

AI 大模型与数据集协同驱动脑机接口技术创新及产业发展

李振超¹, 姚民伟²

(1. 中电数据产业集团有限公司, 广东 深圳 518057;

2. 山东正中信息技术股份有限公司, 山东 济南 250101)

摘要: 脑机接口作为生命科学与信息技术深度融合的颠覆性前沿技术, 已成为全球科技竞争的战略制高点。在梳理国内外政策背景及技术演进基础上, 首先对脑机接口领域专业数据资源体系以及与 AI 大模型协同价值进行分析; 其次重点围绕关键技术创新、核心设备制造优化、应用场景落地等, 分析 AI 大模型与数据集的深度融合在驱动脑机接口从“基础研究”迈向“技术转化与产业落地”的价值作用, 指出数据标准、样本规模、共享机制等方面面临的挑战; 最后对我国脑机接口技术的发展前景进行了展望。

关键词: 脑机接口; 人工智能; AI 大模型; 数据集; 技术创新

中图分类号: F49; TP391

文献标志码: A

DOI: 10.19358/j.issn.2097-1788.2026.05.004

中文引用格式: 李振超, 姚民伟. AI 大模型与数据集协同驱动脑机接口技术创新及产业发展[J]. 网络安全与数据治理, 2026, 45(5): 24-29.

英文引用格式: Li Zhenchao, Yao Minwei. Synergistic driving of AI large models and datasets for brain-computer interface technological innovation and industrial development[J]. Cyber Security and Data Governance, 2026, 45(5): 24-29.

Synergistic driving of AI large models and datasets for brain-computer interface technological innovation and industrial development

Li Zhenchao¹, Yao Minwei²

(1. China Electronics Data Corporation, Shenzhen 518057, China;

2. Shandong Zhengzhong Information Technology Co., Ltd., Jinan 250101, China)

Abstract: Brain-Computer Interface (BCI), as a disruptive frontier technology that deeply integrates life sciences with information technology, has become a strategic high ground in global scientific and technological competition. Based on a review of international and domestic policy contexts and technological evolution, firstly, this paper analyzes the professional data resource systems of BCI and the synergistic value with AI large models. Secondly, focusing on innovation of key technological, optimization of core equipment manufacturing, and implementation of application scenarios, this paper conducts an analysis of the role of the deep integration between AI large models and datasets in propelling BCI from "fundamental research" toward "technological translation and industrial implementation", and pointing out the challenges in aspects such as data standards, sample size, and sharing mechanisms. Finally, the paper provides an outlook on the development prospects of BCI in China.

Key words: brain-computer interface; artificial intelligence; AI large model; datasets; technological innovation

0 引言

国家“十五五”规划纲要明确将脑机接口、具身智能、量子科技等列为前瞻布局的六大未来产业, 成为国家推动高水平科技自立自强、培育新质生产力的核心抓手。当前, 我国脑机接口产业正从基础研究突破阶段迈入技术转化与产业落地的关键时期。脑机接口技术通过在大脑与外部设备间建立直接信息通路, 实现二者的信息交互, 为人机交互升级、神经系统疾

病治疗等提供了革命性解决方案。根据电极与大脑组织的接触程度, 该技术可分为侵入式、半侵入式、非侵入式三类。

随着神经科学、人工智能、数据处理技术与微电子技术的交叉融合, 全球脑机接口产业加速发展——非侵入式技术已在康复辅助领域实现商业化应用, 半侵入式技术则在运动功能重建等临床场景取得突破性进展, 侵入式技术正处于临床应用的关键阶段。据赛

迪顾问研究估计,2024 年我国脑机接口产业规模突破 32 亿元,相关机构数量超 200 家^[1]。当前,产业以医疗康复为核心驱动力,消费级应用正逐步起步,在此态势下,未来脑机接口产业规模将快速扩大。

人工智能的高速发展彻底改变了脑机接口的数据处理逻辑:从传统的特征工程驱动转向数据与模型协同驱动,极大提升了神经信号解析精度、算法泛化能力及场景适配效率。数据资源作为人工智能大模型训练的核心燃料,其质量、规模与流通效率直接决定脑机接口产业链各环节的创新高度,但我国当前仍面临数据标准不统一、共享不畅、AI 大模型适配性不足等系统性问题。

