



中国工程院院士顾晓松： 人机共生连接美好未来

士兵的作战效能、突破生理极限、实现人机无缝协作。

在民生领域，脑机接口为“不能说”“不能听”“不能动”的患者带来全新诊疗方案，弥补了传统医疗手段疗效有限的短板。

国家高度重视脑机接口等未来产业培育工作。国务院办公厅、工信部、科技部、国家医保局、国家药监局等多部委协同出台配套支持举措；北京、上海、四川、湖北、浙江、江苏等省市同步布局产业生态，落地脑机接口临床转化病区、发布专项扶持政策，全方位打造技术创新与产业转化的良好发展环境。

关键问题与破局之道

不过，脑机接口技术实现从实验室到临床、从科研到产业的跨越，仍面临诸多瓶颈。

在信号采集环节，非侵入式设备虽然具备便捷、安全的优势，但其信号采集质量较低，难以满足高精度应用的需求。而侵入式设备尽管能够获得更为准确的神经信号，却存在手术风险，可能引发感染、出血等并发症，并且长期稳定性不佳，随着时间推移，电极与组织的接触可能会发生变化，影响信号采集效果。

解码算法方面，当前的算法在准确性和实时性上有待提升。面对复杂的应用场景和多任务处理时，算法难以快速、准确地解读大脑信号，导致指令输出延迟或错误，影响了系统的整体性能和用户体验。

设备安全性是另一个重要问题。长期植入设备(如电极)的安全性缺乏充分验证，其在人体长期使用过程中可能会对组织产生不良影响，如炎症反应、免疫反应等。这些潜在风险

限制了相关技术的临床应用和推广。

此外，脑机接口还面临着诸多法律与伦理挑战。在个人隐私保护方面，脑机接口获取的大脑信号包含大量个人敏感信息，一旦泄露，将对个人隐私造成严重侵犯。在数据安全方面，如何确保脑机接口系统中数据的存储、传输安全性，防止数据被篡改或滥用，也是亟待解决的问题。同时，脑机接口技术的应用还涉及一系列伦理问题，如人类自主性、认知权利等，需要认真对待。

针对这些问题，应从以下几个方向破局：

在技术创新层面，大力推动神经科学与信息技术深度融合，重点研究高通量、多功能脑机通信接口技术。探索开发更高密度、更小尺寸的电极阵列，采用创新的电极材料和涂层技术，例如研发新型纳米材料电极，以提升信号采集的灵敏度和空间分辨率。同时，利用深度学习、机器学习等先进算法，优化信号预处理、特征提取和分类过程，实现对脑电信号的精准解码，提高信号处理的实时性和准确性。

从人因工程与认知计算结合的角度出发，积极探索低负荷、高友好脑机自然交互方法。通过深入研究用户的认知过程和行为习惯，运用眼动追踪、行为分析等技术手段，优化脑机交互界面的设计和操作流程。采用语音、手势、眼动等自然交互方式，符合人类自然的交互习惯，提高交互的自然性和直观性，降低用户的认知负荷。同时，关注用户的情感需求，引入情感计算技术，通过分析用户的面部表情、语音、生理信号等多模态数据，使脑机交互系统能够感知和理解用户的情感状态，据此调整交互方式和内容。

在产业发展方面，应强化顶层设计，发挥举国体制优势，促进脑机接口领域创新链、产业链、资金链、人才链深度融合。目前脑机接口技术和市场尚处于早期阶段，产业发展前期应以“国家队”为主导，发挥大央企在资金、技术、人才和市场等方面的优势，集中力量攻克技术难题。优先聚焦社会刚需，如医疗领域的疾病治疗康复，加快脑机接口技术在医疗机构的落地应用。

构建标准与评测体系至关重要。重视脑机接口产品的安全、伦理等问题，加快开展脑机相关医疗器械技术指导原则、标准研制与评估工作，尽快形成具有中国特色的脑机接口标准，提升我国在国际上的话语权。

人才队伍建设同样不可或缺。脑机接口技术是一项跨学科多专业的复合型技术，需要多元化、多方面的人才，我国目前在脑机接口专业人才方面存在较大缺口，细分专业人才和复合型人才尤为缺乏。应加大人才培养力度，在高校和科研机构适时建立脑机接口一级交叉学科和本科专业，扩大招生规模，形成从基础研究到应用开发的完整人才队伍。

脑机接口赋能现代医学

脑机接口与医学的深度融合，正在重塑现代医疗的边界。从运动障碍到认知障碍，从神经调控到精神疾患，这项技术为无数患者点燃了希望之光。

针对抑郁症等难治性精神类疾病，脑机非侵入式闭环调控具备不可替代的临床价值。未来脑机接口的应用前景十分广阔，除了医疗领域，还可延伸至游戏、学习、小儿多动症干预、睡眠改善等多个场景。

(下转第6版)

脑机接口技术是赋能全民健康、开启美好生活的关键科技支点。从实验室基础攻关到规范化临床施治，中国脑机行业正迎来跨越式发展的历史机遇。行业长远发展，离不开政府、产业、高校、科研、医疗机构五方深度协同融合，更需要一代代青年科研人才接力攻坚。

脑机接口是一项颠覆性技术

作为深耕医学组织工程学与神经再生领域数十年的科研工作者，我亲历了我国脑机接口技术从跟跑、并跑，到部分赛道实现领跑的跨越式发展。2025年以来，国内脑机接口产业提速明显，多条技术路线进入临床应用验证阶段，落地成效持续显现。

脑机接口可在人脑与外部设备间搭建双向直接信息通路，是融合神经科学、微电子、信息技术、先进制造、新材料等多领域的颠覆性前沿技术。多学科深度交叉不仅拓宽了各基础学科研究边界，更催生一批全新交叉研究方向，为新一轮科技革命注入核心动能。

从产业维度看，脑机接口是释放新质生产力的重要增量赛道。医疗是当前最成熟、潜力最大的应用场景。放眼全球产业竞争格局，中美两国共同主导脑机接口技术研发与产业化进程，近年在相关专利申请量、从业企业数量、领域融资总额等方面，领先其他国家并形成显著优势。

脑机接口不仅是技术革命，更关乎国家战略。它已被证实可显著提高