论著·公共卫生智库

我国脑机接口政策的演进脉络、现实问题与优化对策:从战略布局到产业培育的十年回顾

张家乐[1,2],陈俊霖[1],付 谦[1,2],方 令[3] [1]华中科技大学同济医学院医药卫生管理学院,湖北武汉;[2]湖北省人文社科重点研究基地农村健康服务研究中心,湖北武汉;[3]南京医科大学附属泰州人民医院,江苏泰州

[摘要] **目的** 脑机接口(brain-computer interface, BCI)作为医学领域最具代表性的颠覆性创新技术,已成为全球科技竞争的战略制高点。本研究梳理分析我国脑机接口发展的政策脉络与现实问题,提出针对性优化建议,为推动脑机接口高质量发展提供参考借鉴。**方法** 通过文献综述,总结梳理脑机接口的概念、分类与技术发展趋势;基于时间序列,梳理我国脑机接口相关政策的演进脉络与核心内容;结合文献证据,对政策实施效果及存在问题进行综合研判。**结果** 我国脑机接口政策体系呈现明显的阶段性演进特征:①战略布局阶段(2016—2020年),政策重点集中于基础研究与前沿技术布局,正式将脑科学纳入国家科技创新战略体系;②医工融合阶段(2021—2024年),政策重心转向技术转化与应用场景拓展,重点推动脑机接口在康复医疗、智慧养老等领域的应用,并逐步推进标准化建设和医疗器械审评提速;③产业培育阶段(2025年至今),相关政策密集出台,政策内容覆盖研发、监管、医保和金融等全产业链各环节。**结论** 我国脑机接口发展已经初步形成了"政策-科研-监管-产业"协同联动的格局,但仍存在产业化能力有待加强、政策支持体系尚不完善、跨部门协同管理机制尚未建立、风险治理与伦理监管相对滞后等问题,亟须进一步完善全链条政策支持体系与治理机制。**对策** 建议聚力突破核心技术瓶颈,推动跨学科融合发展;加大财政投入并引导耐心资本进入,建立多元化投融资机制;完善顶层制度设计,构建全链条政策支持体系;建立国家层面统筹管理机构,强化跨部门协同治理;强化风险防控与伦理治理,实现脑机接口价值善用。

[关键词] 脑机接口;医工融合;技术治理;政策分析

[中图法分类号] R314;R319;R322.81 [文献标志码] A

Policy evolution, practical challenges, and optimization strategies of China's brain-computer interface: a decade review from strategic planning to industrial cultivation

ZHANG Jiale[1,2], CHEN Junlin[1], FU Qian[1,2], FANG Ling[3] [1]School of Medicine and Health Management, Tongji Medical College, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan, Hubei; [2]Research Center for Rural Health Services, Hubei Provincial Key Research Institute of Humanities and Social Sciences, Wuhan, Hubei; [3]the Affiliated Taizhou People's Hospital of Nanjing Medical Universiry, Taizhou, Jiangsu, China

[**Abstract**] **Objective** Brain-computer interface (BCI), as one of the most representative disruptive innovations in the medical field, has emerged as a strategic high ground in global technological competition. This study systematically reviews and analyzes the policy evolution and practical challenges of BCI development in China, and proposes targeted optimization recommendations to provide a reference for promoting high-quality development. **Methods** Through literature review, the concept, classification, and

[基金项目] 国家自然科学基金青年项目(72104083)

[通信作者] 方 令,E-mail: fanglingsir@163.com

2097-0927/Copyright © 2026, 陆军军医大学(第三军医大学)。这篇开放获取文章遵循 CC BY 许可协议 (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

引用格式:张家乐,陈俊霖,付谦,等. 我国脑机接口政策的演进脉络、现实问题与优化对策:从战略布局到产业培育的十年回顾[J]. 陆军军医大学学报,2026,48(10):1396-1408. DOI:10.16016/j.2097-0927.202602081.

Citation:ZHANG J L, CHEN J L, FU Q, *et al*. Policy evolution, practical challenges, and optimization strategies of China's brain-computer interface: a decade review from strategic planning to industrial cultivation[J]. J Army Med Univ, 2026, 48(10): 1396-1408. DOI:10.16016/j.2097-0927.202602081.

technological development trends of BCI were summarized. Based on a time-series perspective, the evolutionary trajectory and core contents of BCI-related policies in China were analyzed. The implementation effects and existing problems of policies were comprehensively assessed in conjunction with evidence from the literature. **Results** China's BCI policy system exhibited distinct stage-specific evolutionary characteristics: ① Strategic planning stage (2016 to 2020), during which policy priorities focused on basic research and frontier technological deployment, formally incorporating brain science into the national science and technology innovation agenda; ② Medical-engineering integration stage (2021 to 2024), during which the policy focus shifted toward technology translation and application scenario expansion, with emphasis on promoting BCI applications in rehabilitation medicine, smart elderly care, and other fields, alongside gradual advancement in standardization and accelerated medical device evaluation and approval processes; ③ Industrial cultivation stage (2025 to present), during which related policies were intensively introduced, covering the entire industrial chain, including research and development, regulation, medical insurance, and financial support. **Conclusion** China's BCI development has preliminarily formed a coordinated framework of "policy-research-regulation-industry." However, several challenges remain, including insufficient industrialization capacity, an incomplete policy support system, the absence of an effective cross-sectoral coordination mechanism, and relatively lagging risk governance and ethical regulation. There is an urgent need to further improve the full-chain policy support system and governance mechanisms. **Countermeasures** It is recommended to concentrate efforts on breaking through core technological bottlenecks and promoting interdisciplinary integration and development, increase fiscal investment and guide patient capital to establish diversified investment and financing mechanisms; improve top-level institutional design to construct a full-chain policy support system; establish a national-level coordinating body to strengthen cross-departmental collaborative governance; and reinforce risk prevention and ethical governance to ensure the responsible and value-oriented application of BCI technologies.

[**Key words**] brain-computer interface; medical-engineering integration; technology governance; policy analysis

Support and by the National Natural Science Foundation for Young Scholars of China (72104083). Corresponding author: FANG Ling, E-mail: fanglingsir@163.com

脑机接口(brain-computer interface, BCI)作为融合神经科学、计算机科学与材料科学等多个学科的颠覆性前沿技术,是培育新质生产力、领跑第四次工业革命的关键着力点[1]。随着全球人口老龄化加剧及神经系统疾病发病率的上升,脑机接口在训练康复、脑神经疾病治疗、手术与麻醉等医疗领域的应用价值日益凸显[2-4]。据估算,全球脑机接口市场规模有望在2030—2040年间突破千亿美元;其中,中枢神经系统疾病治疗等严肃医疗的应用规模至2030年预计可达150亿美元,而消费医疗同期预计可达250亿美元[5]。脑机接口的临床应用探索方兴未艾,正成为大国科技竞争的制高点。

我国是全球脑机接口发展的主要贡献力量之一,在柔性电极与半侵入式技术方面取得国际领先突破[6]。2026年国务院政府工作报告将脑机接口与未来能源、量子科技、具身智能等并列为国家重点培育的未来产业,提出要建立未来产业投入与风险分担机制,培育专精特新中小企业与独角兽企业[7]。脑机接口也被多地写入省级政府工作报告中,广东、北京、上海、山东等省份相继出台多项政策,加速推动脑机接口科技创新与成果转化。现有研究多聚焦于特定疾病的脑机接口技术研发与应用,针对我国脑机接口发展的政策研究相对较少。因此,本研究梳理我国脑机接口政策脉络,剖析当前面临的主要问题与挑战,并提出针对性优化建议,为我国脑机接口高质量发展提供参考。

