



脑机接口 新浪潮中的大连机遇

策划语

近年来,新一轮科技革命纵深演进,人机交互行业迎来变革发展新阶段。今年3月,国务院政府工作报告提出,培育发展脑机接口等未来产业。脑机接口作为打通人脑思维与智能终端的关键纽带,逐步走出概念场景,融入现实应用,成为各国抢占未来产业先机的重要发力点。此项前沿技术搭建起神经网络与智能设备的信息互通渠道,推动人脑智慧与智能算力双向融合,既催生海量发展红利,也随之衍生出技术攻关、产业布局、伦理约束等一系列现实难题。身处时代发展风口,各行各业与市场主体如何顺势而为、审慎布局,是大连产业转型进程中必须直面的现实课题,更是城市明晰发展定位、夯实产业根基的重要考验。

据此,中共大连市委政策研究室与《大连日报》理论专刊邀请专家学者联合开展关于脑机接口的主题调研,紧盯前沿科技动向与地方经济发展热点,深入开展行业趋势研判与前景展望。调研组立足大连发展实际,精准研判产业态势,聚焦难点梳理实践路径,以专业视角把握产业走向,助力城市抢抓科技发展机遇,走好创新驱动高质量发展之路。今日,本报刊发相关调研报告以飨读者。

现在与未来:在技术爆发与生态重构中重塑人机未来

[张海燕]

脑机接口(BCI)作为连接大脑与外部设备的“桥梁”,正打破人与机器的沟通壁垒,推动人类社会从“人机交互”向“人机共生”跨越。历经百年技术积淀,这一曾经只存在于科幻作品中的前沿技术,如今实现产业化爆发,成为引领新一轮科技革命和产业变革的重要力量。各国纷纷布局、激烈角逐,在技术突破、临床转化与生态构建中探索前行,为我国脑机接口产业发展提供了宝贵经验与启示。

百年积淀爆发: 脑机接口迈入产业化新纪元

脑机接口的发展是一部跨越百年的技术探索史。1924年,德国精神病学专家汉斯·贝格尔首次记录到人类脑电图(EEG),证实大脑活动可转化为电信号,为脑机接口奠定生理学基础;1988年,科学家基于P300脑电波开发出脑电拼写器,建立首个实用化脑机接口范式;2004年,犹他电极阵列获FDA批准进入临床测试,Blackrock等企业帮助瘫痪患者通过意念操纵机械臂,将科幻场景落地为临床现实。2016年,埃隆·马斯克创立Neuralink公司,将脑机接口从学术医学课题推向大众视野,明确“人机合一”目标,标志着脑机接口产业正式开启商业化进程。2018年,大连大学张海燕教授团队研发“脑机接口康复训练系统”,获批全球首例非侵入式脑机接口二类医疗器械注册证。2023年,Neuralink获美国食品药品监督管理局(FDA)批准,启动首个人体临床试验(侵入式脑机接口),次年完成全球首例人类植入手术。2025年,我国“北脑一号”在北大医院完成首例无线非侵入式植入,实现意念操控机械臂。2026年,博睿康获得全球首款脑机接口三类医疗器械注册证。据测算,2026年全球BCI市场规模预计达2.955亿美元,2034年将飙升至9.608亿美元,年复合增长率达15.9%,产业潜力巨大。

全球竞争激烈: 美欧等多元布局构建产业生态筑优势

当前,脑机接口产业处于“卡位抢占”关键期,全球已形成“美欧引领、中国赶超”的格局。各国将其纳入

国家战略,通过多重举措推动技术突破与产业落地,掀起新一轮科技竞争热潮。

美国走“技术领跑+监管加速+资本驱动”之路。战略与资金上,2013年启动BRAIN脑计划,累计投入超50亿美元,2025年美国国立卫生研究院(NIH)新增5亿美元专项支持核心技术研发;2022年发布《国家神经技术计划》,明确脑机接口为重点方向。监管上,FDA设立突破性设备通道,将审批周期从3年~5年缩短至12个月内,建立分层监管体系,兼顾创新与安全。产业生态上,硅谷聚集Neuralink(估值超500亿美元)等头部企业,形成“研发-资本-临床”闭环,科技与医疗巨头纷纷布局,推动产业多元化。伦理标准上,推动神经数据立法,主导全球规则制定。

