

『脑机』接入现实 激活未来产业

“十五五”规划建议明确将脑机接口作为前瞻布局的未来产业。作为交叉学科,脑机接口涉及神经科学、材料、芯片等多领域深度协同,经过多年培育发展,正从实验室迈向临床应用。

当下,脑机接口技术飞速发展,加快接入现实生活,相关政策、标准的发布,为“接入”现实描绘了更加清晰的路径。

全植入脑机接口临床试验成功

近日,由我国科研人员自主研发的国内首款、国际第二款内置电池的全植入、全无线、多功能脑机接口产品,在复旦大学附属华山医院成功完成首例临床试验,为一名肩部以下完全不能动的高位截瘫8年的患者带来了生活新希望。术后,这名患者能够通过意念操控光标、浏览网页、游戏互动等,还可以连接控制气泵手套、智能轮椅、智能家居甚至人形机器人等多类物理设备。

作为国内首款、全球第二款内置电池的脑机接口产品,所有的核心模块,包括电池都被完全植入患者体内,体表没有任何线缆接口,团队介绍,这是为了在物理层面避免外露系统可能导致的感染风险。同时,团队还将无线供能与无线数据传输相结合,在日常生活中,患者无需连接或佩戴任何外部装置,即可实现意念的实时交互。

脑机接口,相当于在大脑与外部设备之间建立一条“信息高速公路”,通过采集大脑活动信号,并将其解码成具体指令,再通知外部设备去执行。

2025年,被业界看作是“中国脑机接口发展的元年”。尤其是工业和信息化部等七部门联合印发《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》,绘就了产业发展的路线图。

三大技术路线并行发展

2025年5月,上海阶梯医疗科技有限公司发布了超柔性微创植入式脑机接口系统的前瞻性临床试验进展;6月,南开大学教授段峰团队牵头开展的全球首例介入式脑机接口辅助人体患肢运动功能修复试验完成;11月,武汉衷华脑机融合科技发展有限公司与华中科技大学同济医学院附属协和医院合作,完成全国自主研发脑机接口芯片的首例临床植入手术……脑机接口技术创新愈加贴合患者需求,一系列临床突破相继落地。

临床成果加速涌现背后,是侵入式、半侵入式、非侵入式三大技术路线的并行发展。

侵入式技术因信号采集精度高,成为医疗康复领域的核心路线。神复健行(上海)医疗器械有限公司加福民团队,已成功完成全球首批4例通过脑机接口让瘫痪者重新行走的临床概念验证。在术后两周内,4名严重脊髓损伤患者实现了自主控腿、迈步行走。

非侵入式技术因无手术创伤、成本较低,正在向更广阔市场延伸。杭州神踪科技有限公司研发的多导睡眠监测仪,采用非侵入式脑机接口技术,可对脑电、眼电、肌电、心电指标进行一体化监测,目前已在1000多家医院投入使用。

半侵入式脑机接口是一种介于侵入式和非侵入式之间的技术,通过在大脑表面或浅层植入电极,减少侵入式手术的风险,同时能够提供



2025年10月25日,工程师在“荣光闪耀·情暖朝阳”——2025年北京市朝阳区“敬老月”主题活动上演示脑机接口手部运动反馈康复训练系统。

比多数非侵入式脑机接口质量更高的信号。

应用场景持续拓展

场景是连接技术和产业的桥梁。一段时间以来,脑机接口技术产业化落地加速,应用场景持续拓展。

近日,成都芯脑科技有限公司内,患有孤独症的小朋友戴上形似“帽子”的设备,屏幕随即显示脑电信息,后台快速生成脑功能状态评估分析报告。

“治疗设备能通过脑影像AI技术定位患者脑部异常神经环路,利用磁脉冲对治疗靶点刺激,该技术有助于改善孤独症儿童认知等方面。”公司总经理冯睿介绍,目前已服务了2000多名儿童。

此前的脑机接口很多是应用在运动功能恢复方面,如今,用脑机接口或可让视障患者重新“看见”世界。一个名叫“虚拟盲人”的系统,模拟了一个全盲患者未来通过脑机接口手术后,看到的世界。

“我们通过植入式脑机接口的方法,去帮助病人重建视觉。”中国科学院自动化研究所副研究员刘冰表示,“我们看见这个世界,不光是眼睛看到,实际上是大脑看到的。现在相当于在大脑中直接给予电刺激,模拟大脑看见世界的过程,通过一个外设摄像头,拍摄外部景物,通过电刺激,让大脑看到外部摄像头看到的景物。”

