

脑机接口产业综述

李文宇 周洁 张倩 梁栗炎 成蒴委 王淳佳
中国信息通信研究院 北京 100086

摘要 脑机接口技术兼具创新性、交叉性与前沿性，是未来产业重要方向，在民生、军事等领域潜力巨大，被美国、欧盟、日本等重视发展并长期投入。脑机接口按功能分为脑感知和脑调控，按照两条路线和三个阶段发展，目前正进入3.0阶段，出现智能化和多融合态势。当前，该技术的可用性提升，产业化初期显现，可临床应用和上市产品涌现，产业逐步迈入应用关键期。展望未来，技术创新方面，算法将优化，调控更精准；产业生态方面，早期优势企业转型为开放生态平台型企业，竞争格局演变；投资规模扩大、阶段前移，将加速技术创新与产品迭代。

关键词 脑机接口；脑感知；脑调控；产业生态

Overview of the Brain-Computer Interface Industry

Li Wen-yu, Zhou Jie, Zhang Qian, Liang Li-yan, Cheng Li-wei, Wang Chun-jia

Intellectual Property and Innovation Development Center of China Academy of Information and Communications Technology, Beijing 100086, China

Abstract: The brain-computer interface technology is innovative, interdisciplinary, and cutting-edge, and is an important direction for future industries. It has enormous potential in areas such as people's livelihoods and military affairs, and has been highly valued and invested in by the United States, the European Union, Japan, and others for a long time. Brain-computer interfaces are divided into brain perception and brain regulation according to their functions. They have developed along two routes and in three stages, and are currently entering the 3.0 stage, with the emergence of intelligent and multi-fusion trends. At present, the usability of this technology has improved, and it has emerged in the early stages of industrialisation. Clinically applicable and marketable products have emerged, and more than ten hospitals across the country have opened related wards and clinics, entering a critical period of application. Looking ahead, in terms of technological innovation, algorithms will be optimised and regulation will be more precise; In terms of industrial ecology, early advantageous enterprises have transformed into open ecological platform enterprises, and the competitive landscape has evolved; Expanding investment scale and advancing stages will accelerate technological innovation and product iteration.

Keywords: Brain-Computer Interface; Brain Perception; Brain Regulation; Industrial Ecology

脑机接口技术是一种直接连接人脑与外部设备的技术，是多学科技术集中应用的变革颠覆性技术，具有创新性、交叉性和前沿性三大特点，是未来产业的重要发展方向，在民生、医疗、工业、交通等领域潜力巨大，是大国竞争博弈的必争之地。推动脑机接口领域科技创新和产业发展壮大，加快培育脑机接口未来产业，是推进新型工业化，发展新质生产力的重要方向。

1 脑机接口技术的概念分类与战略价值

1.1 分为脑感知和脑调控两个方向

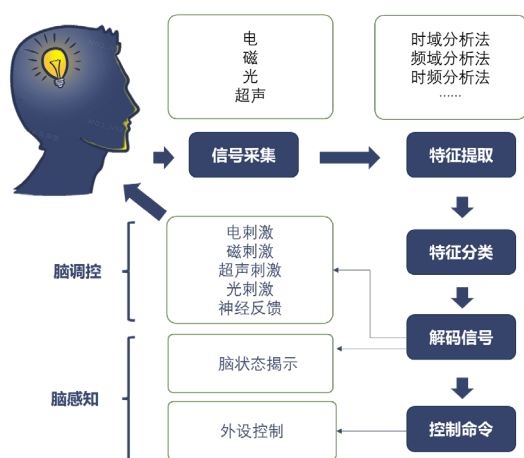
脑机接口是指在有机生命形式的脑与具有处理或计算能力

的设备之间，创建用于信息交换的连接通路，实现信息交换及控制，这一概念最早由Jacques Vidal在1973年提出，并进行了初步实验验证^[1]。脑机接口的技术实现方法是通过电、磁、光、超声等手段采集和分析大脑信号，解码出大脑意图。其中，电信号记录是最常用的方法，如Utah阵列电极^[2]和Neuropixels探针^[3]极大提高了神经信号采集的精度。解码结果可用于揭示脑状态和输出意图，如疲劳、情绪、认知等状态；还可被转化为控制命令，实现对无人机、轮椅等外部设备的控制。例如，Hochberg等人于2012年首次实现了瘫痪患者通过侵入式BCI控制机械臂完成抓取动作^[4]。解码结果也可以用于优化对大脑的