1 资料与方法

1.1 资料来源

以"脑机接口""脑科学""脑电信号""神经科学"等主题词及其对应的英文为检索词,在中国知网、万方、维普、Web of Science、PubMed等国内外学术数据库中检索近年来发表的关于脑机接口前沿趋势、临床应用、技术治理方面的学术文献;在北大法宝法律数据库以及科学技术部、工业和信息化部、国家卫生健康委员会等相关部委官方网站,搜集整理国家层面出台的脑机接口相关政策文本,检索时间截至2026年3月10日。

1.2 研究方法

本研究主要采用文献研究法,总结梳理脑机接口的概念、分类与技术发展趋势;基于时间序列梳理政策发布情况,对我国脑机接口相关政策的演进脉络进行划分,归纳和分析政策文件的核心内容,总结我国脑机接口政策体系的主要特征;最后,结合国际脑机接口发展趋势与我国脑机接口产业发展现状,对政策实施效果及存在问题进行综合研判,提出针对性优化建议。

2 结果

2.1 脑机接口概述

2.1.1 基本概念 脑机接口是一种在大脑与外部设备之间建立直接的信息交流与控制通道,以实现二者交互的先进技术,具有交叉、创新、前沿3大特性。其基本原理是采集大脑的电活动,通过特征提取与解码算法将其转化为控制指令,从而绕过受损的外周神经或肌肉组织,重建大脑与外界的交互通路,实现对人体神经功能的修复、增强或替代[8-9]。

2.1.2 脑机接口分类 根据信号采集方式的不同,脑机接口可以划分为非侵入式、侵入式及半侵入式3类。非侵入式脑机接口通过附着在头皮表面的传感器记录脑电活动,无需进行外科手术[2],是目前应用最为广泛的脑机接口技术,其中基于脑电图(electroencephalogram, EEG)的脑机接口是各国研究的重点[10]。侵入式脑机接口需要通过神经外科手术将微电极阵列直接植入大脑皮层内部,由于电极直接接触神经元,能够记录到高保真的电位数据[11]。半侵入式脑机接口介于侵入式和非侵入式之间,传感器位于大脑皮层表面但未刺入脑组织内部,代表性技术包括皮层脑电图(electrocorticogram, ECoG)、颅内脑电图

表1 脑机接口的分类对比

Table 1 Comparison on classification of brain-computer interfaces

类型 Type	优点 Advantages	缺点 Disadvantages	典型应用场景 Typical application scenarios
非侵入式 Non-invasive BCI	无需进行手术,安全性高;成本较低,易于推广;设备便携,操作简单 Does not require surgical procedures, ensuring high safety; relatively low cost and easy scalability; portable devices with simple operation	信号采集质量相对较低,易受外界环境干扰 Lower signal acquisition quality and susceptibility to external interference	运动康复:脑卒中患者肢体运动康复训练;外骨骼机器人步态康复;辅助重度残疾人群进行简单的轮椅控制或意念拼写[4,13-15] Motor rehabilitation: Limb motor rehabilitation training for stroke patients; gait rehabilitation using exoskeleton robots; assistance for individuals with severe disabilities in basic wheelchair control or motor imagery-based spelling[4,13-15] 载人航天:结合信号评估与反馈训练,提升航天员的认知功能和心理韧性;通过意念控制优化设备操作;改善航天员的情绪与认知功能[12] Manned spaceflight: Enhancement of astronauts' cognitive function and psychological resilience through signal assessment and feedback training; optimization of equipment operation *via* motor imagery control; improvement in emotional and cognitive states[12] 军事应用:战员认知状态、大脑信号和其他生理指标的实时监测与调控;基于"脑机协同""人机合一"的战员能力增强、神经系统损伤修复[16] Military applications: Real-time monitoring and regulation of soldiers' cognitive states, brain signals, and other physiological indicators; capability enhancement and neural injury repair based on brain-machine collaboration and human-machine integration[16]
侵入式 Invasive BCI	能捕捉更加精确和高分辨率的大脑信号,更为稳定;指令解码更快、更准确 Enables acquisition of more precise, high-resolution brain signals with greater stability; faster and more accurate command decoding	需要进行开颅手术,存在手术并发症风险、长期生物相容性、伦理争议等问题 Requires craniotomy, posing risks of surgical complications, long-term biocompatibility issues, and ethical concerns	复杂神经解码:癫痫的预测定位与神经调控;截瘫患者的高通量语音解码(实现"意念说话")[17-19] Complex neural decoding: Prediction, localization, and neuromodulation for epilepsy; high-throughput speech decoding for paralyzed patients (enabling "speech *via* intention")[17-19] 长效运动代偿:肌萎缩侧索硬化症(渐冻症)晚期患者的长效意念打字与外界通信;辅助颈段脊髓损伤(四肢瘫痪)患者自主控制站立与行走[20-21] Long-term motor compensation: Long-term intention-based typing and communication for patients with advanced amyotrophic lateral sclerosis (ALS); assistance for patients with cervical spinal cord injury (tetraplegia) in achieving autonomous standing and walking[20-21]
半侵入式 Semi-invasive BCI	在信号质量和组织损伤风险之间取得了折中平衡 Achieves a trade-off between signal quality and tissue damage risk	同样需要进行手术 Still requires surgical intervention	

(intracranial electronencephalogram, iEEG)[12]。各类脑机接口的优缺点及典型应用场景见表1。

2.1.3 脑机接口技术发展趋势 脑机接口研究最早可以追溯到20世纪60年代的大脑神经元活动研究。1973年,美国的Jacques Vidal首次提出"脑机接口"的术语,标志着这一概念的正式诞生[22]。近年来,随着材料科学、微纳加工与人工智能的快速发展,脑机接口进入高速迭代与推广普及的新阶段。在电极材料与植入方式上,加速向柔性化与微创化演进。传统硬质电极易引发异物排斥反应,导致长期信号衰减。目前,高密度、高生物相容性的柔性微纳电极已成为主流趋势[6]。在神经解码算法上,脑机接口与人工智能(AI)的交叉融合越来越受到世界各国的重视[23],深度学习、迁移学习等技术有效推动多模态、高通量解码,大幅提升人机交互的精度,甚至正逐步探索构建新一代"脑数字孪生"系统[24]。在系统架构上,新兴脑机接口系统不再局限于单一的脑电读取,而是集成脑机接口-人类用户-计算机的双向闭环调控系统[9];此外,可穿戴技术的发展摆脱了线缆束缚,为脑机接口设备的全天候应用及走向大众消费场景奠定了物理基础[25]。

2.2 我国脑机接口发展的政策脉络

2.2.1 战略布局阶段(2016—2020年) 这一阶段的政策重点在于将脑机接口纳入国家科技创新的核心版图,侧重于关键理论与技术突破(表2)。2016年,国务院发布《"十三五"国家科技创新规划》(国发〔2016〕43号),将"脑科学与类脑研究"纳入科技创新2030重大工程,标志着"中国脑计划"正式启动。在应用引导方面,相关政策初步确立了脑机接口在特定康复场景的转化方向。《国务院关于加快发展康复辅助

表2 战略布局阶段(2016—2020年)脑机接口政策梳理

Table 2 Policy overview of BCI during the strategic planning stage (2016 to 2020)

