

在距地球数百公里的中国空间站，神舟二十一号的航天员佩戴着一副特殊的智能眼镜，通过实时捕捉与分析视觉与脑电信号，他在测试一项能实现“眼脑协同”的新型交互系统。这并非科幻场景，而是一套用于太空极端环境的脑机接口原型系统正在接受考验。

数千公里外的病房里又是另一番景象。仅凭一念之间的“张开”“关上”指令，从“寸步难行、事事依赖”到“意念随行、自主生活”，瘫痪患者在脑机接口技术中触摸到重生的希望。在中国各大学、科研院所最顶尖的实验室里，脑机接口技术正日新月异取得重要进展，这背后，是无数中国科研团队在脑机接口领域向全球领先水平发起冲击的不懈探索。

## 读懂大脑，为瘫痪患者架起“神经桥梁”

2025年，被誉为我国的脑机接口元年，这一年，我国多位重症患者通过该技术重获“新生”。李志（化名）就是其中之一，他是全国首例“全植入、全无线、全功能”脑机接口患者。

“儿子在床上躺了8年，现在他脑袋里植入了脑机接口，胸口后面安装着电池。”在李志母亲的心中，用在儿子身上的科技设备，一定是全球最先进的。

28岁的李志，因车祸高位截瘫，他于2025年10月底在复旦大学附属华山医院植入脑机接口芯片，成为我国首例全植入、全无线、全功能柔性脑机接口植入的患者。如今，李志能完全通过“意念”刷B站、逛小红书；用意念操控光标、操控智能家居、操控气囊手套……

这并不是偶然。2024年，美国知名脑机接口公司Neuralink研发的设备成功植入首位人体受试者，术后一个月该患者即可通过意念控制电脑鼠标。后续已有10余名患者（包括脊髓损伤和渐冻症患者）接入脑机接口，他们通过设备实现了自主进食、编程和艺术创作等日常活动。

“相较于Neuralink的设备，国产设备突破植入电池稳定性、高速无线传输等技术，从临床出发，设计出更好、更优的脑机接口设备。”中国科学院院士、广东省智能科学与技术研究院院长、中国神经科学学会理事长张旭，深知临床需求是技术创新的核心驱动力。

## “具身智能”为新趋势，价值远不止于临床

植入式脑机接口需要开颅手术，在神经电极方面，国外Neuralink采用的是颅内穿刺电极，而我国医生与科学家，根据临床实际情况，优化为采用大脑皮层表面电极，这样一来，电池设计可兼顾良好信号质量与更低免疫排斥风险，提升长期稳定性和手术普适性。

在天津大学脑机接口实验室里，几架无人机在空中灵活翻转，做出各种动作。但神奇的是，这些无人机的“操控者”并非手中握着遥控器的专业飞手，而是头戴脑电帽的实验人员。

据天津大学副校长、脑机交互与人机共融海河实验室主任明东介绍，目前全球主流的脑机接口可分为侵入式和非侵入式两大类。他用了一个生动的比喻：侵入式如同“穿墙而入、兵临城下”，将传感器直接植入脑组织，近距离“听取”神经元放电，信号强、精度高；非侵入式则是“隔墙有耳、透墙而视”，需隔着颅骨这堵“墙”，捕捉衰减了上千倍的亚微伏级脑电信号。

“非侵入式的无创脑机接口，是大规模应用的必然方向。”包括明

# 「脑控万物」照进现实，脑机接口走出科幻

我国脑机接口产业已呈现「医疗级突破、消费级起步」良好态势

东，南京大学副校长、中国科学院院士郑海荣等专家均认为，中国脑机接口发展与国际同步，部分领域甚至领先。脑机接口的价值远不止于临床，无创脑机接口技术，可大规模运用于通讯、无人机控制、人工智能、机器人等领域。

在广东省智能科学与技术研究院，记者看到了外形如枕头一样解决睡眠问题的设备“梦邻”；在南京鼓楼医院，记者看到能延缓阿尔茨海默病发生的嗅觉脑机接口；在天津大学，记者看到“神工-灵犀指”康复系统……这些都是无创脑机接口的研发成果。

大脑颅骨对脑电信号具有显著的衰减与空间模糊效应，构成无创脑机接口技术面临的核心挑战：如何在非侵入条件下，实现对微弱神经信号的高空间分辨率检测与精准解析。为攻克该难题，郑海荣团队以底层技术创新为突破口，研制出头戴式双模态显微成像系统。

该系统通过微型化集成共聚荧光显微成像与光声显微成像技术，在自由活动的动物模型中，实现了1.5微米分辨率的神经结构与血管动态同步观测。进一步，团队提出“脑机接口成像”方法，利用超声功能成像获取全脑尺度的微血管血流动力学信息，通过神经血管耦合机制反推神经活动，从而解析大脑网络连接。该技术为脑机接口的信号获取与解析提供了崭新工具与新路径，推动了在体、无创、高分辨脑观测与脑调控技术的发展。

“依托磁共振成像技术，读取脑信号脑机接口有创实现无创，甚至设备更便捷、安全。”南京鼓楼医院党委副书记、影像科主任医师张冰，在选择读取脑信号的位置时，结合临床经验，团队首创嗅觉脑机接口理念，以嗅觉为切入点干预认知障碍类疾病（如阿尔茨海默病），利用其早衰退、可再生的特点，通过多种刺激方式实现无创调控、延缓认知功能的衰退。