现有研究多聚焦于脑机接口政策梳理、技术研发或产业现状分析,对 AI 大模型与数据集的协同驱动机制缺乏体系化理论构建,尚未形成覆盖脑机接口全生命周期的分析框架。基于此,本文引入数据要素理论、技术创新生态理论、产业生命周期理论,构建“双轮三阶”系统性分析框架,系统研究 AI 大模型与数据集协同赋能脑机接口技术创新、设备制造和应用场景的机制与路径,提出产业发展破解思路。本研究对我国脑机接口产业发展具有重要的理论与现实意义。

1 政策背景及技术演进

1.1 国际政策背景

在国际层面,脑机接口产业呈现“标准先行、数据集聚、模型赋能”的核心特征。2013 年美国政府开启名为“Brain Initiative”的美国脑计划,重点支持大规模脑数据采集、共享平台构建以及新型解码算法的开发,为脑机接口大模型的研究提供基础数据与环境支撑^[2]。2014 年美国非营利组织卡夫利基金会发起神经数据无国界项目(NeuroData Without Borders, NWB),旨在鼓励数据共享,支撑多模态脑电数据与 AI 大模型的融合训练。

欧盟于 2013 年投资 10 亿欧元启动为期十年的人脑计划^[3],旨在推进基础神经科学研究和医药发展。其创建的 Ebrains 平台通过提供数字工具和服务帮助研究者收集、分析、共享和整合大脑数据资源,训练覆盖运动意图、情绪识别的通用脑机接口大模型。

日本、韩国等也通过出台系列政策鼓励和培育脑机接口技术研发和产业应用的发展^[4-5]。

1.2 国内政策背景

我国自 2016 年启动脑科学和类脑研究,已形成“国家战略引领、部门协同推进、地方精准落地”的三级政策体系。国家层面,“十五五”规划纲要将

“脑机接口”明确列为六大未来产业之一,从科技项目升级为国家战略性未来产业,强化产业化与经济价值导向。部委层面,工信部、科技部、国家医保局等部门也多次发文,推动脑机接口或脑科学相关的发展。地方层面,北京市科委、上海市科委、山东省科技厅等也出台了脑机接口相关行动计划或行动方案。

政策导向呈现三大核心特征:一是突出临床需求牵引,鼓励基于真实数据训练 AI 大模型;二是强化标准先行,推动脑电数据格式、AI 模型性能评估等标准立项;三是注重伦理规范,明确 AI 大模型数据使用的隐私保护要求。

1.3 脑机接口技术演进

1875 年,英国科学家 Richard Caton 发现大脑中会产生电流波动^[6],针对脑电的研究自此展开。1924 年,德国科学家 Hans Berger 首次成功记录了人类脑电活动,并建立了脑电图技术^[6]。随着研究不断深入,脑机接口应运而生。1999 年,第一届脑机接口国际会议对“脑机接口”进行了界定^[7],并根据电极与大脑组织的物理接触程度及颅骨穿透性,将该技术划分为侵入式、半侵入式和非侵入式三类^[8]。

AI 大模型的快速发展推动脑机接口技术演进迈入“数据—模型—应用”闭环迭代新阶段。神经科学的脑区功能定位为数据采集提供靶点指引,微电子技术的柔性电极与低功耗芯片解决数据采集与传输难题,AI 大模型推进脑电信号解析的精度与效率瓶颈突破,并加速核心技术和关键设备研发进程和参数优化。三者的交叉融合中,AI 大模型成为核心纽带,实现了从“数据积累”到“价值挖掘”的关键跨越。

美国 MIT 研究团队基于脑电样本开发的 Transformer-based 解码大模型,实现了运动意图到肢体动作的高效转化,在实验室环境下,可达数十毫秒量级解码延迟,为实时控制提供了可能。Neuralink 公司通过改进植入式电极阵列的实时信号处理算法,有效提升了神经信号的信噪比与筛选效率,其 AI 驱动的滤波逻辑显著降低了无效信号干扰^[9]。

我国研究聚焦临床数据资源开发和高质量数据集建设、AI 技术融合以及区域协同。其中,浙江大学牵头建设的国家健康和疾病人脑组织资源库,宣武医院主导构建的中国 ELITES 标准化颅内脑电数据库,以及北京协和医院联合 13 家医院共同建设的中国人群神经功能定量参数常模数据库,为 AI 大模型训练提供了基础数据支撑。在此基础上,上海岩思类脑研究院联合华山医院研发的植入式脑电大模型,实现了近 2 000