*[基金项目] 基金项目：国家重点基础研究发展计划(973计划) 资助项目 (***)；国家高技术研究发展计划(863计划) 资助项目 (***)；国家自然科学基金资助项目 (***)；国家自然科学基金重大项目 (***)；国家自然科学基金重点项目 (***)；天津市应用基础与前沿技术研究计划重点资助项目 (***)。

刺激,使对大脑的外部刺激更加精准,以实现神经功能的恢复、替代和增强,如脑深部电刺激(DBS)技术,由Benabid等人于1987年首次应用于帕金森病治疗^[5]。

因此,根据脑机接口技术的实现方法,可分为脑感知和脑调控两类。脑感知即在“了解脑”的基础上“利用脑”,是对大脑信息的输出和利用。常见以电、磁、光、超声等手段进行脑信号采集成像和记录,从而揭示脑状态以进行疾病预警和诊断,以及对外交互和控制。对大脑意图的解码结果还可以用于优化对大脑进行刺激的参数,使对大脑的神经调控更加精准,以实现神经功能的恢复、替代和增强,此类技术可视为脑调控技术。



来源:中国信息通信研究院

图1 脑机接口技术的实现方法

Fig. 1 Implementation Methods of Brain-Computer Interface Technology

脑感知技术还可分为侵入式和非侵入式两类。侵入式技术根据电极的不同类型,正在按照柔性微丝脑深部电极、柔性高密度脑皮层电极、刚性阵列电极、血管介入电极四大技术路线并行发展,普遍处于临床试验阶段。非侵入式脑感知技术的应用场景探索处于初期阶段。

侵入式脑调控技术的少量产品已成熟应用多年,如人工耳蜗、脑起搏器,大量在研技术和产品聚焦成瘾戒除、抑郁症、老年痴呆等方向,如反应性神经刺激系统(RNS)^[6]等,普遍处于产品研制阶段。非侵入式脑调控技术已有医疗级产品相继问世和应用,如脑机接口运动康复训练设备,成效良好,消费级产品也处于小范围应用推广阶段,用于改善睡眠如经颅直流电刺激tDCS^[7]、提升认知如聚焦超声FUS^[8]。值得一提的是,传统神经调控技术早期阶段皆为开环调控,严格意义上并不属于脑机接口技术,但随着技术发展,脑起搏器、人工耳蜗等代表性技术正朝向感知闭环调控方向发展,因此将已出现明确闭环发

展趋势的脑调控技术也纳入脑机接口范围,将其开环阶段视为脑机接口的早期形态。

1.2 变革性颠覆性特点明显,是大国博弈重的要方向

脑机接口的交叉性促进多学科深度耦合和边界拓展。如信号采集需要融合神经科学和工程学,信号解码需要计算机科学与神经编码理论协同优化,隐私安全解决方案带动伦理学与社会科学协同发展。脑科学可为人工智能的不可解释性等传统问题突破提供新视角。脑机接口的前沿性实现颠覆性技术突破。双向脑机接口技术已实现大脑向设备输出信号的同时,设备向大脑反馈模拟触觉,如Andersen团队实现猴子通过闭环反馈控制虚拟手臂并接收触觉信号^[9];还能通过刺激大脑提升记忆、注意力,实现认知增强,如经颅直流电刺激(tDCS)提升工作记忆^[7];脑机接口对脑网络的深入研究有助于实现多人脑机接口,在特定场景探索群体意识与协作机制,Rajesh Rao团队于2019年首次实现“多人脑机接口”,系统命名为BrainNet^[10]。