时间 Time	政策文件 Policy document	相关内容述评 Summary of relevant content
2016年7月 July 2016	《国务院关于印发"十三五"国家科技创新规划的通知》(国发〔2016〕43号) *Notice of the State Council on Issuing the 13th Five-Year National Science and Technology Innovation Plan*	将"脑科学与类脑研究"列为科技创新2030重大科技项目之一,强调要搭建关键技术平台,抢占脑科学前沿研究制高点 "Brain science and brain-inspired research" is identified as one of the major Science and Technology Innovation 2030 projects, emphasizing the establishment of key technology platforms and the strategic positioning to seize the forefront of brain science research
2016年10月 October 2016	《国务院关于加快发展康复辅助器具产业的若干意见》(国发〔2016〕60号) *Opinions of the State Council on Accelerating the Development of the Rehabilitation Assistive Devices Industry*	推动"医工结合",支持脑机接口等先进技术在康复辅助器具中的融合应用,丰富产品供给,培育国际知名品牌 The document promotes the integration of medicine and engineering, supports the application of advanced technologies such as BCI in rehabilitation assistive devices, enriches product supply, and fosters internationally recognized brands
2017年5月 May 2017	《科技部办公厅关于印发"十三五"医疗器械科技创新专项规划的通知》(国科办社〔2017〕44号) *Notice of the General Office of the Ministry of Science and Technology on Issuing the Special Plan for Medical Device Science and Technology Innovation during the 13th Five-Year Plan Period*	强调要以临床及健康需求为导向,加快颠覆性、原创性技术突破;加快发展康复、助残、养老等相关的人机交互、脑-机接口、人-机-电融合与智能控制等关键技术,推动康复护理智能化、集成化、个体化发展 The document emphasizes a demand-oriented approach based on clinical and health needs, accelerates breakthroughs in disruptive and original technologies, and advances key technologies such as human-machine interaction, BCI, human-machine- electrical integration, and intelligent control, thereby promoting the intelligent, integrated, and personalized development of rehabilitation and nursing
2017年7月 July 2017	《国务院关于印发新一代人工智能发展规划的通知》(国发〔2017〕35号) *Notice of the State Council on Issuing the New Generation Artificial Intelligence Development Plan*	布局类脑智能计算等前沿基础理论研究,重点突破类脑的信息编码、处理、记忆、学习与推理理论;深化"人在回路"的混合增强智能、人机智能共生的行为增强、脑机协同等混合增强智能理论研究 The plan outlines frontier basic research in brain-inspired intelligence, focuses on breakthroughs in theories of information encoding, processing, memory, learning, and reasoning, and promotes research on hybrid augmented intelligence, including human-in-the-loop systems, human-machine symbiosis, behavioral enhancement, and brain-computer collaboration
2018年12月 December 2018	《工业和信息化部关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》(工信部电子〔2018〕276号) *Guiding Opinions of the Ministry of Industry and Information Technology on Accelerating the Development of the Virtual Reality Industry*	加快脑电交互等技术的创新研发,突破关键核心技术;研发脑机接口等感知交互设备,丰富产品有效供给 The document calls for accelerating innovation in technologies such as EEG-based interaction, advances breakthroughs in key core technologies, and promotes the development of perceptual interaction devices, including BCI, to enrich effective product supply

器具产业的若干意见》(国发〔2016〕60号)与《“十三五”医疗器械科技创新专项规划》(国科办社〔2017〕44号)相继发布,明确提出支持脑机接口、人机交互等先进技术在康复辅助器具中的融合应用,推动康复护理智能化发展。此外,2017年,国务院发布《新一代人工智能发展规划》(国发〔2017〕35号),将脑机协同、混合增强智能等纳入前沿理论研究范畴;2018年,工业和信息化部印发《关于加快推进虚拟现实产业发展的指导意见》(工信部电子〔2018〕276号),进一步提出研发脑机接口等感知交互设备,为后续产业化发展夯实基础。

2.2.2 医工融合阶段(2021—2024年) 随着技术的快速发展,这一阶段国家层面对脑机接口的战略定位进一步提升,政策重心从单纯的研发部署向标准研制、审评提速与具体场景的供需对接转移,落地特征愈发明显(表3)。2021年3月发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》将“脑科学与类脑研究”列为科技前沿攻关重点,明确提出前瞻谋划布局类脑智能等未来产业。具体而言,在场景应用落地方面,《智慧健康养老产业发展行动计划(2021—2025年)》(工信部联电子〔2021〕154号)、《“十四五”医疗装备产业发展规划》(工信部联规〔2021〕208号)等政策文件相继印发,脑机接口技术被明确要求加速在家庭养老服务机器人、可穿戴设备及辅助康复系统等领域的研发应用;2024年底,《中共中央、国务院关于深化养老服务改革发展的意见》再次强调以脑机接口等新兴技术赋能养老服务。

在规范标准先行方面,2024年,《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划》与《信息化标准建设行动计划(2024—2027年)》相继印发,明确提出要加快产业创新标准引领,推进脑信息编解码算法、输入-输出接口、脑信息安全与隐私保护等关键技术的标准研制;同年11月,《质量认证行业公信力建设行动方案(2024—2026年)》提出要完善面向脑机接口等未来产业的新型质量认证制度。在医疗准入方面,2024年12月,国务院办公厅印发《关于全面深化药品医疗器械监管改革促进医药产业高质量发展的意见》(国办发〔2024〕53号),明确将脑机接口设备等高端医疗装备

表3 医工融合阶段(2021—2024年)脑机接口政策梳理

Table 3 Policy overview of BCI during the medical-engineering integration stage (2021—2024)

时间 Time	政策文件 Policy document	相关内容述评 Summary of relevant content
2021年3月 March 2021	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和2035年远景目标纲要》 *Outline of the 14th Five-Year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China and the Long-Range Objectives Through 2035*	将“脑科学与类脑研究”列为科技前沿领域攻关7项重点项目之一,加强类脑计算与脑机融合技术研发;强调要前瞻谋划布局类脑智能等未来产业 “Brain Science and Brain-Inspired Research” is identified as one of the seven key frontier areas for technological breakthroughs, strengthening research and development in brain-inspired computing and brain-computer integration technologies; the document emphasizes the forward-looking layout of future industries such as brain-inspired intelligence
2021年10月 October 2021	《智慧健康养老产业发展行动计划(2021—2025年)》(工信部联电子〔2021〕154号) *Action Plan for the Development of Smart Healthy Aging Industry (2021—2025)*	推动智慧健康养老产业的发展,攻关适用于家庭养老服务机器人的脑机接口技术 The plan promotes the development of the smart healthy aging industry and supports research on BCI technologies applicable to home-based elderly care service robots
2021年12月 December 2021	《十部门关于印发“十四五”医疗装备产业发展规划的通知》(工信部联规〔2021〕208号) *Notice of Ten Departments on Issuing the 14th Five-Year Plan for the Development of the Medical Equipment Industry*	强化医工协同,推进技术创新,发展基于脑-机接口、人-机-电融合等的新型护理康复装备;重点攻关可穿戴设备用柔性心电图(ECG)、脑电图(EEG)等核心元器件 The document strengthens the integration of medicine and engineering, advances technological innovation, and promotes the development of new rehabilitation and nursing equipment based on BCI and human-machine-electrical integration; it prioritizes breakthroughs in core components such as flexible electrocardiogram (ECG) and electroencephalogram (EEG) for wearable devices
2023年1月 January 2023	《工业和信息化部等十七部门关于印发“机器人+”应用行动实施方案的通知》(工信部联通装〔2022〕187号) *Notice of Seventeen Departments Including the Ministry of Industry and Information Technology on Issuing the Implementation Plan for the "Robot+" Application Initiative*	提出要加快推进基础理论与关键技术攻关,推动脑机接口辅助康复系统等新技术新产品研发应用 The plan proposes accelerating breakthroughs in fundamental theories and key technologies, and promotes the research and application of new technologies and products such as BCI-assisted rehabilitation systems

续表3 医工融合阶段(2021—2024年)脑机接口政策梳理

Table 3(continued) Policy overview of BCI during the medical-engineering integration stage (2021—2024)