个常用汉字的高效解析。

2 AI 大模型与数据集的“双轮三阶”发展框架

脑机接口产业的突破性发展，正日益依赖于 AI 大模型与高质量数据集的深度协同，两者构成了驱动技术进步的双引擎，推动产业从单点技术突破迈向全链条系统化升级，共同驱动脑机接口产业“技术创新、设备制造、场景应用”的三阶演进，如图 1 所示。

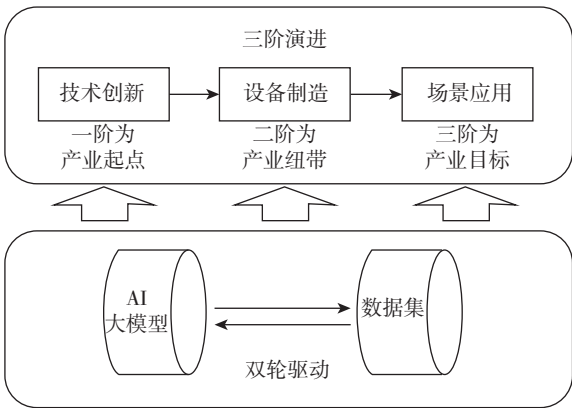


图 1 双轮三阶驱动机制

在“双轮驱动”机制方面，高质量、规模化的数据集是模型训练与优化的基础，而 AI 大模型为脑机接口提供强大的神经信号解码与识别能力。“三阶演进”路径方面，一阶的技术创新是产业起点，聚焦电极布局 and 靶向植入，推动算法优化和电信号解析等；二阶的设备制造是产业纽带，聚焦电极材料、神经芯片以及侵入式/非侵入式头戴设备，将技术转化为可量产、高可靠性的材料、零部件及设备产品；三阶的场景应用是产业目标，聚焦设备在医疗康复、娱乐消费等具体场景中创造价值，并形成商业闭环。

“双轮驱动、三阶演进”的框架，创新性地数据、模型、技术、设备、场景等要素纳入统一分析体系，为政策制定、产业规划、企业研发提供了系统性视角。

3 AI 大模型与高质量数据集的双轮驱动

3.1 高质量数据集的数据资源建设

高质量数据集是指经过采集、加工等数据处理，可直接用于人工智能模型开发训练，能有效提升模型性能的数据集合。高质量数据集是脑机接口产业发展的“燃料基础”，其质量、规模、多样性决定 AI 大模型的性能天花板。

脑机接口高质量数据集的建设以数据资源为基础，遵循“基础样本数据、跨病种多模态标注数据、临床真实数据”的演进路径。高质量数据集的缺乏在一定

程度上将阻碍脑机接口更有效的数据处理和分析方法的发展^[10]。我国诸多科研院所和医院依托试验和临床数据资源，打造细分领域专业数据库，为行业高质量数据集和 AI 大模型训练提供了多元化支撑。如浙江大学医学院 2014 年发起建设的国家健康和疾病人脑组织资源库，是国家级科技资源共享服务平台^[11]。该平台整合了多个区域脑库，包括脑组织样本数据、临床与病史数据、神经病理诊断数据等，助力共病分析、分子靶点挖掘、早期诊断技术以及公共卫生策略制定等研究与应用。此外中国 ELITES 标准化颅内脑电数据库^[12]、中国人群神经功能定量参数常模数据库^[13]、脊髓损伤数据库、位居世界前列的单中心 ALS 临床数据库等优质数据资源为脑机接口的认识和诊疗提供关键数据资源，进一步夯实高质量数据集建设基础。

3.2 AI 大模型与数据集的协同价值

AI 大模型为脑机接口产业发展的“引擎核心”，AI 大模型与数据集的协同价值贯穿脑机接口上游技术研发—中游设备制造—下游场景应用的全链条。随着 AI 大模型向“通用大模型、脑机接口专用大模型、轻量化端侧大模型”不断演进，模型的脑机接口适配性、信号解析精度、场景化效率持续优化。

AI 大模型的特征提取、模式识别、预测能力实现对脑机接口数据资源的价值挖掘，并且通过模型训练识别特定脑区数据缺失、多模态数据对齐不足等问题，引导针对性高精度数据采集与标注，推动数据资源和高质量数据集的迭代升级，形成“数据迭代、模型优化、数据再升级”的双轮协同驱动机制。