脑机接口在民生领域潜力巨大,是大国竞争博弈必争之地。脑机接口能推动破解抑郁症、癫痫、帕金森、孤独症、脑卒中等传统脑疾病诊疗效果有限、恢复效果不佳的问题,甚至可帮助“不能动”“不能言”“不能听”类患者恢复身体机能。我国脑疾病患者基数庞大,老龄化趋势明显,发病趋势低龄化,残疾群体近亿,社会照护和经济负担沉重,推动脑机接口普及,将为大量病弱残群体带来福祉。

脑机接口在监测人员身心状态,及时发现和缓解疲劳压力,使其保持思维敏锐和反应速度,如fMRI指纹驱动神经反馈可快速提升情绪调节能力,降低PTSD发生率^[11];在紧急情况下突破生理极限,通过刺激大脑使其在短时间内掌握新知识和新技能,灵活应对变化的环境。

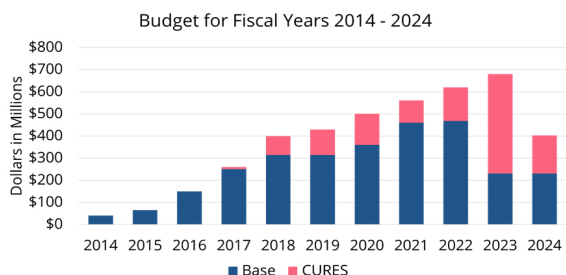
2 脑机接口技术和产业发展总体态势

2.1 多国长期投入脑科学研究,持续布局促创新

美国的脑计划2.0、欧盟的人脑计划及日本的长期研究计划,都试图通过大量资金投入和技术研发,加深对大脑的研究和工具开发,最终造福人类。各国持续拨付的科研经费体现政府高度重视脑科学研究及医学临床转化。

2014—2023年,美国政府脑计划投入超过30亿美元,美国多部门积极参与脑计划。美国国立卫生研究院(NIH)带领10家下属机构在脑计划中发挥领导作用,此外,美国国防高级研究计划局、美国国家科学基金会等部委也通过脑计划的多理事

会工作组参与相关工作。欧盟积极打造协同创新网络，研发朝多元化发展。



来源：美国脑计划

图2 美国脑计划的基础经费和补充经费

Fig.2 Basic and Supplemental Funding of the U.S. BRAIN Initiative

欧盟在2013年发起为期10年的“人脑计划”，总投资达11.4亿欧元。截至2023年，19个国家的155个研究机构、500余位研究人员参与该计划，充分推动了脑科学领域的多学科交叉融合与协同创新网络构建。

中国2021年实施脑计划，推动系列成果诞生。浙江大学建立了完备的“鼠、猴、人”脑机研究平台。华山医院首次实现从“意念”到汉语语句文本的解码。复旦大学研制出万级通道的全脑维度皮层微电极阵列。

2.2 百年科研成果不断积淀，推动技术创新进入快车道

脑机接口当前处于技术爆发期。脑机接口概念于1973年被提出，距今已有50余年历史，经历了从理论探索到技术突破的多个关键阶段。按照技术发展脉络可分为概念萌芽期、科学论证期、学术发展期和技术爆发期。美国2013年启动的脑计划对技术发展影响深远，可视为分水岭，根据脑计划实施前、实施中和实施后，可划分脑机接口发展的三个阶段。

来源：中国信息通信研究院

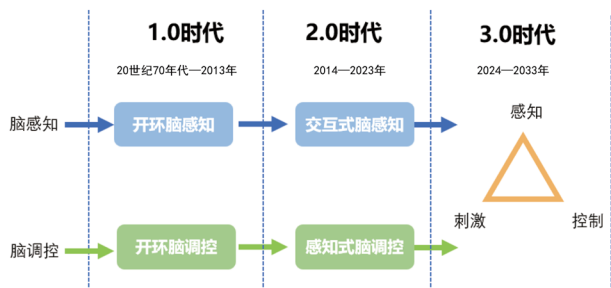


图3 脑机接口技术发展阶段

Figure.3 Development Stages of Brain-Computer Interface Technology

1.0时代脑感知代表性产品包括：电方式感知神经信号的脑电图机，光方式感知脑信号的多通道近红外脑功能成像系统，磁方式感知脑信号的脑磁图仪。脑电技术从模拟向数字转变，

