醒，部分患者甚至逐步恢复语言表达、自主进食等生活能力，展现出该技术在重大脑疾病诊疗与康复领域的应用价值。

新一代单芯级四米级重复使用运载火箭长十二乙首飞成功——

新火箭有新看点

本报记者 刘诗瑶

探一线

长征十二号乙遥一运载火箭不久前在东风商业航天创新试验区点火升空，成功将干帆星座第十批组网卫星送入预定轨道，首飞任务取得圆满成功。

长征十二号乙运载火箭（以下简称“长十二乙火箭”）由中国航天科技集团商业火箭有限公司抓总研制，总高约72米，箭体直径4.37米，一子级九机并联，起飞推力达800吨，近地轨道运载能力不低于20吨，是我国打造的一代单芯级四米级重复使用运载火箭，可实现一箭多星高密度部署。

首飞即成功的新火箭，有哪些新看点？

看点一：巧做“减法”。

研制团队介绍，通过轻量化设计给火箭减重，提高了运输效率。例如，传

统火箭上的电缆网有较大重量占比，通过尝试轻量化的导线设计，可降低30%到40%的重量。在整流罩的材质选择上，团队经过反复试验，打造玻璃钢夹蜂窝夹心结构，为火箭进一步减重。

全箭还有大量“看不见的减法”。作为我国目前运力最大的单芯级火箭，该型号一子级搭载了9台百吨级液氧煤油发动机，通过轻量化涡轮泵，大面积比高空喷管等创新设计，以高度集约的动力系统实现性能跃升。同时，该箭通过优化总体布局实现箭体结构的系统性“减重瘦身”。

看点二：足够“聪明”。

研制人员介绍，由于长十二乙火箭是一款重复使用火箭，团队给火箭安装了“智慧大脑”：一级火箭和二级火箭都有一个飞控中心，能够自行计算飞行实时算法，两级火箭之间通过信息交互，提高可靠性。

以发动机为例，该箭一子级使用9台

2025年，南京大学脑机接口研究院建成，聚焦量子测量器件、神经成像、脑信息解码三大方向，将推动技术从单一医疗场景向多领域拓展，让无创脑机接口技术有更多人支撑。

推动碳基智慧与硅基算力深度交融

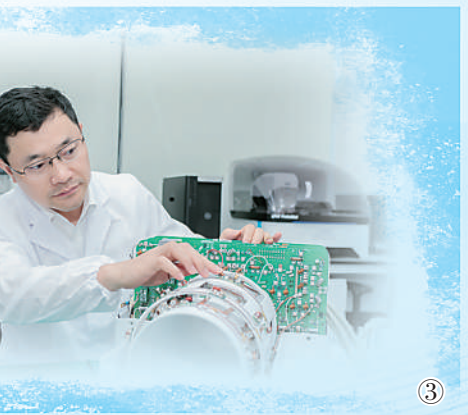
如今，我国脑机接口产业的整体发展路径愈发清晰。结合技术演进规律与应用落地节奏，我们有分阶段发展预期：短期1—2年，优先释放医疗领域价值。推进脑机接口技术医学测试与临床落地，加快脑机接口医学大模型、运动及语言功能重建技术规模化应用；中期2—5年，全面拓展技术边界。集中攻克无创光声电磁脑神经功能成像、人工视觉、听觉、触觉等感知功能修复技术，同时，推动无创脑机接口在自动驾驶、具身智能、智能制造、全民健康管理等场景的研发与应用；中长期5年以上，探索脑机融合、脑际通信等新形态。重点突破脑神经信息成像读取、智能模型翻译重建、神经信息定向写入等前沿技术，推动脑机接口朝着大规模普及、全场景覆盖、消费级落地、轻量化可穿戴的方向迈进。

当前，医疗康复是脑机接口最成熟的落地场景。未来，技术应用场景将更加丰富。我们可以想象，在航空航天、高危作业等领域，用意念辅助操控；在工业领域，开展脑控机械臂、无人机、人形机器人应用，实现人脑与具身智能的高效协同；在消费电子领域，融合穿戴设备的轻量化脑机产品，有望颠覆传统人机交互模式，催生新兴消费业态。