4 脑机接口技术、设备及场景的三阶演进

4.1 协同驱动关键技术创新

优化电极布局 and 靶向植入。传统的电极设计与植入高度依赖经验和试错。目前 AI 大模型正成为实现精准化、个性化优化的核心工具。其核心逻辑在于，通过脑信号电位分布等历史数据，分析不同脑区信号强度，计算最优电极位置，优化电极设计，减少无效电极数量，提升信噪比，指导电极精准靶向植入。清华大学医学院洪波团队联合首都医科大学宣武医院等机构，为一位四肢瘫痪 14 年的患者，精准在最佳位置植入少量电极，从而在最小化创伤的同时，实现高效的神经信号采集与解码。经过术后居家康复训练，该患者已成功通过意念控制实现了抓握动作，并实现自主喝水等日常功能^[14]。

推动算法优化和电信号解析。单一模态的神经信号通常包含的信息有限，而 AI 大模型擅长整合与分析

多源异构数据,通过分析海量脑电信号数据,借助机器学习和深度学习算法,从而提高对脑电信号中运动意图、情感状态、认知过程等信息的解析精度。上海交通大学吕宝粮团队研发的情绪识别与抑郁症评估系统,同步采集脑电和眼动等多模态数据,并基于多模态情感脑机接口和强化学习算法,实现脑深部电刺激参数的自动调节和个性化设定,从而提升难治性抑郁治疗效果^[15]。目前,该系统已在上海市精神卫生中心、瑞金医院等多家三甲医院投入试用。

4.2 协同驱动核心设备优化

支撑电极材料筛选。从材料原子结构的理论计算数据,到动物实验的生物相容性数据,再到临床应用的长期性能数据,多源数据融合有效支撑电极材料在生物相容性、导电性、耐用性等维度方面的技术突破。我国材料基因工程(MGE)和美国材料基因组计划(MGI)所拥有的高通量材料数据库可辅助电极材料初步筛选。MGE是一个由AI和大数据驱动的全新研究领域,涵盖数万种候选材料参数,旨在构建包含“成分—组织—工艺—性能”材料关系的数据库和知识库^[16]。中科院上海微系统所陶虎研究员团队与复旦大学附属华山医院神经外科毛颖教授团队合作,创新开发出基于蚕丝蛋白的异质、异构、可降解微针贴片,在动物实验中,采用蚕丝蛋白载药微针贴片的治疗组有效抑制了肿瘤体积,显著延长了小鼠生存期^[17]。

助力芯片性能迭代。基于历史数据分析脑电信号所具有的微伏级电压和毫秒级瞬态特征,要求芯片具有低信噪比、高时间分辨率的处理性能,通过采集的芯片处理延迟、功耗波动等运行数据,实现数据驱动的芯片性能优化和迭代。神芯科技基于海南大学脑机芯片团队研发脑机接口三款专用芯片,涵盖高通量神经信号采集芯片、高自由度神经调控芯片和低功耗无线传输芯片,全面覆盖脑机接口应用场景。其中,采集芯片通道数高达128个,是国际主流产品的两倍,功耗仅为同类产品的五分之一^[18]。其他芯片的关键指标也均达国际顶尖水平。

4.3 协同驱动行业场景应用

(1) 医疗康复行业

脑机接口技术正以前所未有的深度和广度赋能医疗领域,其应用已从概念验证加速迈向临床转化,构建起覆盖“筛查预警—功能重建—精准治疗”的全周期、智能化干预新范式。

疾病早筛预警:基于标准化脑电数据库的海量标注数据训练的AI大模型,可深度挖掘脑电信号中微伏

级电压、毫秒级瞬态特征与疾病病理特征的关联规律,实现对癫痫、抑郁症、阿尔茨海默病等神经精神疾病的早期特征识别,实现疾病发作的提前预警与风险分层,为临床早筛早诊提供客观、量化的技术依据,大幅提升神经精神疾病筛查的灵敏度与特异性。

运动功能重建:针对肢体瘫痪、运动障碍等患者,结合半侵入或侵入式脑机接口设备,AI大模型通过解析神经信号与运动意图的复杂映射关系,实现运动意图与外部辅助设备、仿生假肢的精准联动,为瘫痪患者提供了新的康复路径,完成抓握、行走、饮水等日常动作的重建。