实现更高精度、更强抗干扰能力和更丰富的功能。多通道近红外脑功能成像技术朝着更高精度、更智能化和更广泛的应用场景发展。脑磁图技术从单通道演进为多通道，全脑尺度范围更大，灵敏度和分辨率更高。脑调控代表性产品包括人工耳蜗和脑起搏器，朝着微型化、智能化、生物相容性和安全性更高的方向发展。

2.0时代脑感知技术演进为交互式，脑调控技术演进为感知式。脑感知式交互技术呈现技术路线多条，产品形态多样且功能多元的特点。脑调控技术新增感知功能，可实现个性化精准治疗。

从2024年开始的3.0阶段，脑感知和脑调控技术彼此交融，出现智能化特征。采集解码、闭环控制、学习校准等功能更加智能，且出现多技术手段融合、产品功能融合和学科交叉融合态势。

2.3 技术处于发展窗口期，正从实验室走向实际应用

2.3.1 技术可用性明显提升

如加州大学将只能工作1~2 d的设备通过人工智能自学习破解信号漂移难题，实现连续7个月无校正的新突破。加州大学伯克利分校将解码速度从之前的每分钟28词提升到90词，实现实时流畅神经语音解码。天津大学与清华大学通过忆阻器神经形态器件将解码速度提升百倍以上，能耗降到千分之一以下。

2.3.2 产业化初期特征显现

近年来，可临床应用和可上市产品不断涌现。2025年4月，美国公司Precision的脑机接口系统植入时间从短期被批准为长达30天，显著提高收集了高质量神经数据的能力，有助于系统优化性能。2024年5月，昆迈医疗自主研发的脑磁图系统获得批准上市，实现细分领域国际领跑和高端医疗装备国产化新突破。2025年，武汉依瑞德的抑郁症用经颅磁刺激仪经过多年的多中心安全性、有效性、稳定性等验证，于2025年5月获得三类医疗器械注册证。

2.3.3 应用端积极拥抱技术

2025年上半年，天津、北京、湖北、广东、新疆等全国十余家医院相继开设脑机接口病房和门诊，这一举措意义深远。这些医院凭借自身在医疗领域的专业优势和丰富资源，积极引入脑机接口技术，其接诊范围广泛，全面涵盖脑功能障碍、意识障碍、运动障碍、听觉障碍及神经退行性疾病等多个关键领域。例如，对于脑功能障碍患者，脑机接口技术能够通过精准解读大脑信号，辅助医生制订个性化的治疗方案，帮助患者

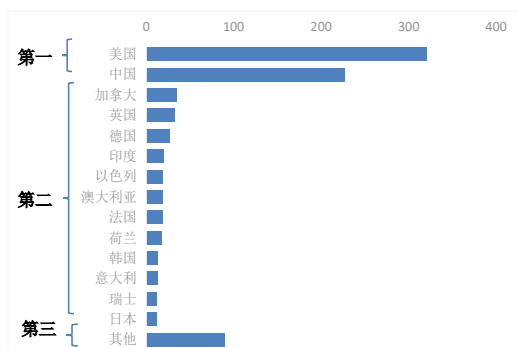
恢复部分认知和运动功能；在意识障碍领域，该技术为长期昏迷患者带来了苏醒的希望，通过刺激大脑特定区域，激发患者的意识活动。这一现象充分体现了医疗机构对脑机接口技术的高度认可，标志着该技术从实验室研究迈向临床应用的重要跨越，为众多患者带来了新的治疗选择和康复曙光。

2.4 应用案例不断涌现，多方证实技术安全有效

多起临床结果证实脑机接口安全有效，可显著提升残障群体的独立性和生活质量。从2004年到2025年，参加BrainGate试验的14名成年人未发生颅内感染、死亡或致残等不良事件，犹他电极阵列成功记录了神经尖峰波形，长达7.6年的电极植入期间，电极性能仅下降7%，阵列峰值动态信噪比（dSNR）大于4.5，接近健全人士使用电脑鼠标时所能达到的控制水平（6.29），印证了植入式技术的安全性和有效性。2024年1月，美国公司Neuralink的脑机接口技术首例植入患者已实现灵活操控光标、对外交流并成功找到工作。2025年3月，北京脑科学与类脑研究所开发的“北脑一号”智能脑机系统植入患者术后恢复良好，已实现常用近百词的中文解码输出。2025年3月，复旦大学加福民团队研发的“三合一”脑脊接口微创技术使曾被宣判“永远站不起来”的患者在术后24h后恢复腿部运动。