从科技变革维度来看，脑机接口是联通碳基生物智慧与硅基人工智能的枢纽。人工智能发展将依次经历数据智能、物理智能、生物智能等阶段。硅基智能擅长逻辑运算与数据处理，却难以复刻人类大脑的创造力、感知力与自主意识。脑机接口可以搭建起人脑与机器之间的双向高速信息通道，推动碳基智慧与硅基算力深度交融，是人工智能突破现有发展瓶颈、迈向更高阶形态的抓手。

脑机接口是新一轮科技革命与产业变革的颠覆性技术，更是我国布局未来产业、迈向人机共生的重要依托。相信在多方协同发力下，我国脑机接口技术将持续突破、加快落地。从实验室的技术探索，到病房里的生命守护，再到全场景的人机协同，无创脑机接口技术将以安全、精准、普惠实现赋能，助力开启人机共生、智慧相融的新未来。

（作者为中国科学院院士、南京大学常务副校长，本报记者姚雪青采访整理）



唠『科』

最近，太空光伏引起广泛关注，在太空里利用太阳能发电，让人们对于“星辰大海”又多了一份期盼。其实，在太空里发电并非想象，早在上世纪，一些国家就曾在卫星上安装太阳能电池，尝试以此发电。

现在，天上的卫星越来越多，对电的需求也越来越大。以前，卫星就像个手电筒，功能简单、耗电少；现在的卫星要搞通信、处理数据，甚至有人想依托卫星在太空建“数据中心”，卫星就变得像大探照灯一样，用电量大大增加。

随着科技的飞速发展，目前在太空发展太阳能，已经形成3条主要技术路线：

一是砷化镓电池路线，最快、最稳，能源转换效率达30%左右。我国在这方面具备完整的产业链，研制的三结砷化镓电池可靠稳定，但缺点是成本太高，比常见于屋顶上的太阳能板贵上千倍。

二是晶硅电池路线，成本低的同时早期转换效率也很低。不过，晶硅异质结技术可将能源转换效率提升至25%—27%，还可以薄片化。目前看来，p型晶硅异质结电池是比较现实的选择。

三是钙钛矿/晶硅异质结叠层电池路线。理论上效率高、重量轻，科学界认为这种方式更具潜力，一些光伏龙头企业也在加紧研发。但钙钛矿电池能不能扛住太空的恶劣环境，还需要打一个问号。太空环境里，温差可达200多摄氏度，还有各种宇宙射线，会给电池带来很大考验。

现在，很多太空用的太阳能电池还需“量身定制”，未来批量生产的同时要保证质量稳定，并非易事。

太空光伏不是简单地把电池板送上天，而是让整个太空电站在极端太空环境下长期运行，这就包括发电、储能、输电、在轨运维等环节。太空环境与地面截然不同，面临强烈的紫外线、极端的温度变化、高能粒子辐射、原子氧侵蚀、微陨石撞击等，需要通过严格的地面模拟和长期在轨验证来积累数据。

未来几年，太空光伏领域应该在以下几个方面下功夫：技术上坚持多条腿走路；工程上多测试、多验证，尽可能模拟太空环境、解决相应问题；产业上形成合力。

做科研就像种树，太空光伏这棵树苗才刚刚破土而出，我们要做的，就是给予它时间成长。未来，当我们真正用上“太空电”，夜晚仰望星空，知道那里有我国建设的太空电站在默默工作，该是多么令人自豪的一件事。

（作者为上海交通大学太阳能研究所所长，本报记者黄晓慧采访整理）

北京太空算力创新中心揭牌

本报北京电（记者王昊男）6月29日，2026全球数字经济大会·太空算力论坛在北京海淀区中关村展示中心举行。活动现场，北京太空算力创新中心正式揭牌。

该中心位于海淀区北京卫星小镇，定位为以畅通产业链、协同上下游为重要内容的太空算力创新中心，采用“公司+联盟”双轮驱动模式运营。该中心围绕太空算力全产业链，系统布局太空原生算力芯片设计与研制、高性能超带宽的太空算力载荷、卫星平台与地面验证基础设施、大模型部署与软硬件协同优化、天地一体云平台关键技术研发、卫星应用技术创新与场景验证等6个攻关方向，贯通“芯片—硬件—平台—智能—网络—应用”全栈协同，系统打造太空算力原生产业体系。