欧盟坚持“协同研发+标准统一+伦理规范”思路。投入1亿欧元推进人类脑计划,2023年启动“神经技术旗舰计划”,联合27国投入3亿欧元,整合多方资源建立统一标准。产业布局上,德国、荷兰科研机构主导侵入式技术,法国Emotiv等企业发力非侵入式场景。2024年《人工智能法案》明确数据采集要求,严禁“意识操控”,规范产业发展。

日本、韩国也积极布局。日本启动“Brain/Minds脑跃升计划”,聚焦医疗康复与脑科学基础研究;韩国将脑机接口纳入国家未来产业战略,重点布局神经康复与消费电子应用。

中国实践: 顶层引领,全链条发力实现跨越

我国立足优势,构建起技术、产业、监管、应用协同推进的发展体系,跻身全球第一梯队,2025年国内脑机接口市场规模已突破38亿元,医疗领域占比过半。

顶层战略实现跃升。2025年,工业和信息化部等七部门联合发布《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》,明确2027年关键技术突破、2030年培育全球领军企业的目标;同年,国务院办公厅出台《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》,推动脑机接口与医疗设备集成应用,以场景牵引产业落地;今年,脑机接口首次纳入政府工作报告,与量子科技等一同被列为国家重点培育的未来产业。

全链条支撑打通堵点。在技术上,依托“脑科学与类脑研究”国家科技重大专项、国家重点研发计划,全覆盖攻坚高通量柔性电极、脑机专用芯片、无线传输、智能解码、生物相容性材料五大核心技术,同步布局侵入式、介入式、非侵入式全技术路线。在临床转化上,2025年3月,国家医保局首次设立BCI独立收费项目,山东、湖北、浙江、江苏、广东等省份快速落地价格标准,解决临床应用“收费难”核心痛点,为商业化扫清制度障碍。在标准规范上,2025年9月,国家药监局出台BCI术语、数据格式等系列标准,统一技术规范,降低研发、临床、产业协同成本,以标准化引领产业规模化。在伦理监管上,2024年,科技部发布《脑机接口研究伦理指引》,建立全流程伦理审查机制,规范技术研发与应用,保障产业安全有序发展。在地方应用协同上,北京、上海、四川、山东等重点省市出台BCI专项扶持政策,集中资源打造2~3个国家级产业集聚区,汇聚产业链上下游研发、制造、临床、资本资源,形成“国家统筹+地方落地”的协同发展格局。

锚定方向: 协同发力共筑产业未来

国际经验表明,战略先行、长期投入是产业崛起的前提,美欧等国家均将脑机接口纳入国家级脑科学与未来产业战略,通过持续大额财政投入稳定基础研究供给,形成“国家战略—科研专项—企业转化”的稳定链条,同时监管创新以缩短创新产品审批周期,在安全的前提下提高产业化效率,加快临床转化落地。

对大连而言,需立足优势走好特色发展之路:一是坚持创新驱动,聚焦电极、芯片、解码算法等“卡脖子”环节,推动核心技术自主可控和零部件国产化替代。二是以场景应用驱动技术迭代,优先在医疗刚需场景落地,再逐步拓展至其他领域,形成良性循环。三是完善产业生态体系,推动产学研医融合,培育龙头企业,加快形成产业集群,推动产业健康有序发展。

(作者系大连大学类脑智能产业研究院院长)

行动与建议: 推动脑机接口 产业发展路径

[金凌羽]

人机交互时代已然到来,发展脑机接口产业已是势在必行,不容错过的战略选择。对大连而言,抓住时代机遇就能抢占未来产业制高点,赢得长远发展主动,抓不住就会错失战略窗口期,未来或将陷于被动。唯有牢牢把握科技革命和产业变革趋势,坚持战略引领、创新驱动、场景牵引、生态支撑的发展思路,才能在新一轮未来产业角逐中抢占先机、赢得主动。