2.5 企业持续增多近千家，全球产业快速发展

从企业发展态势看，脑机接口产业链的核心企业持续增多，已突破800家，遍及50个国家，形成明显的梯队效应。美中两国为第一梯队，企业集聚。加拿大、德国、英国、印度等12个国家位居第二梯队，全球占比均不足5%。第三梯队的国家和企业数量均为个位数。



来源：中国信息通信研究院

图4 脑机接口产业链分布的国家

Figure.4 Countries in the Brain-Computer Interface Industry Chain Distribution

从投融资看，截至2025年4月，金额接近100亿美元。资本对脑机接口技术的信心增强，投早现象开始增多。2024年全球

天使轮、种子轮和A轮等早期阶段吸引投资增长16%，超过43%的投资聚焦在天使轮、种子轮和A轮等早期阶段。例如，Prime Movers Lab领投公司Cognixion的种子轮投资1200万美元；Arboretum Ventures领投公司Motif Neurotech的A轮投资1875万美元。



来源：中国信息通信研究院

图5 全球脑机接口投资趋势

Figure.5 Global Brain-Computer Interface Investment Trends

从市场规模发展看，麦肯锡测算全球脑机接口医疗应用的潜在市场规模在2030年有望达到400亿美元，到2040年预计突破1450亿美元大关。美国摩根士丹利预测美国脑机接口医疗市场规模5年后达到4000亿美元。

从产业生态培育看，政府支持和广泛协同创新态势正在显现。2023年2月，工信部指导成立脑机接口产业联盟，两年来，该联盟有效促进产业多方协同，会员数量已达257家。联盟通过组织脑机接口创新任务揭榜挂帅、举办脑机接口大赛和大会、推动标准组织成立和发布产业支持政策等方式推动了产业高质量发展。

2024年3月，美国FDA推动脑机接口协作社区成立，引领头部企业、医疗机构、患者团体和基金资本方形成“技术验证—审批—商业化”闭环。截至2025年5月，已召开46次工作组会议，部署40项工作任务，其中5项已完成。

2.6 脑机接口国际和国内标准研究相继启动

标准化工作受到三大国际标准化组织广泛重视。ISO/IEC JTC1 已成立脑机接口咨询组(AG16)，围绕脑机接口技术与行业发展以及标准化需求开展研究，提交术语标准立项提案，征集用例等。ITU对脑机接口处于观察跟踪状态，组织研讨会议。IEEE 标准协会在术语、神经刺激、在体神经接口等方向已开展标准化项目。

国内标准化工作开始升温，工信部视脑机接口作为未来产业的代表之一，将其作为标准化工作的重点方向。我国承担ISO/IEC JTC1 SC43脑机接口分技术委员会秘书处工作。国家药

监局积极推动行业标准起草。中国信息通信研究院牵头成立了中国标准化协会“脑机接口与类脑智能专业委员会”以及中国通信标准化协会“脑机交互和信息系统子组”，成为研制面向脑机接口技术和应用的团体标准、行业标准的有力抓手。

2.7 中美领航技术产业发展，抢抓机遇动作明显

从专利看，中美脑机接口专利申请表现突出，两国总量全球占比从2022年的67%增至2024年的76%。从产业生态看，中美各自企业超过200家，遥遥领先他国，两国拥有全球六成企业。从投融资看，美国融资44亿美元，中国融资16亿美元，两国吸引全球七成以上资金。