时间 Time	政策文件 Policy document	相关内容述评 Summary of relevant content
2024年1月 January 2024	《工业和信息化部等七部门关于推动未来产业创新发展的实施意见》(工信部联科〔2024〕12号) *Implementation Opinions of Seven Departments Including the Ministry of Industry and Information Technology on Promoting the Innovative Development of Future Industries*	将脑机接口列入未来产业十大创新标志性产品,明确提出要制定专项政策文件,完善脑机接口发展的政策支持体系 BCI is included among the ten landmark innovative products of future industries; the document proposes the formulation of dedicated policy instruments and the improvement of the policy support system for BCI development
2024年3月 March 2024	《贯彻实施〈国家标准化发展纲要〉行动计划(2024—2025年)》 *Action Plan for Implementing the National Standardization Development Outline (2024—2025)*	市场监管总局、国家发展改革委、国家卫生健康委等18部门联合印发;明确提出要提升现代化产业标准化水平,加快产业创新标准引领,聚焦脑机接口等领域,前瞻布局未来产业标准研究 Jointly issued by 18 departments including the State Administration for Market Regulation, the National Development and Reform Commission, and the National Health Commission, the document proposes enhancing the standardization level of modern industries, accelerating innovation-driven standard leadership, and advancing forward-looking research on standards in fields such as BCI
2024年5月 May 2024	《信息化标准建设行动计划(2024—2027年)》 *Action Plan for Information Standardization Development (2024—2027)*	强调要布局新兴技术领域标准,推进脑机接口标准研究,加强输入-输出接口、脑信息编解码算法、脑信息安全与隐私保护等关键技术和应用标准研制 The plan emphasizes the layout of standards in emerging technology fields, promotes research on BCI standards, and strengthens the development of key technologies and application standards, including input-output interfaces, brain information encoding and decoding algorithms, as well as data security and privacy protection
2024年11月 November 2024	《市场监管总局关于印发质量认证行业公信力建设行动方案(2024—2026年)的通知》(国市监认证发〔2024〕103号) *Notice of the State Administration for Market Regulation on Issuing the Action Plan for Enhancing the Credibility of the Quality Certification Industry (2024—2026)*	将脑机接口与元宇宙、量子信息、人形机器人等并列为九大未来产业;提出要完善面向市场需求的新型质量认证制度,推动未来产业高质量发展 BCI is listed alongside the metaverse, quantum information, and humanoid robots as one of the nine future industries; the document proposes improving market-oriented quality certification systems to promote high-quality development
2024年12月 December 2024	《国务院办公厅关于全面深化药品医疗器械监管改革促进医药产业高质量发展的意见》(国办发〔2024〕53号) *Opinions of the General Office of the State Council on Comprehensively Deepening the Reform of Drug and Medical Device Regulation to Promote High-Quality Development of the Pharmaceutical Industry*	将“加快临床急需药品医疗器械审批上市”列为24项重点措施之一,提出要对脑机接口设备等高端医疗装备器械予以优先审评审批 “Accelerating the approval and market entry of urgently needed drugs and medical devices” is identified as one of the 24 key measures; the document proposes priority review and approval for high-end medical devices such as BCI equipment
2024年12月 December 2024	《中共中央 国务院关于深化养老服务改革发展的意见》 *Opinions of the CPC Central Committee and the State Council on Deepening the Reform and Development of Elderly Care Services*	将“加快养老科技和信息化发展应用”列为17项重点措施之一,强调要重点推动脑机接口等技术产品研发应用,深化数智赋能 “Accelerating the development and application of elderly care technologies and digitalization” is identified as one of the 17 key measures; the document emphasizes promoting the research and application of technologies such as BCI and deepening digital and intelligent empowerment

器械纳入优先审评审批通道,推动缩短脑机接口创新产品的上市周期。整体而言,这一阶段初步构建了脑机接口“技术-产品-服务”的转化链条,初步形成了技术研发与产业发展的衔接机制。

2.2.3 产业培育阶段(2025年至今) 2025年以来,我国脑机接口发展全面步入构建合规产业生态的新阶段,跨部门协同政策空前密集,覆盖了研发、审批、医保、消费及金融支持等全产业链条的落地细节。在顶层设计方面,2025年7月,工业和信息化部联合国家卫生健康委、国家药监局等7部门印发《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》(工信部联科〔2025〕164号),首次从国家层面专篇谋划脑机接口产业化发展,明确“2025—2027年实现关键技术突破,2028—2030年形成安全可靠的产业体系”的“两步走”

发展目标;随后,《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》首次将脑机接口确立为国家重点前瞻布局的“未来产业”;《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》则进一步强调要推动脑机接口成为新的经济增长点。在技术融合与全场景拓维方面,政策大力推动脑机接口与人工智能融合,拓展消费与制造终端,2025年密集出台的《提振消费专项行动方案》、《国务院关于深入实施“人工智能+”行动的意见》(国发〔2025〕11号)、《“人工智能+制造”专项行动实施意见》(工信部联科〔2025〕279号)等政策文件强调要加快开发脑机接口人工智能终端,加速新型终端的商业化、产业化进程。

具体到医疗场景落地方面,2025年2月,国家药监局启动《采用脑机接口技术的医疗器械 用于人工智能算法的脑电数据集质量要求与评价方法》行业标准立项,并发布支持高端医疗器械创新发展的监管举措,推进脑机接口柔性电极材料标准化及产品安全性有效性评价研究,进一步健全完善脑机接口医疗器械全生命周期监管体系。3月,国家医保局发布《神经系统类医疗服务价格项目立项指南(试行)》,首次为脑机接口设立了颅内电极置入费、非侵入式适配费等6项明确的收费编码,打通医保支付的“最后一公里”,为相关技术进入临床应用提供制度基础;同时,民政部主导出台多项政策,鼓励脑机接口在养老服务、残疾儿童康复与银发经济中的落地应用。在金融支持方面,针对脑机接口产业高投入、长周期的特点,2026年2月,科技部联合金融监管总局等4部门出台《关于加快推动科技保险高质量发展 有力支撑高水平科技自立自强的若干意见》,明确鼓励面向脑机接口开发专属科技保险产品;2026年3月,脑机接口产业首次被写入政府工作报告中,并着重强调鼓励耐心资本,支持相关初创企业成长,进一步完善了脑机接口产业发展的资金保障体系。

表4 产业培育阶段(2025年至今)脑机接口政策梳理

Table 4 Policy overview of BCI during the industrial cultivation stage (2025 to present)

时间 Time	政策文件 Policy document	相关内容述评 Summary of relevant content
2025年2月 February 2025	《国家药监局综合司关于〈采用脑机接口技术的医疗器械 用于人工智能算法的脑电数据集质量要求与评价方法〉医疗器械行业标准立项的通知》(药监综械注函〔2025〕85号) *Notice of the General Office of the National Medical Products Administration on the Initiation of the Medical Device Industry Standard “Medical Devices Using BCI and Quality Requirements and Evaluation Methods for EEG Datasets Used in Artificial Intelligence Algorithms”*	为医疗脑机接口的数据采集传输、实验范式设计、质量评价方法等提供统一规范,完善医疗脑机接口产业的标准规范体系 The document provides unified standards for data acquisition and transmission, experimental paradigm design, and quality evaluation methods for medical BCI, thereby improving the standardization system of the medical BCI industry
2025年3月 March 2025	《神经系统类医疗服务价格项目立项指南(试行)》 *Guidelines for the Establishment of Pricing Items for Neurological Medical Services (Trial)*	首次为脑机接口单独立项,设立颅内电极置入费、侵入式脑机接口置入费、侵入式脑机接口取出费、非侵入式脑机接口适配费等6项收费编码 The guideline establishes BCI-related medical service items for the first time, introducing six billing codes, including intracranial electrode implantation, invasive BCI implantation and removal, and non-invasive BCI adaptation fees
2025年3月 March 2025	《提振消费专项行动方案》(中共中央办公厅 国务院办公厅) *Special Action Plan for Boosting Consumption (General Office of the CPC Central Committee and the General Office of the State Council)*	加速推动脑机接口、自动驾驶、智能穿戴等新技术新产品开发与应用推广,以新技术引领新消费、开拓新市场 The plan promotes the accelerated development and application of emerging technologies and products such as BCI, autonomous driving, and wearable devices, aiming to stimulate new consumption patterns and expand new markets
2025年6月 June 2025	《国家药监局关于发布优化全生命周期监管支持高端医疗器械创新发展有关举措的公告》(2025年第63号) *Announcement of the National Medical Products Administration on Measures to Optimize Whole Lifecycle Regulation to Support the Innovative Development of High-End Medical Devices*	进一步优化创新审查工作,配合相关部门出台基于脑机接口技术的医疗器械产品支持政策;加强脑机接口柔性电极材料标准化研究;推进脑机接口医疗器械安全性有效性评价研究 The document optimizes innovative review processes, supports the introduction of policies for medical devices based on BCI technologies, strengthens standardization research on flexible electrode materials, and advances research on safety and efficacy evaluation of BCI medical devices