明东告诉记者，目前，非侵入式脑机接口技术正围绕“速度、维度、精度”三大指标展开攻关。其团队已实现0.5微伏以下的微伏级解码，并连续突破了非侵入式脑控100指令、200指令的高维解码。

从让不能动、不能语患者的语言重建与功能恢复，到干预解决睡眠、抑郁等问题，从癫痫治疗到改善认知障碍患者功能，从浏览网页到控制智能家居。如今，中国脑机接口产业已呈现“医疗级突破、消

费级起步”的良好态势。

中国科学家在脑机接口领域正展现出日益重要的影响力。郑海荣指出，该领域目前并不存在“卡脖子”技术的瓶颈，我国整体发展水平与发达国家基本处于并跑阶段，甚至在某些技术路线具备跨越式发展的潜力。国内多位科学家及其团队的研究轨迹，正反映出从追赶、并跑，到局部引领的阶段性跃升。

如今，明东带领天津大学团队正在进行“片上脑机接口”的研究，即在体外培养类脑器官或感觉器官，并与之建立交互界面，实现“离体脑机接口”的应用，实现脑机接口从有创到无创，再到无感的迭代。“片上脑机接口”技术未来还可与人工智能相结合，探索“碳基”生物智能与“硅基”机器智能的融合。

多位科学家畅想，未来或可培育有生物活性的“脑单元”，与机器人结合，创造出兼具生物学习能力、情感温度与机器耐力的“具身智能”新形态，即“有物理载体的智能体”“会思考的机器人”。

## 未来1000天的可能，千亿级产业正逐步形成

中国信息通信研究院发布的《脑机接口技术与应用研究报告（2025年）》显示，全球脑机接口企业数量已超800家，主要集中在美国和中国。Mordor Intelligence的数据显示，2025年全球脑机接口市场规模约为12.7亿美元。预计到2030年，全球脑机接口市场规模将突破百亿美元。郑海荣院士认为，未来五年，脑机接口将发展迅速，会有更多产品走入老百姓的生活。

我国“十五五”规划建议将脑机接口明确为六大未来产业之一，并提出推动脑机接口等成为新的经济增长点。2025年7月，工信部等七部门联合发布《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》，提出2027年突破关键技术、打造2~3个产业集聚区，2030年培育2~3家全球领军企业的目标。这一政策首次实现跨部门协同，覆盖技术研发、标准制定、临床应用全链条。

在很多业界人士看来，医保政策的突破成为脑机接口临床落地的关键推手。山海医疗科技有限公司总经理吴正平告诉记者，医保的支持政策打通了脑机接口“收费-采购-临床”的闭环，让更多医院有主动采购意愿，更多患者可以尝试新的技术。

2025年3月，国家医保局设立侵入式脑机接口置入/取出费、非侵入式适配费价格项目；今年1月，四川明确脑机接口医疗服务价格。

虽然脑机接口发展势头迅猛，但不可否认，国产脑机接口仍面临多重挑战。张旭院士介绍，大脑神经元数量有数百亿，目前仅能提取上千个神经元信息，解码精度有限；神经调控的靶点、强度难以精准控制，制约了在抑郁症、帕金森等疾病中的应用。

规模化生产是降低成本的关键，但目前国内企业年产能不足千套，核心部件如芯片、高精度电极仍依赖进口。郑海荣院士提出，高生物相容性材料、模拟芯片、多组件连接等系统性工程问题有待突破，数据采集存在盲采、处理压力大等情况。

材料领域的创新也是关键。吴正平认为，目前脑机接口的技术逻辑依赖电信号，电极（传感器）是捕捉、刺激脑信号的关键。类似阿凡达等科幻电影里的生物性接口材料是研发的前沿。

如今，大量资本与新入局者不断涌入脑机接口行业。明东等多位业界专家提醒，脑机接口研发严防“玩具化”与“泡沫化”，应用避免“概念化”。其价值在于“真有用”，能够解决临床所需，服务人们的生活。

为应对技术攻关与应用转化的双重需求，我国脑机接口领域的发展路径正日趋清晰。郑海荣院士认为，当下要着力推动脑机接口技术的医学测试与应用，特别是脑机接口医学大模型、运动与语言等功能重建技术走向规模化临床落地。从中长期看，则应推动脑机接口向大规模、多场景、消费级、可穿戴化方向拓展，有力促进人工智能迈向生物智能时代。

“脑机接口的发展不能是无源之水、无本之木，人才培养是重点。”明东强调，我国脑机接口的发展不缺场景、不缺资金，缺的是人才。如今，天津大学已率先设立全国首个脑机接口本科专业和交叉学科博士点，旨在培养兼具医学、生物信息学、人工智能、工程学等综合学科能力，同时又专精一门的“T型”复合人才。

在未来的1000天里，AI、机器人、脑机接口等科技会带给中国怎样可能？答案自在实验室的神经信号捕捉里，临床的功能重建中以及产业的生态构建时。

据人民网、健康时报



天津大学脑机海河实验室团队研发的无创脑机接口康复系统“神工-灵犀指”。受访者供图