从政府推动看，中国多部委为脑机接口发展积极指引方向和创造有利条件。工信部启动“未来产业创新任务揭榜挂帅”工作，脑机接口是方向之一。科技部发布研究伦理指引，规范研究。2025年促进脑机接口产业发展的利好举措密集出台，国家医保局和湖北省医保局相继发布脑机接口医疗服务价格。国家药监局公开征求支持高端医疗器械创新发展的举措反馈意见，同时推进标准工作前行。国务院办公厅印发办法里提出对脑机接口设备予以优先审评审批。北京、上海、南京等地相继发布脑机接口行动方案。

美国加快推动脑机医疗器械产业化。美国食品和药品监督管理局（FDA）于2023年启动产品全生命周期咨询（TAP）试点计划，显著加强对特定技术方向医疗器械设备的极早期指导且缩短了审查周期。FDA还不断扩大试点范围，2024年纳入了神经器械，不断扩大试点设备数量，2024年将15台扩至60台，2027年将达到325台。2024年3月，将美国公司Neurolutions的上肢康复设备纳入医保报销体系，该设备还被美国退伍军人事务部纳入政府采购范畴。

3 脑机接口发展展望

脑机接口是多学科技术的集中应用，体现出碳基和硅基技术的深度融合，以及数字化技术与智能化技术的融合。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，将有望成为未来产业增长的引擎。

3.1 脑机接口技术创新不断进阶

脑机接口有助于进一步深化人机融合，实现智能交互。借助对神经信号的采集与解析、反馈与调控等手段，未来人机智能交互可能不再依赖预设程序，而是在真实场景中由人直接下

达给设备，动态生成指令。被控设备也不再局限于单一设备，而是分布于大脑神经网络与外部智能终端的协同体系之中。

3.1.1 算法更加优化

一方面，脑机接口技术与深度学习、强化学习、生成对抗网络等算法的结合更加紧密，信号处理与交互策略得到优化，意图识别准确率和设备控制精准度得到提升。另一方面，脑机接口技术将以更高效、更节能的仿生模式带动智能计算技术、神经形态计算技术发展。

3.1.2 调控更加精准

未来在深入理解各脑区之间的作用机制的基础上，有望研制出能预测潜在风险并自适应调整调控策略的智能模型，在复杂多变的实际环境中动态生成调控策略，优化大脑整体功能。

3.1.3 形成技术深度协同

脑机接口借助先进的传感器技术、信号处理算法以及接口协议，实现与多种类型外设的高度兼容与协同工作，同时与云计算、算力形成深度耦合，将处理结果实时反馈至外设，使人机交互更加高效，协同完成复杂任务。

3.2 脑机接口产业生态格局加速构建

3.2.1 产业链趋向融合，产业平台化发展促进生态繁荣

在产品层面，硬件制造与软件开发走向融合。一些具有市场优势的企业不仅研发硬件设备，还将同步开发配套的数据处理和分析软件，以优化软硬件协同性能，提高系统的整体效率和稳定性；甚至搭建开放式的脑机接口生态平台，提供标准化的接口和开发工具，降低开发门槛，吸引开发者、科研机构、医疗机构等各方参与，促进创新应用的涌现，形成良性的产业生态循环。

3.2.2 上下游协同更加密切，收并购浪潮加速行业资源整合

上游将与中游设备制造商、系统集成商，以及下游应用开发商配合得更加紧密。例如，定制开发高性能、低功耗的专用芯片，为设备的性能提升提供支持。一些创新步伐领先的领军企业和传统巨头接连入场，以收并购模式整合供应链，快速补齐产品短板和抢占市场。

3.2.3 跨行业入局者不断增多，向差异化竞争演进

脑机接口应用领域广泛，未来将吸引科技巨头、医疗企业、汽车制造商等跨行业企业纷纷涉足，也将带来资金、技术和市场资源的整合。未来头部企业将凭借其强大的研发实力和资金投入，在高精度脑电信号采集、高效解码算法等核心技术领域占据技术制高点，形成一定的垄断优势。这些企业将主导行业标准和技術发展方向，引领产业进步。众多中小企业将凭