该团队引入一种叫作“闭环反馈”的控制思路,通过一套自研的软件,能实时看到刺激信号与大脑真实反映之间的偏差,再通过动态算法,进行实时调整优化,让输入信号和大脑进行高效匹配。目前,这套初级视觉重建系统可以将盲人的视觉感知提升到人类视力0.1的水平,对应的就是视力表上最大的E。换算成我们看到的图片,大概是32×32的光点像素阵列,可以大体勾勒出物体的边缘线条,帮助盲人实现避障等基础的视觉引导。

据了解,目前,侵入式脑机接口以医疗场景为核心,临床案例已达数十例,广泛应用于脊髓损伤、脑卒中等患者的运动功能重建等,在盲人复明、成瘾治疗等新领域的初期探索有序推进。

非侵入式脑机接口则重点布局生活消费与工业领域,多款非侵入式整机设备已实现量产,在疲劳监测、情绪识别、脑控外设、智能驾驶等场景开展试点应用。

投融资火热

2025年,上海阶梯医疗宣布拿下3.5亿元B轮融资,创中国植入式脑机接口行业单轮融资

最高纪录;专注于研发新一代侵入式柔性脑机接口平台的硬科技创新先锋——北京智冉医疗,公布完成超3亿元A轮融资……业内人士表示,脑机接口领域的投融资活跃程度呈显著攀升态势。

《脑机接口技术与应用研究报告(2025年)》显示,当前全球脑机接口市场已达到数十亿美元规模,预计到2030年将突破百亿美元。在政策激励和“投早、投小”的引导下,中国已有投融资事件近200起,有70余家企业获得投资,其中近50家企业获得多次融资。

在政策和资本的双重支持下,我国脑机接口企业呈现集聚态势,并且民企数量居多。

据了解,全球脑机接口产业链初步形成,上游主要涵盖核心元器件,其中电极与芯片是关键组成部分。中游主要涉及感知和分析脑神经活动的系统、软件以及平台。下游则是特定应用场景,包括医疗健康、生活消费、工业生产等领域。

中国信息通信研究院数据显示,我国脑机接口企业总量已突破200家,企业在中下游环节具有较强的产业集聚效应和市场活力。

仍面临多重挑战

尽管前景广阔、市场热烈,业内人士提醒,脑机接口当前仍处于孕育阶段或者说是产业化初期,尚面临底层技术等多重挑战。

在专家看来,脑机接口技术还存在许多科学原理上的未解之谜。“同一个脑控设备,可能一个人戴上效果很好,另一个人就效果不佳,难以实现精准的人机交互,原因之一是因为我们对大脑运行的模式理解有限,还没真正‘读懂’大脑的运行模式。”如诺科技创始人戴冲莹说。

业内人士介绍,自2013年起,全球多国相继启动为期十年左右的脑科学研究,显著加速了脑机接口的技术革新与产业化进程。但技术层面仍存在多重挑战:对神经解码机制理解不够透彻,电极与芯片等元器件缺乏统一标准,信号采集与处理的精度、稳定性还须提升,当前应用案例样本量仍然较小、长期效果也还有待观察等。

此外,脑机接口作为神经科学、计算机科学、生物医学工程、材料学等多学科深度交叉的领域,对人才的知识结构要求较高,既需掌握硬件研发的工程能力,又要具备神经信号解码的算法功底,还需理解临床应用的医学逻辑。

天津大学副校长明东表示,目前,我国已有高校、科研院所、企业、医院等数百家单位开展脑机接口业务,但专业人才缺口巨大,保守估计到2030年缺口将达20余万人。



脑智卓越中心侵入式脑机接口生产全植入脑机接口系统所用的半导体加工设备之一——激光植球机。

向长期赋能发力

护航新技术稳妥驶上“快车道”,政策、标准等多方面正在协同发力。

2025年6月,全国首个脑机接口未来产业集聚区“脑智天地”在上海启动建设。如今,已引育近20家团队、企业落地发展。

更多力量正在厚植产业发展沃土:工业和信息化部等七部门联合发文提出,到2030年,脑机接口产业创新能力显著提升,综合实力迈入世界前列;国家医保局新设脑机接口相关价格项目;国家药监局批准发布我国第一部脑机接口医疗器械标准;北京、广州、深圳等地纷纷强化政策引导,搭建合作平台……

中国信息通信研究院知识产权与创新研究中心主任李文宇表示,我国脑机接口产业已形成“政策—科研—产业—资本”协同联动的态势。同时,产业联盟与标准化组织围绕数据格式、接口协议、安全伦理等制定初步规范,为产业健康有序发展提供坚实制度保障。