神经调控治疗:利用大数据分析患者大脑活动与康复训练之间的关系,为患者制定个性化康复方案。针对癫痫病患者,实时监测异常放电并触发丘脑电刺激,从而抑制癫痫发作。针对脊髓损伤患者,宣武医院通过非侵入式脑机接口设备刺激脊髓残存神经纤维,帮助患者经半年训练后可借助穿戴支具和助行器实现独立行走。

(2) 其他行业应用延伸

脑机接口技术已由医疗康复领域,向军事、航空航天、安全生产、娱乐教育等应用场景加速渗透和扩散。中国信息通信研究院联合脑机接口产业联盟发布的相关报告显示,全球脑机接口下游应用中,医疗领域占比56%,军事、教育、消费、工业等非医疗领域占比44%,脑机接口技术在多领域融合拓展方面具有广阔前景,其技术研发和应用发展迅猛。在军事领域,脑控武器是武器自动化和智能化的重要发展方向,通过脑机接口实现武器与士兵的深度融合,从感官扩展和信息处理方面提升战场感知和武器操控效能^[19]。在航空航天领域,世界首套在轨脑机交互操作系统平台已经在神舟十一号、神舟十八号等实现应用。在安全生产领域,脑机接口智能安全帽已应用于北京、重庆、广州等多个地铁施工项目,实时监测工人疲劳指数与专注力波动,降低人为失误及安全事故。在娱乐领域,脑机接口为游戏玩家提供独立于传统游戏控制方式之外的新操作维度和体验。

5 AI大模型与数据集协同驱动的保障因素

5.1 多主体协同联动的创新生态保障

脑机接口产业的AI大模型与数据集协同驱动本质上依赖健全的创新生态体系,该体系以政策环境为支撑、多元主体为核心、资源融通为关键,遵循“环境赋能、主体协同、资源聚合”的核心逻辑。脑机接口创新生态系统的主体涵盖负责政策引导、标准制定与合规监管的政府部门,聚焦脑机科学研究、数据集标

准化构建与模型基础理论突破的科研院所,从事临床研究和诊断治疗的医院,以及主导场景应用和核心设备制造产业化的企业。各主体的协同程度决定了数据、模型、技术等创新资源的整合效率。

为提高脑机接口领域多元生态主体的联动,需依托政策引导构建“部级引领、多方协同”的联动机制,统一数据集标注、治理与模型适配的行业标准,打破跨领域、跨主体的数据壁垒;同时,搭建开放共享的生态平台,促进高质量数据集与模型成果的有序流通,推动技术创新与场景落地。

5.2 全流程风险规制的数据伦理保障

数据伦理保障是维系技术创新与社会价值平衡的关键支撑。脑机接口所采集的数据属于生物特征数据范畴,除具有数据可复制、非消耗、边际成本接近于零等一般特征外,还具有极强的个人属性、敏感性、隐私性、唯一性的特点,一旦泄露或被滥用,将直接穿透人格尊严的防线^[20]。脑机接口领域的伦理风险集中在三方面:一是认知障碍患者难以完全理解 AI 模型的数据使用逻辑,知情同意有效性存疑;二是 AI 模型的算法黑箱问题,导致脑电数据解析过程与决策依据不可追溯;三是健康人群脑机接口数据采集结合 AI 大模型分析,可能引发就业歧视、保险歧视等公平性问题。

尽管我国已发布《脑机接口研究伦理指引》,但缺乏针对 AI 大模型数据使用、算法透明性的伦理审查标准和具体操作细则。构建 AI 大模型与数据集协同驱动的伦理保障体系,需建立全生命周期伦理审查机制,完善数据采集授权、模型算法可解释性评估等操作规范,推动伦理审查流程标准化、制度化。

5.3 全链条闭环管控的数据安全保障

数据安全保障是实现 AI 大模型与数据集协同驱动的重要前提,也是脑机接口领域技术应用落地的底线要求。脑机接口采集的脑电信号、神经活动等敏感神经数据,在采集传输、存储治理、训练调用、共享开放等全流程中面临多重安全风险,既包括数据泄露、非法窃取、恶意篡改等传统网络安全威胁,也涵盖大模型训练过程中的数据投毒、对抗样本攻击、隐私窃取等新型安全隐患,同时跨主体数据流通环节还存在权限管控缺失、溯源追责困难等治理难题。

当前脑机接口领域,需构建覆盖“数据采集、模型训练、应用落地”的全链条数据安全保障体系,实施数据全生命周期闭环管控,建立神经敏感数据分级分类标准,运用联邦学习、差分隐私等技术实现数据“原始数据不出域,数据可用不可见”,同时完善安全