借灵活的创新机制和对细分市场的深入了解,在细分领域形成差异化竞争优势。

3.3 投融资体系发展更加多元、包容

3.3.1 投资规模持续扩大

当前投资趋势已经清晰显现,资本青睐技术突破型的系统集成整合类型企业,尤其是有创新技术领域企业。随着有创脑机接口技术的临床试验成功案例不断涌现,资本将加大对该领域的投资力度。特别是能将采集、解码、调控等关键技术进行有效集成和整合,取得重大突破的企业将成为投资热点。

3.3.2 投资阶段前移

除了对成熟企业的投资,投资者将更加关注早期创业企业。在研发初期阶段的企业获得资金支持的机会将更多,从而更快完成技术验证和产品原型开发,加速产业的发展。

3.3.3 投资领域全面化

参考文献

- [1] VIDAL J J. Toward direct brain-computer communication[J]. Annual Review of Biophysics and Bioengineering, 1973, 2: 157-180.
- [2] CAMPBELL P K, JONES K E, HUBER R J, et al. A silicon-based, three-dimensional neural interface: manufacturing processes for an intracortical electrode array[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 1991, 38(8): 758-768.
- [3] JUN J J, STEINMETZ N A, SIEGLE J H, et al. Fully integrated silicon probes for high-density recording of neural activity[J]. Nature, 2017, 551(7679): 232-236.
- [4] HOCHBERG L, BACHER D, JAROSIEWICZ B, et al. Reach and grasp by people with tetraplegia using a neurally controlled robotic arm[J]. Nature, 2012, 485: 372-375.
- [5] BENABID A L, POLLAK P, LOUVEAU A, et al. Combined (thalamotomy and stimulation) stereotactic surgery of the VIM thalamic nucleus for bilateral Parkinson disease[J]. Applied Neurophysiology, 1987, 50(1-6): 344-346.
- [6] MORRELL M J, RNS System in Epilepsy Study Group. Responsive cortical stimulation for the treatment of medically intractable partial epilepsy[J]. Neurology, 2011, 77(13): 1295-1304.
- [7] NITSCHKE M A, PAULUS W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation[J]. The Journal of Physiology, 2000, 527(3): 633-639.
- [8] FINI M, TYLER W J. Transcranial focused ultrasound: a new

医疗健康领域是脑机接口当前最核心的应用方向,存在刚性需求,且企业数量在下游占比显著,因此医疗健康领域的投资仍将持续升温,从神经系统疾病的治疗到精神疾病的干预,再到康复医疗和健康监测,都有望获得大量的资金投入。随着脑机接口技术在消费电子、智能交通等领域的潜在应用逐渐显现,这些领域也将成为投资的新方向。

3.3.4 融资渠道将更加多元化

政府通过设立引导基金,引导社会资本投向脑机接口产业。这些基金不仅可以提供资金支持,还能在政策扶持、产业对接等方面发挥积极作用,促进产业的健康发展。此外,社会资本的活跃度也将更高,联合投资、风险共担等灵活多样的资金支持模式,将为企业发展提供更为充裕的资金供给,加速脑机接口技术的创新与产品迭代,有效促进脑机接口产业高质量发展

- tool for non-invasive neuromodulation[J]. International Review of Psychiatry, 2017, 29(2): 168-177.
- [9] KLAES C, SHI Y, KELLIS S, et al. A cognitive neuroprosthetic that uses cortical stimulation for somatosensory feedback[J]. Journal of Neural Engineering, 2014, 11(5): 056024.
 - [10] JIANG L, STOCCO A, LOSEY D M, et al. BrainNet: A multi-person brain-to-brain interface for direct collaboration between brains[J]. Scientific Reports, 2019, 9: 6115.
 - [11] KEYNAN J N, COHEN A, JACKONT G, et al. Electrical fingerprint of the amygdala guides neurofeedback training for stress resilience[J]. Nature Human Behaviour, 2019, 3: 63-73.
 - [12] JEONG J H, LEE D H, AHN H J, et al. Towards brain-computer interfaces for drone swarm control[C]//2020 8th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI). Gangwon, Korea (South), 2020: 1-4.
 - [13] MALAVERA A, SILVA F A, FREGNI F, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation for phantom limb pain in land mine victims: A double-blinded, randomized, sham-controlled trial[J]. The Journal of Pain, 2016, 17(8): 911-918.