加强组织领导统筹 推进产业高质量发展

建立健全脑机接口产业发展协调机制,压实各方责任,确保各项任务落实到位。加强市级统筹,成立脑机接口产业发展领导小组或工作专班,由科技、工信、发改、卫健、财政等相关部门参与,专家学者指导,企业协作,统筹协调各方资源,共促脑机接口产业发展。编制专项方案,结合大连产业基础和资源禀赋,研究制定产业发展行动方案,明确产业发展目标、重点任务和实施路径,在研发创新、企业培育、场景应用、人才引进、金融支持等方面提供精准化政策支持,为培育未来产业新赛道提供坚实保障。优化产业布局,鼓励有条件的区,规划建设脑机接口产业集聚区或特色产业园区,布局专业研发平台、中试基地、检验检测中心、临床试验病房等配套设施,吸引脑机接口相关企业、科研机构集聚,形成以局部示范引领整体跃升的良好格局。

引育壮大市场主体 推动产业集群化发展

坚持外引内育双向发力,激发市场主体创新创业活力,夯实产业发展根基。加大企业培育力度,实施脑机接口企业梯度培育计划,建立企业培育库,实行“一企一策”精准扶持,重点支持初创企业、高新技术企业、专精特新中小企业发展,加速培育一批具有核心竞争力的本土企业。加大招商引力度,绘制好全产业链图谱,聚焦产业链上下游关键环节,开展产业链招商,精准招商,重点引进电极材料、专用芯片、算法研发、设备制造、临床应用等领域的龙头企业和创新团队,完善“核心器件—算法—应用服务”产业链条,谋划实施一批延链补链强链项目。强化创新平台建设,依托大连市脑机接口与人机交互神经工程重点实验室,整合高校、科研院所、医疗机构等优质资源,集中力量开展基础研究和核心技术攻关,健全科技成果转化机制,构建“基础研究—技术攻关—中试孵化—产业落地”全链条转化路径,推动产学研用深度融合。深化区域协同,推动辽宁沿海经济带一体化发展,持续开展大连、丹东、营口等联盟医院双向双向转诊、疑难会诊、远程医疗等服务,扩容“大医学影像”联盟单位,共建共享研发平台与临床试验网络,联合开展脑机接口领域技术攻关、场景应用与产业培育,推动沿海六市优质医疗资源共享、优势互补。

丰富拓展应用场景 释放场景赋能乘数效应

全面梳理应用场景清单,组织开展场景对接会、供需洽谈会等,促进技术供给与场景需求精准匹配,真正把“场景清单”变为“机会清单”。持续开放医疗领域应用场景,依托本市优质医疗机构,建设脑机接口临床试验基地,重点开展卒中康复、脊髓损伤修复、癫痫治疗、失语症辅助等领域的临床试验和应用示范,加快建设一批脑机接口临床转化示范基地、示范病房,打造可复制、可推广的示范样板,扩大临床应用范围。拓展工业智能应用场景,结合大连智能制造产业优势,探索在高端装备制造、危险作业、工业监测等场景,开展脑机接口机械臂、脑机交互工业控制系统、操作员疲劳监测系统等产品试点应用,推动脑机接口在工业领域应用。培育消费电子应用,支持企业开发脑电耳机、专注力训练设备、睡眠监测仪器、智能穿戴设备等非侵入式产品,推动脑机接口技术与虚拟现实、智能家居、智能汽车等融合创新。积极对接京东MALL、大商等大型家电体验馆,开展产品展示和市场推广,培育消费市场。

健全保障体系 营造良好产业生态

建立健全配套政策支持,为产业发展提供全生命周期保障。强化金融支持,建立健全多元化金融支持体系,鼓励银行机构开发知识产权质押贷款、科技信用贷款等金融产品,为企业提供融资支持;支持保险机构对脑机接口医疗器械等产品提供专属化、定制化保险产品,降低企业经营风险;充分发挥市级政府引导母基金作用,吸引社会资本投向脑机接口项目,助力企业发展壮大。完善人才引进机制,持续优化“兴连英才计划”,制定脑机接口领域人才认定标准,加强对神经科学、人工智能、材料学与生物医学等学科的人才引进,支持在连高校设立神经工程、脑机接口等相关专业,鼓励企业联合高校、科研机构建设实训基地,体系化培养交叉学科复合型人才。完善医保服务,积极推动符合条件的脑机接口医疗服务纳入医保支付范围,理顺临床付费机制,降低就医成本。支持组建协会组织,鼓励企业、高校、科研机构专家学者成立脑机接口协会,聚焦脑机接口领域创新应用、瓶颈问题定期开展研讨会,推动核心技术、应用场景不断取得突破。