续表4 产业培育阶段(2025年至今)脑机接口政策梳理

Table 4(continued) Policy overview of BCI during the industrial cultivation stage (2025 to present)

时间 Time	政策文件 Policy document	相关内容述评 Summary of relevant content
2025年7月 July 2025	《七部门关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》(工信部联科〔2025〕164号) *Implementation Opinions of Seven Departments on Promoting the Innovative Development of the BCI Industry*	国家层面首个脑机接口产业化专项文件,系统部署加强基础软硬件攻关、打造高性能产品、推动技术成果应用、壮大创新主体、提升产业支撑能力5大重点任务;明确提出要加快脑机接口在医疗健康领域的应用,构建具有国际竞争力产业生态 As the first national-level policy dedicated to BCI industrialization, the document systematically deploys five key tasks: strengthening core hardware and software research, developing high-performance products, promoting technology application, expanding innovation entities, and enhancing industrial support capacity; it emphasizes accelerating BCI applications in healthcare and building an internationally competitive industrial ecosystem
2025年8月 August 2025	《国务院关于深入实施“人工智能+”行动的意见》(国发〔2025〕11号) *Opinions of the State Council on Deepening the Implementation of the “AI+” Initiative*	提出要加快人工智能与脑机接口等技术融合和产品创新,探索智能产品新形态,加快形成智能经济和智能社会新形态 The document proposes accelerating the integration of artificial intelligence with BCI and other technologies, exploring new forms of intelligent products, and facilitating the development of an intelligent economy and society
2025年10月 October 2025	《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十五个五年规划的建议》 *Proposals of the CPC Central Committee on Formulating the 15th Five-Year Plan for National Economic and Social Development*	明确强调要巩固壮大实体经济根基,加快高水平科技自立自强;首次将脑机接口与量子科技、具身智能、第六代移动通信并列为“未来产业”,强调要培育壮大新兴产业,前瞻布局未来产业,完善产业生态 The document emphasizes strengthening the real economy and advancing high-level technological self-reliance; it identifies BCI, alongside quantum technology, embodied intelligence, and sixth-generation mobile communication, as key future industries, and calls for forward-looking industrial layout and ecosystem improvement
2025年11月 November 2025	《国务院办公厅关于加快场景培育和开放推动新场景大规模应用的实施意见》(国办发〔2025〕37号) *Implementation Opinions of the General Office of the State Council on Accelerating Scenario Cultivation and Opening to Promote Large-Scale Application of New Scenarios*	强调要加快培育发展新质生产力,加快场景培育和开放,连接技术与应用;推动大数据、物联网、脑机接口等新兴技术在医疗领域的集成应用 The document emphasizes fostering new quality productive forces, promotes the cultivation and opening of application scenarios, and advances the integrated application of emerging technologies such as big data, the Internet of Things, and BCI in the healthcare sector
2025年11月 November 2025	《关于增强消费品供需适配性进一步促进消费的实施方案》(工信部联消费〔2025〕252号) *Implementation Plan on Enhancing the Adaptability of Supply and Demand of Consumer Goods and Further Promoting Consumption*	提出加速新技术新模式创新应用,强化人工智能融合赋能,鼓励开发脑机接口人工智能终端,丰富群众生活服务 The plan proposes accelerating the innovative application of new technologies and models, strengthening AI-enabled integration, and encouraging the development of BCI-based intelligent terminals to enrich public services
2025年12月 December 2025	《民政部关于进一步推进民政科技创新的指导意见》(民发〔2025〕67号) *Guiding Opinions of the Ministry of Civil Affairs on Further Promoting Scientific and Technological Innovation in Civil Affairs*	提出要加强民政关键核心技术攻关,推动脑机接口、人工智能、大语言模型等前沿技术在老年健康、残疾儿童康复等领域的应用 The document proposes strengthening key technological breakthroughs and promotes the application of frontier technologies such as BCI, artificial intelligence, and large language models in elderly health and rehabilitation for children with disabilities

续表4 产业培育阶段(2025年至今)脑机接口政策梳理

Table 4(continued) Policy overview of BCI during the industrial cultivation stage (2025 to present)

时间 Time	政策文件 Policy document	相关内容述评 Summary of relevant content
2025年12月 December 2025	《关于培育养老服务经营主体 促进银发经济发展的若干措施》(民发〔2025〕66号) *Several Measures on Cultivating Market Entities for Elderly Care Services and Promoting the Silver Economy*	强调要大力支持科技赋能养老服务,鼓励养老科技攻关与产品研发,探索脑机接口等前沿技术,促进银发经济发展 The document emphasizes supporting technology-enabled elderly care services, encourages technological innovation and product development, and explores the application of frontier technologies such as BCI to promote the development of the silver economy
2025年12月 December 2025	《"人工智能+制造"专项行动实施意见》(工信部联科〔2025〕279号) *Implementation Opinions on the "AI + Manufacturing" Special Action*	工信部、国家发改委等8部门联合发文,提出要构建智能新产品新业态,加快脑机接口等新型终端的产业化、商业化进程 Jointly issued by eight departments including the Ministry of Industry and Information Technology and the National Development and Reform Commission, the document proposes building new intelligent products and business forms, and accelerates the industrialization and commercialization of new terminals such as BCI
2026年2月 February 2026	《关于加快推动科技保险高质量发展 有力支撑高水平科技自立自强的若干意见》 *Several Opinions on Accelerating the High-Quality Development of Technology Insurance to Strongly Support High-Level Technological Self-Reliance*	统筹部署科技保险高质量发展,以支撑高水平科技自立自强;明确提出要加快科技保险产品服务创新,鼓励面向脑机接口等重点科技开发科技保险专属产品 The document coordinates the high-quality development of technology insurance to support high-level technological self-reliance; it proposes accelerating innovation in technology insurance products and services, and encourages the development of dedicated insurance products for key technologies such as BCI
2026年3月 March 2026	《2026年政府工作报告》 *Government Work Report 2026*	首次将脑机接口写入政府工作报告;将脑机接口明确为国家重点培育的未来产业,鼓励耐心资本,推动更多初创企业加快成长为科技领军企业 BCI is included in the Government Work Report for the first time and is identified as a key future industry at the national level; the report encourages patient capital and promotes the accelerated growth of startups into leading technology enterprises
2026年3月 March 2026	《中华人民共和国国民经济和社会发展第十五个五年规划纲要》 *Outline of the 15th Five-Year Plan for National Economic and Social Development of the People's Republic of China*	明确提出要构建未来产业全链条培育体系,推动脑机接口成为新的经济增长点;将脑机接口列为"新产业新赛道培育发展"十大重点之一 The document proposes building a full-chain cultivation system for future industries, promotes BCI as a new driver of economic growth, and identifies BCI as one of the ten key areas for developing emerging industries and new industrial tracks