审计、风险预警与应急处置机制,强化跨主体安全协同监管,为数据集与大模型的安全交互、高效协同提供坚实防护。

6 脑机接口产业面临的挑战

6.1 数据标准建设进展慢,数据格式统一难度大

脑机接口技术集成度高、产业发展速度快、新的应用场景层出不穷,要以解决行业痛点难点为抓手,做好脑机接口关键核心技术和热点问题的标准化研究工作^[21]。脑机接口数据采集依赖 EEG、fMRI、ECoG 等多种设备,不同设备的采样频率、空间分辨率、噪声水平、数据编码方式差异显著,并且高校、医院、企业各自建设数据平台,导致数据格式难以统一。近两年,工业和信息化部、国家药监局、国家标委会等多部门分别批准脑机接口领域标准立项,旨在规范脑电数据的采集、处理和分析流程,确保数据的准确性和一致性,但国家标准和行业标准均尚未发布和实施。

6.2 临床数据样本规模小,模型训练支撑不够

脑机接口领域的技术突破高度依赖大规模、高质量的数据集,目前脑机接口数据多集中在健康人群实验室环境静息状态下的简单任务场景,真实临床或日常环境下的数据采集面临挑战。数据采集设备和手术成本高,高精度 EEG 设备单价超 20 万元,侵入式设备植入的开颅手术更是成本高昂,并且电极脱落率高、环境噪声干扰大、数据标注误差率高、多模态数据毫秒级对齐技术复杂,进一步限制了数据长期稳定性、大规模数据采集和多模态数据协同,难以有效支撑脑电信号解析和复杂模型算法训练。

6.3 数据孤岛现象突出,行业级资源协同偏弱

数据资源的关键作用贯穿脑机接口产业链各环节,涉及科研机构、医院、设备厂商、个人等多方主体,即使已形成部分区域性生态联合体,如北京市政府联合 20 家医院和 15 所高校共建北京脑科学与类脑研究所,清华大学集成电路学院与华山医院共建“脑机接口临床验证中心”,上海脑虎科技等企业牵头构建“医院-高校-芯片厂”联合体,但各方基于数据敏感性、知识产权保护等因素考虑,数据仍然分散在各科研机构和医院,数据孤岛现象突出。行业级数据共享流通机制不健全,全球范围内仅有少数限于科研用途的脑机接口数据平台,商业化数据流通平台几乎空白,设备厂商若需获取脑机接口数据用于产品研发,需逐一与科研机构和医院沟通谈判。

7 结束语

脑机接口作为生命科学与信息技术深度融合的颠

覆性前沿技术,已成为全球科技竞争的战略制高点,其重要性体现在战略科技引领、经济新增长极培育、技术链条重构及产业生态重塑等关键维度。美国通过“小院高墙”策略限制对华进行人工智能芯片、脑机接口硬件等输出,试图在底层技术上形成壁垒。我国则以“全链条自主知识产权”为目标,构建从电极材料到解码算法再到行业应用的闭环体系,通过政策引导实现技术突围。

AI大模型与数据集的深度融合,已成为脑机接口技术创新与产业发展的核心驱动力。我国已初步构建了专业脑机接口数据资源体系,在电极技术、解码算法、核心设备及医疗康复应用等方面取得显著进展。然而,脑机接口实际应用仍面临数据标准缺乏、样本规模有限、资源共享流通不畅、边缘计算能力不足及AI相关伦理安全风险等挑战。

随着“国家战略引领、部门协同推进、地方精准落地”三级政策体系的逐步催化,以及“产学研医金”等产业资源深度整合和高效协同,我国脑机接口产业将构建全链条数据标准体系、加速AI大模型与高质量数据集协同建设、推动技术与场景深度融合、完善伦理与安全保障制度,推动数据资源更加丰富、标准更加统一、共享更加顺畅,加速脑机接口成为未来产业的重要增长极,为健康中国建设与科技创新突破提供支撑。