展望未来,“十五五”规划建议明确“前瞻布局未来产业”,其中提出推动脑机接口等成为新的经济增长点。

“十五五”将是脑机接口产业发展落地的关键五年。”在安徽北方微电子研究院集团有限公司董事长陈丙根看来,产业会在医疗康复等社会需求迫切、临床价值明确领域,率先实现规模化突破。同时随着部分关键技术突破和成熟,产业链也将更加明晰。

脑机接口产业联盟系统与行业应用组主席周洁认为,未来,脑机接口的技术和产业不断迈向新的征程,其在多方面带来强劲的社会效益,在多领域应用带来可观的经济效益,有望成为未来产业增长的引擎。

观点

全球竞速脑机接口

□张冉燃

2025年3月,复旦大学附属华山医院侵入式脑机接口技术临床试验宣告成功;6月,华中科技大学同济医院为高位截瘫患者顺利实施植入式脑机接口手术……

一系列脑机接口爆发式突破的情况,指向一个日渐清晰的趋势:脑机接口正从概念验证阶段,加速进入医疗实际应用,有望接入卒中致残、脊髓损伤、冻疮等严重神经疾病患者的生活,为其带来功能恢复的希望。

脑机接口这一专业术语,由美国学者雅克·维达尔于1973年首次提出。脑机接口是一种在大脑与外部设备之间创建直接连接,实现脑与设备信息交互的技术。

脑机接口技术不仅承载着改善患病人群生活质量的医疗使命,也蕴含了重构人机交互模式、引领智能产业升级的巨大潜能。全球多国纷纷布局,一场围绕“意念连接世界”的全球竞速悄然展开。

脑机接口技术是多学科汇聚的有力范例。脑机接口技术具有高度的集成性——它不是单一技术突破,而是一场由神经科学、材料科学、计算机科学等高度协同、共同驱动的创新突破。从技术逻辑看,各学科分工明晰且衔接紧密;神经科学家聚焦大脑神经信号的产生机制与编码规律,通过解析思维活动与神经

信号的对应关系,为“读懂”大脑提供理论蓝图;算法和人工智能专家负责攻克海量神经数据的实时解码难题,将杂乱的原始信号转化为设备可执行的精准指令;材料科学瞄准解决硬件与脑组织的生物相容性,既减少免疫排斥反应,又保障长期稳定的信号传输……各学科如精密齿轮相互咬合,合力推动脑机接口技术从实验室走向临床应用和产业落地。

脑机接口也映射出当前科技竞争核心逻辑的改变——胜负不仅仅取决于某项电极技术的突破或某套解码算法的领先,而且取决于一个国家在技术、产业与治理等多维度的系统能力。

当前我国的脑机接口生态环境,正呈现顶层设计牵引、区域集群发力的鲜明特征。

国家层面,2021年启动的《科技创新2030—“脑科学与类脑研究”重大项目》,为脑机接口基础研究提供持续支持。2025年以来,多部委协同发力,出台《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》《神经系统类医疗服务价格项目立项指南(试行)》等文件,为脑机接口厚植发展沃土。

地方层面,《加快北京市脑机接口创新发展行动方案(2025—2030年)》《四川省脑机接口及人机交互产业攻坚突破行动计划(2025—2030

年)》纷纷出台,以及上海启动建设我国首个脑机接口未来产业集聚区……各地积极谋划专项政策,形成立体化支持。

政策和资本双重推动下,中国脑机接口产业已初步形成覆盖上、中、下游的全链条布局,相关脑机接口企业总量突破200家。其中,约88%的脑机接口企业采用无创技术路线,凸显了更关注安全性与应用普适性的技术倾向。另一方面,脑机接口仍处于产业化初期,一些关键科学问题仍需突破、核心技术难题有待进阶。

从医疗康复的需求满足到生产生活的效率革新,再到人类认知和交互方式的根本改变,脑机接口技术边界的不断拓展,也在冲击传统伦理和社会治理体系的边界。当大脑信号能够被破译、神经数据需要确权,诸如神经数据的隐私保护、思想情感的潜在掌控、智力跃进的认同疑虑等深层挑战随之浮现。这些超越技术范畴的议题,呼唤着公众认知的进一步深化。

站在人类演进的视角,脑机接口是人类突破自身生物局限的最新探索。正如工具延伸了人类的体力,信息技术扩展了人类的认知,脑机接口引发的探索,既充满无限希望,也需要我们随时观察研判,保持好审慎驾驭的能力。

→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”。

↓神经调控式机械外骨骼系统“神工—神甲”



(本报综合人民日报、新华社、央视新闻、科技日报、《瞭望》新闻周刊)
图片均为新华社发