3 讨论

3.1 我国脑机接口发展面临的问题与挑战

脑机接口正成为大国科技竞争的制高点,目前我国脑机接口发展已经初步形成了"政策-科研-监管-产业"协同联动的格局。但与技术发展速度和产业化需求相比,现有产业基础和政策体系仍存在一定问题与挑战,亟须进一步健全完善。

3.1.1 产业化能力仍有待加强 目前我国脑机接口产业仍处于由技术研发向产业化转型的探索初期,产业生态尚未完全成熟。一方面,核心技术仍存在关键瓶颈,尽管我国在柔性电极材料、半侵入式技术等领域取得一定突破[6],但在神经信号解码算法、低功耗高带宽神经信号采集芯片、高精度闭环刺激装置等关键环节仍存在技术瓶颈;且目前产业链关键环节仍较为分散,企业规模普遍较小,尚未形成具有全球影响力的龙头企业[26-27]。另一方面,脑机接口产业具有典型的"高投入、长周期、慢回报"特征,与风险资本的短期回报诉求存在结构性错配,导致产业化能力受限。目前国内脑机接口行业实际募资不足50亿元,年均仅10亿元左右,不足生物医药行业平均水平的五分之一[28],商业银行和风险投资机构普遍持观望态度,由

政府引导的多元化耐心资本尚未形成,制约了脑机接口的产业化发展进程。

3.1.2 政策支持体系尚不完善 从国家政策导向与落地情况来看,我国中央及地方政府虽已出台系列脑机接口相关政策,但配套政策措施仍相对薄弱,尚未形成系统完备的政策支持体系。时间上,美国和欧盟早在2013年就启动了各自的“脑计划”,而我国的“脑计划”直到2021年才正式启动,起步相对较晚[5]。政策内容上,现有政策多停留在鼓励发展、前瞻布局等宏观引导层面,在中微观层面的具体实施细则上仍显薄弱。以医保支付为例,尽管国家医保局出台了《神经系统类医疗服务价格项目立项指南(试行)》,为脑机接口设立收费项目,但全国范围内的医保支付政策尚未形成统一框架,各地政策落地进度不一,影响脑机接口相关产品的临床推广与应用。

3.1.3 跨部门协同管理机制尚未建立 脑机接口具有显著的跨学科、跨领域特征,在管理上涉及科技、工信、药监、医保、卫健等多个部门,对多部门统筹协调提出更高要求。从国际经验来看,美国“脑计划”由美国国立卫生研究院作为管理主体,负责目标设定、方案规划与项目资助,并下设“脑计划”工作组、神经伦理学工作组等管理实体机构;欧盟、澳大利亚、日本等也均设立了相应的管理主体、咨询委员会、顾问委员会等,构建起较为完善的管理架构[5]。我国虽然在战略层面高度重视脑机接口发展,但目前尚未设立类似的统筹管理实体,缺乏能够协调各方资源、统合战略布局的专门管理机构,战略资源分散、政策协同不足。

3.1.4 风险治理与伦理监管相对滞后 脑机接口直接涉及人脑神经信号的采集与调控,可能引发精神隐私泄露、人格同一性改变及责任归属模糊等新型伦理挑战[29],如何在促进技术创新与应用的同时有效控制技术风险,是脑机接口发展面临的重要挑战。目前,我国对脑机接口相关神经伦理问题的研究与治理相对滞后[30]。虽然科技部相继发布了《脑机接口研究伦理指引》《涉及人的神经技术医学研究伦理指引》等一系列文件,明确了脑机接口研发与应用的基本原则,但均为参考性指引,缺乏强制约束力,对应的具体细则和法律法规尚不完善。尤其在神经数据隐私保护、技术应用的公平可及性、长期植入设备风险管理等方面,尚未形成专门的监管框架。随着脑机接口应用场景的拓展延伸,相关风险类型也将会更加复杂,对现有风险治理与伦理监管体系提出更高要求。

3.2 脑机接口高质量发展路径建议

面对全球脑机接口领域的激烈竞争与我国的巨大临床需求,亟须探索系统化、协同化、可持续的发展路径。基于对我国脑机接口政策脉络的梳理与现实问题的分析,本研究从技术、资金、政策、管理、伦理5个关键维度出发,提出我国脑机接口高质量发展路径建议(图1)。

3.2.1 聚力突破核心技术瓶颈,推动跨学科融合发展 深化国产差异化技术路径优势,建立国家级脑机接口医工融合基础研究平台,进一步巩固我国在柔性电极材料、半侵入式技术等领域的优势地位;同时,鼓励跨学科交流合作,支持行业龙头企业、高等院校、科研院所、医疗机构等组建创新联合体,凝聚各界优势力量,聚焦高性能神经电极、神经信号解码、双向闭环系统集成等“卡脖子”环节,加强脑机接口产学研用关键技术协同攻关。此外,深化数智赋能,加强脑机接口与大数据、人工智能、区块链、隐私计算等技术的融合发展,推动脑机接口向智能化、普适化加速迭代,打造新一代“脑数字孪生”系统[24]。加强国际交流合作,主动融入全球脑科学创新网络,搭建高水平国际学术交流平台,在开放合作中提升我国在脑机接口领域的国际影响力。

3.2.2 加强财政投入,培育多元化耐心资本 一方面,加大财政投入力度,建立常态化投入机制。建立针对脑机接口项目的常态化投入机制,确保基础研究、技术攻关、临床验证等环节的持续资金支持。优化财政资金投入结构,在国家重点研发计划、国家自然科学基金中向脑机接口的关键技术与“卡脖子”环节倾斜。鼓励有条件的地区设立脑机接口产业引导基金,重点投向处于基础研究与临床转化早期的脑机接口项目,分担企业的原始创新风险。另一方面,引导耐心资本进入,构建多元化投融资体系。鼓励大型科技企业、保险机构等进入脑科学领域,通过设立专项创投基金或联合实验室等方式拓展脑机接口项目的筹资渠道,开发科技保险。鼓励商业银行开发适应脑机接口产业特点的信贷产品,对符合条件的创新企业给予信贷支持。落实完善财税激励政策,对于脑机接口创新研发企业给予一定的专项税收优惠。

3.2.3 完善顶层设计,构建全链条政策支持体系 完善脑机接口相关顶层制度设计,加快制定出台具体实施细则、建设方案,推动政策从宏观引导向中微观落地转化,形成覆盖基础研究、技术攻关、临床试验、应用推广的全链条政策支持体系。完善针对脑机接口产业的专项扶持政策,鼓励以安全性、有效性、伦