参考文献

- [1] 王旭. 中国脑机接口发展提速, 前沿技术相继落地——中国脑机接口产业发展现状及趋势 [R]. 北京: 赛迪顾问股份有限公司, 2025.
- [2] National Institutes of Health. The brain initiative [EB/OL]. [2026-01-02]. <https://braininitiative.nih.gov>.
- [3] European Commission. Human brain project [EB/OL]. [2026-01-02]. <https://www.humanbrainproject.eu>.
- [4] Japan Agency for Medical Research and Development. Brain/minds project [EB/OL]. [2026-01-02]. <https://brainminds.jp>.
- [5] Republic of Korea Ministry of Science and ICT. The 4th basic plan for brain research (2023—2027) [Z]. 2023.
- [6] VAUGHAN T M, WOLPAW J R, DONCHIN E. EEG-based communication: prospects and problems [J]. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 1996, 4 (4): 425-430.
- [7] WOLPAW J R, BIRBAUMER N, HEETDERKS W J, et al. Brain-computer interface technology: a review of the first international meeting [J]. IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering, 2000, 8 (2): 164-172.
- [8] 葛松, 徐晶晶, 赖舜男, 等. 脑机接口: 现状, 问题与展望 [J]. 生物化学与生物物理进展, 2020, 47 (12): 1227-1249.
- [9] Neuralink. Improved real-time signal processing algorithm for implantable electrode arrays [EB/OL]. [2026-01-02]. <https://neuralink.com/>.
- [10] 王井辉, 高娟, 李恩, 等. 脑机接口范式及其脑电数据集研究进展 [J]. 医学研究与教育, 2024, 41 (4): 21-29.
- [11] 浙江大学医学院. 国家健康和疾病人脑组织资源库 [EB/OL]. [2026-01-02]. <http://zjubrainbank.zju.edu.cn>.
- [12] 国家神经疾病医学中心, 宣武医院. ELITES 数据库亮相第二届中国国际供应链促进博览会 [EB/OL]. (2024-11-30) [2026-01-02]. https://www.sohu.com/a/831892688_100853.
- [13] 北京协和医院. 协和牵头建立的中国人群神经功能定量参数常模数据库正式上线 [EB/OL]. (2024-08-27) [2026-01-02]. <https://www.pumch.cn/detail/37400.html>, 2024.
- [14] 新京报. 专访清华大学洪波团队——把脑机接口植入患者脑中 [EB/OL]. (2024-02-07) [2026-01-02]. <https://www.bjnews.com.cn/detail/1707300148168079.html>.
- [15] 吕宝根, 张亚倩, 刘伟, 等. 基于多模态情感脑机接口的抑郁症客观评估与调控治疗 [J]. 中华精神科杂志, 2021, 54 (4): 243-251.
- [16] Xie Jianxin. Prospects of materials genome engineering frontiers [J]. Materials Genome Engineering Advances, 2023, 1 (2): 1-6.
- [17] Wang Zijing, Yang Zhipeng, Jiang Jianjuan, et al. Silk microneedle patch capable of on-demand multidrug delivery to the brain for glioblastoma treatment [J]. Advanced Materials, 2021, 34 (1): e2106606.
- [18] 三亚日报数字版. 我国“脑控”技术迈出重要一步, 三亚研发团队发布植入式脑机接口芯片 [EB/OL]. (2025-08-02). <https://www.sanya.gov.cn/sanyasite/syyw/202508/27a44fd535a24e1c38edc43dbd2fe.shtml>.
- [19] 张羽高, 姜若冲, 高瑜. 神经调控技术: 军事应用的前沿进展、挑战与未来 [J/OL]. 空军军医大学学报: 1-13 [2026-01-23]. <https://link.cnki.net/urlid/61.1526.R.20260122.1732.012>.
- [20] 王新雷, 陈梓茹. 脑机接口应用的数据安全风险与规制路径 [J]. 保密工作, 2025 (10): 56-58.
- [21] 蔺芳, 余云涛, 范科峰. 脑机接口标准化研究 [J]. 信息技术与标准化, 2023 (7): 77-81.

(收稿日期: 2026-02-11)

作者简介:

李振超 (1983-), 男, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向: 数据要素、人工智能。

姚民伟 (1985-), 男, 本科, 工程师, 主要研究方向: 人工智能、科技创新。

版权声明

凡《网络安全与数据治理》录用的文章，如作者没有关于汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权等版权的特殊声明，即视作该文章署名作者同意将该文章的汇编权、翻译权、印刷权及电子版的复制权、信息网络传播权与发行权授予本刊，本刊有权授权本刊合作数据库、合作媒体等合作伙伴使用。同时，本刊支付的稿酬已包含上述使用的费用，特此声明。

《网络安全与数据治理》编辑部

www.pcachina.com