中心揭牌的同时，北京太空算力创新中心专家委员会和北京太空算力创新联盟同步成立。北京太空算力创新中心专家委员会汇聚包括12名院士在内的30名专家，覆盖6G空天地一体化通信、微处理器及集成电路等技术领域。北京太空算力创新联盟首批意向成员单位108家，涵盖高校、科研院所、央企及民营企业等，将围绕航天强国和人工智能算力体系建设需求，汇聚产学研用资源、深化协同创新，共同构建资源共享、优势互补、合作共赢的太空算力产业创新生态，推动太空算力关键技术突破、产业链协同创新与标准制定、公共服务能力建设和场景应用落地。

我国聚变堆超导磁体研制取得新突破

环向场超导磁体通过专家验收，高温超导中心螺管线圈磁体完成满工况参数测试

本报合肥电（记者李俊杰）记者从中国科学院合肥物质科学研究院等离子体物理研究所获悉：近日，国家重大科技基础设施“聚变堆主机关键系统综合研究设施”最大的超导部件——环向场超导磁体在安徽合肥完成最后制备工艺并通过专家验收。同期，高温超导中心螺管线圈磁体也完成满工况参数测试，核心性能达到国际领先水平。

环向场超导磁体长21米、宽12米、高3.3米，总重量达582吨，体积是国际热核聚变实验堆环向场磁体的1.3倍，储能是其3倍。在核聚变装置运行过程中，环向场超导磁体负责构建环向磁场来约束等离子体，减少高能粒子对真空室器壁的冲击损耗。该项目历时6年，整套磁体全链条实现100%国产化。项目申请授权专利47项、制定标准14项，各项性能指标领跑国际同类产品。

中心螺管线圈的重要作用是感应、驱动等离子体电流，并动态调节等离子体约束形态。高温超导中心螺管线圈的实测数据显示，线圈稳定载流60千安、储能6.03兆焦，最大磁场变化率每秒5.1特斯拉，接头电阻0.87纳欧，关键指标和核心性能达到国际领先水平。线圈从超导材料、结构设计到成套制备工艺均实现完全国产化。两项重要突破，为我国建设聚变堆进一步筑牢超导工程基础，有力提升了聚变堆建设自主研发与工程建造能力。

本版责编：智春丽 陈圆圆 陈世涵 版式设计：张丹峰

科学研究破解作物『午睡』谜题

本报海口电（记者孙海天）崖州湾国家实验室、中国科学院遗传与发育生物学研究所李家洋院士团队与合作者近日在《细胞》在线发表研究成果，系统阐明了植物蛋白相变介导的新型光保护并增强光合作用的机制，成功破解困扰科学界长达百年的作物“午睡”谜题。

在田间环境中，正午过量光照会促使植物叶绿体积累大量单线态氧，损伤光合相关蛋白与结构，引发光抑制和光合午休。这种“被迫停工”直接导致农作物平均减产约30%，长期以来制约粮食产量突破。

研究发现，植物体内一种名为MBS1的超小白蛋白在强光胁迫下，可通过锌指结构构象变化特异性感知单线态氧，并发生液—液相分离和相变。该蛋白在细胞内形成凝聚体小液滴，像“护盾”一样覆盖在叶绿体表面，通过光散射与光学遮蔽作用削弱强光透射，从源头减少单线态氧积累，为叶绿体构筑起天然动态的防晒屏障。当光照恢复正常后，这些聚集结构又会逐渐消失，形成一个动态、智能的阳光过滤系统。

通过水稻田间试验证实，上调MBS1表达可有效缓解作物强光损伤、显著提升产量。

本项研究成果由国家农业生物育种重大专项、国家重点研发计划、国家自然科学基金和中国科学院先导专项共同资助，对保障粮食安全具有重要现实意义。