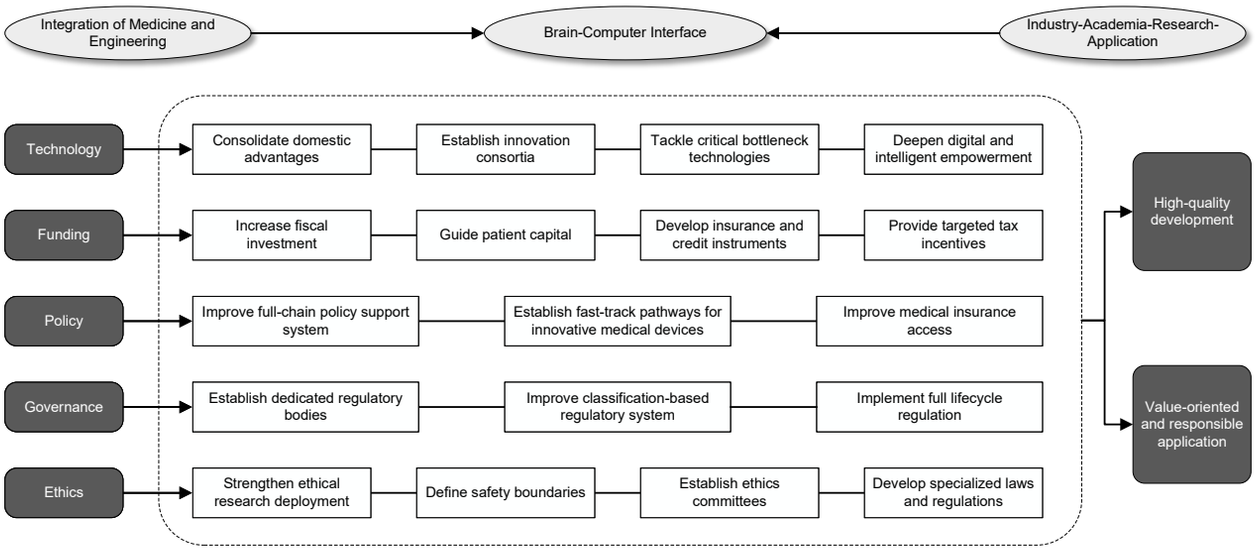


图1 脑机接口高质量发展路径

Figure 1 High-quality development pathways of BCI

理合规为前提开展脑机接口试验;建立脑机接口创新医疗器械的“绿色通道”,制定专门的审评指导原则,压缩从注册检验到临床应用的审批时限。强化标准体系建设,加快推进电极材料、信号采集、解码算法等关键标准的研制工作。完善医保准入与支付政策,鼓励部分地区试点先行,探索建立以临床价值为导向的动态调整机制,将临床效果明确的非侵入式康复类脑机接口项目优先纳入医保支付范围。总结提炼试点经验,加快形成全国统一的医保支付政策框架,打通脑机接口临床应用“最后一公里”。

3.2.4 健全组织管理体制,强化跨部门协同管理效能 健全推动脑机接口创新发展的组织管理体制,强化跨部门统筹协调效能。建议由科技部牵头,统筹国家卫生健康委、国家发展改革委、工业和信息化部、自然科学基金委等相关职能部门,设立国家层面脑机接口发展的专门管理机构,统筹协调各级各类资源,牵头负责战略规划、组织管理、项目资助、绩效评估等工作,形成“统一管理、分工协作”的治理架构,确保各项政策能落实到位。并下设咨询委员会、伦理委员会等机构,把握国际国内发展格局、研判技术发展新趋势,为政策制定完善提供循证支持,同时强化神经伦理管理,确保脑机接口技术应用合规[30]。落实并完善基于风险程度的医疗器械分类管理制度,逐步建立覆盖脑机接口技术研发、临床试验、上市后监测的全生命周期监管机制,对医用非侵入式、侵入式及半侵入式脑机接口进行分类精细化管理。

3.2.5 强化风险防控,前瞻性应对新型神经伦理挑战 坚持伦理先行,推动伦理安全与风险防控贯穿脑机接口从理论到技术、从试验到应用的全过程、各环节。强化脑机接口神经伦理问题的同步研究部署,在脑机接口重大科技项目中设立神经伦理研究专项,重点聚焦神经数据隐私保护、人格同一性改变、精神控制风险及增强型技术的社会公平性等前沿议题开展前瞻性研判,为技术划定“安全红线”[22]。加快建设完善脑机接口神经伦理委员会,吸纳神经科学、人工智能、法学、伦理学及社会学等多学科专家,定期组织开展伦理安全专题研讨会、交流会,建立分级分类的伦理审查机制,提供专业化决策咨询。完善相关法律法规与伦理规范,加快制定神经数据保护专项规定,明确神经数据的法律属性、所有权归属、使用边界等;针对神经技术研究的特点,制定专门的知情同意规范,建立长期跟踪随访与退出机制。

利益冲突 本文所有作者声明不存在利益冲突

参考文献:

[1] 杨艺, 王昊. 脑机接口技术发展方略的分层评估与战略思考[J]. 医学与哲学, 2025, 46(24): 1-6, 13. DOI: 10.12014/j.issn.1002-0772.2025.24.01.
YANG Y, WANG H. Tiered evaluation and strategic reflection on the development strategy of brain-computer interface technology[J]. Med Philos, 2025, 46(24): 1-6, 13. DOI:10.12014/j.issn.1002-0772.2025.24.01.

[2] 程燕咏, 陈潇, 吴颖, 等. 脑机接口在医疗领域的研究进

展[J]. 上海医学, 2024, 47(6): 327-330.
CHENG Y Y, CHEN X, WU Y, *et al*. Brain-computer interface in healthcare: researh progress[J]. Shanghai Med J, 2024, 47(6): 327-330.

[3] 许中好. 脑机接口技术赋能智慧养老的风险与规制[J]. 河海大学学报(哲学社会科学版), 2025, 27(4): 148-164.
XU Z H. The risks and regulations of brain-computer interface technology empowering smart elderly care[J]. J Hohai Univ Philos Soc Sci, 2025, 27(4): 148-164.

[4] 路璐, 王悦曦. 基于脑机接口与虚拟现实融合的脑卒中康复研究进展[J]. 中华物理医学与康复杂志, 2025, 47(11): 1041-1046. DOI: 10.3760/cma.j.cn421666-20250530-00449.
LU L, WANG Y X. Research progress on stroke rehabilitation based on the integration of brain-computer interfaces and virtual reality[J]. Chin J Phys Med Rehabil, 2025, 47(11): 1041-1046. DOI: 10.3760/cma.j.cn421666-20250530-00449.

[5] 张海玲, 朱永彬, 吴静. 全球脑机接口战略政策比较及对我国的启示[J]. 科学与社会, 2024, 14(3): 57-78. DOI: 10.19524/j.cnki.10-1009/g3.2024.03.057.
ZHANG H L, ZHU Y B, WU J. Comparison of global brain-computer interface strategies and policies with implications for China[J]. Sci Soc, 2024, 14(3): 57-78. DOI: 10.19524/j.cnki.10-1009/g3.2024.03.057.

[6] FANG R J, TIAN H H, DU Y, *et al*. Flexible kirigami microelectrode arrays for neuronal activity recordings in non-human primate brains[J]. Nat Electron, 2026: 1-13. DOI: 10.1038/s41928-025-01560-6.

[7] 新华网. 李强作的政府工作报告(摘登)[EB/OL]. (2026-03-05)[2026-03-10]. https://www.news.cn/politics/20260305/2dec3fbdfc16487592038bd047bb2aaa/c.html.
Xinhuanet. Government work report delivered by Li Qiang (Excerpt)[EB/OL]. (2026-03-05)[2026-03-10]. https://www.news.cn/politics/20260305/2dec3fbdfc16487592038bd047bb2aaa/c.html.

[8] 支迪暄, 金磊, 王逸鹤, 等. 脑机接口临床实践与展望[J]. 中国现代神经疾病杂志, 2026, 26(1): 13-20.
ZHI D X, JIN L, WANG Y H, *et al*. Clinical application and future prespectives of brain-computer interface[J]. Chin J Contemp Neurol Neurosurg, 2026, 26(1): 13-20.

[9] GAO X R, WANG Y J, CHEN X G, *et al*. Brain-computer interface: a brain-in-the-loop communication system[J]. Proc IEEE, 2025, 113(5): 478-511. DOI: 10.1109/JPROC.2025.3600389.

[10] 高晗, 蒲琪然, 赵永生, 等. 非侵入式脑机接口在机器人控制领域的研究综述[J]. 机械工程学报, 2025, 61(15): 105-120. DOI: 10.3901/JME.2025.15.105.
GAO H, PU Q R, ZHAO Y S, *et al*. A review of non-invasive brain-computer interface research in robotic control[J]. J Mech Eng, 2025, 61(15): 105-120. DOI: 10.3901/JME.2025.15.105.

[11] 田柳青, 陈彦霖, 林美玲, 等. 侵入式脑机接口应用: 记忆的解码与调控[J]. 心理科学进展, 2026, 34(2): 191-209.
TIAN L Q, CHEN Y L, LIN M L, *et al*. Invasive brain-computer interface applications: Decoding and modulation of memory[J]. Adv Psychol Sci, 2026, 34(2): 191-209.

[12] 鞠玉朦, 刘嘉骏, 李泽钧, 等. 载人航天任务中非侵入式脑机接口的应用前景和技术挑战[J]. 中南大学学报(医学版), 2025, 50(8): 1363-1370. DOI: 10.11817/j.issn.1672-7347.2025.250389.
JU Y M, LIU J J, LI Z J, *et al*. Prospects and technical challenges of non-invasive brain-computer interfaces in manned space missions[J]. J Cent South Univ Med Sci, 2025, 50(8): 1363-1370. DOI: 10.11817/j.issn.1672-7347.2025.250389.

[13] 张霖, 郑雅兴, 熊桃, 等. 非侵入式脑机接口技术在脑卒中患者上肢功能康复中应用的范围综述及护理启示[J]. 中华护理杂志, 2025, 60(13): 1658-1664.
ZHANG L, ZHENG Y X, XIONG T, *et al*. A scoping review of application of non-invasive brain computer interface technology in upper limb functional rehabilitation of stroke patients and nursing implications[J]. Chin J Nurs, 2025, 60(13): 1658-1664.

[14] 岳寿伟, 徐舫舟, 任晓民. 脑机接口框架下的人工智能在康复医学领域中的应用[J]. 中国康复医学杂志, 2022, 37(11): 1441-1444.
YUE S W, XU F Z, REN X M. The application of artificial intelligence within the framework of brain-computer interfaces in the field of rehabilitation medicine[J]. Chin J Rehabil Med, 2022, 37(11): 1441-1444.

[15] 韩昊洋. 非侵入性脑机接口的临床研究进展[J]. 医疗装备, 2026, 39(1): 163-166.
HAN H Y. Clinical research progress of non-invasive brain-computer interface[J]. Med Equip, 2026, 39(1): 163-166.

[16] 刘亚东, 李明, 周宗潭. 脑机接口技术的军事应用前景及其挑战[J]. 控制理论与应用, 2024, 41(11): 1991-2001.
LIU Y D, LI M, ZHOU Z T. Military application prospects and challenges of brain computer interface technology[J]. Control Theory Appl, 2024, 41(11): 1991-2001.

[17] 郭洪波. 脑机接口在癫痫治疗中的应用[J]. 中华神经医学杂志, 2026, 25(1): 11-20. DOI: 10.3760/cma.j.cn.115354-20251215-00798.
GUO H B. Application of brain-computer interface in epilepsy[J]. Chin J Neuromed, 2026, 25(1): 11-20. DOI:

10.3760/cma.j.cn.115354-20251215-00798.

[18] 谭逸, 宗宁宁, 江佳柳, 等. 脑机接口在神经系统疾病中的应用进展[J]. 中国神经精神疾病杂志, 2023, 49(8): 492-497. DOI:10.3969/j.issn.1002-0152.2023.08.008.
TAN Y, ZONG N N, JIANG J L, *et al*. Application progress of brain-computer interfaces in neurological diseases[J]. Chin J Nerv Ment Dis, 2023, 49(8): 492-497. DOI: 10.3969/j.issn.1002-0152.2023.08.008.

[19] METZGER S L, LITTLEJOHN K T, SILVA A B, *et al*. A high-performance neuroprosthesis for speech decoding and avatar control[J]. Nature, 2023, 620(7976): 1037-1046. DOI:10.1038/s41586-023-06443-4.

[20] LORACH H, GALVEZ A, SPAGNOLO V, *et al*. Walking naturally after spinal cord injury using a brain-spine interface[J]. Nature, 2023, 618(7963): 126-133. DOI: 10.1038/s41586-023-06094-5.

[21] CHAUDHARY U, VLACHOS I, ZIMMERMANN J B, *et al*. Spelling interface using intracortical signals in a completely locked-in patient enabled *via* auditory neurofeedback training[J]. Nat Commun, 2022, 13(1): 1236. DOI: 10.1038/s41467-022-28859-8.

[22] 梁晓珊, 白彩珍, 杨艺, 等. 脑机接口伦理审查的国际视野与中国实践[J]. 医学与哲学, 2025, 46(22): 1-6. DOI: 10.12014/j.issn.1002-0772.2025.22.01.
LIANG X S, BAI C Z, YANG Y, *et al*. International perspectives and Chinese practice in the ethical review of brain-computer interfaces[J]. Med Philos, 2025, 46(22): 1-6. DOI:10.12014/j.issn.1002-0772.2025.22.01.

[23] 屈琪. 人工智能技术在脑机接口领域的应用研究[J]. 世界科技研究与发展, 2026, 48(1): 58-68.
QU Q. Research on the application of artificial intelligence technology in the brain-computer interface[J]. World Sci Tech R D, 2026, 48(1): 58-68.

[24] 杨佳铭, 叶哲伟. 人工智能驱动的脑机接口的发展现状、挑战与未来[J]. 中华实验外科杂志, 2026, 43(1): 14-17.
YANG J M, YE Z W. The development situation, challenges and future prospects of artificial intelligence-driven brain-computer interfaces[J]. Chin J Exp Surg, 2026, 43(1): 14-17.

[25] ZHANG J Y, LI J S, HUANG Z, *et al*. Recent progress in wearable brain-computer interface (BCI) devices based on electroencephalogram (EEG) for medical applications: a review[J]. Health Data Sci, 2023, 3: 0096. DOI:10.34133/hds.0096.

[26] 实施“脑机接口核心部件与技术攻关”国家专项[N]. 中国经济时报, 2026-03-11.
Implementing the “Core Components and Technology Research on Brain-Computer Interfaces” national special project[N]. China Economic Times, 2026-03-11.

[27] 伏云发, 鲁海晨. 脑机接口(BCI)的技术成熟度与泡沫风险分析: 从研究到产业转化的考量[J]. 生物医学工程学杂志, 2025, 42(4): 651-659.
FU Y F, LU H C. Technical maturity and bubble risks of brain-computer interface (BCI): Considerations from research to industrial translation[J]. J Biomed Eng, 2025, 42(4): 651-659.

[28] 曾圣钧, 程宏宇. 我国脑科学与脑机接口行业发展现状及建议[J]. 国际金融, 2025(12): 54-64.
ZENG S J, CHENG H Y. Development status and suggestions of brain science and brain-computer interface industry in China[J]. Int Finance, 2025(12): 54-64.

[29] 郑玉双. 脑机接口技术的伦理挑战与法理应对[J]. 齐鲁学刊, 2026(1): 75-88.
ZHENG Y S. Ethical challenges and legal responses of brain-computer interface technology[J]. Qilu J, 2026(1): 75-88.

[30] 邹丽雪. 国际比较视角下脑机接口发展政策差异分析及其对中国的启示[J]. 科技管理研究, 2023, 43(12): 22-30. DOI:10.3969/j.issn.1000-7695.2023.12.003.
ZOU L X. Differences analysis of brain-computer interface (BCI) development policy from the perspective of international comparison and its enlightenment to China[J]. Sci Technol Manag Res, 2023, 43(12): 22-30. DOI: 10.3969/j.issn.1000-7695.2023.12.003.

(**收稿**:2026-02-20;**修回**:2026-03-29)
(编辑 栾嘉)