(作者单位:中共大连市委政策研究室)

课题组核心成员:

耿文波(中共大连市委政策研究室副主任)
沈东(中共大连市委政策研究室改革财经四处副处长)
金凌羽(大连市辽晓晨(中共大连市委政策研究室改革财经四处)
李靖明(大连市工业和信息化局科技处)
张海燕(大连大学类脑智能产业研究院院长)

机遇与挑战:人机交互时代下的抉择

[李靖明]

当科技浪潮迈入人机交互全新纪元,脑机接口技术作为连接人类大脑与外部设备的神经桥梁,正从科幻作品走进现实生活,成为全球未来产业竞争的核心赛道。这项通过建立脑与机器信息交互通道,实现生物智能与机器智能深度融合的前沿技术,在释放巨大发展机遇的同时,也裹挟着技术、产业、伦理等多重挑战。站在产业发展的时代风口,城市、行业、企业如何做出理性抉择,对于正处在转型升级关键期的大连而言,这既是一场技术突破的“脑力”竞速,更是一次关乎城市定位与发展、产业韧性抉择的深度考验。

未来已来——抢抓多元机遇

当下,脑机接口产业正处于从0到1并逐步拉长推进的关键窗口期。在政策、技术、场景与资本的协同共振下,为经济社会发展、民生福祉改善带来前所未有的机遇。政策红利持续释放。脑机接口被明确为“十五五”重点未来产业,政府工作报告首次点名布局;工业和信息化部等七部门联合发布《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》,首个国家标准落地,医保支付破冰。北京、上海、南京、杭州等城市纷纷出台专项行动方案和配套保障措施,为脑机接口产业发展构筑了坚实制度保障。核心技术加速突破。国内脑机接口技术呈现“两极”(北京、上海)突进、多点开花的局面。侵入式领域,北大研发的深脑医疗研发出单根集成1024个通道的“瑞士卷”神经探针,在信号采集密度与植入损伤间取得优化平衡;上海阶梯医疗研发的“超柔性微电极”,大幅降低了脑组织植入损伤。非侵入式领域,多模态融合、超声波等技术也在加速填补国内空白。应用场景不断拓展。医疗康复是当前产业发展主赛道,全球首款侵入式脑机接口医疗器械(博睿康NEO系统)已在国内获批上市。大连大学类脑智能产业研究院自主研发的非侵入式“脑机接口康复训练系统”被工信部认定为“国家首台(套)核心技术产品”。生活消费领域睡眠监测、脑控AR/VR等产品以

及工业高危领域面向驾驶安全疲劳监测等特定场景应用的脑机接口技术和装备也已逐步落地应用。资本热度显著提升。阿里、腾讯等产业资本纷纷入场,聚焦脑机接口“硬科技”集中布局。2025年国内融资总额突破50亿元;2026年以来,国内脑机接口领域数十亿元融资接连涌现,至今已超38亿元,其中非侵入式脑机接口公司——强脑科技完成了约20亿元的战略融资,创下了全球脑机接口领域单笔融资规模第二的纪录。

产业之变——面临现实挑战

脑机接口首次被正式列入国家核心未来产业,这一产业之变必然蕴含着战略机遇与风险挑战叠加的鲜明特质。对于产业化初期的脑机接口产业,面临多重挑战亟待破解。技术瓶颈未突破。侵入式设备面临生物相容性、长期稳定性、信号采集精度不足等难题,我市目前尚缺乏自主研发能力;非侵入式设备则在信号衰减、抗干扰能力弱等问题,脑信号解码算法的准确性与通用性不足,核心元器件自主可控程度不高,跨学科技术融合不畅。产业发展不均衡。当前脑机接口企业多聚焦非侵入式领域下游应用,我市主要集中于医疗康复领域,缺乏上游核心部件和中游前沿算法的全链条布局;侵入式高端技术研发投入不足,参与企业较少,产业存在“重概念、轻落地”现象。产业生态不完善。脑机接口涉及的神经科学、材料学、人工智能等复合型高端人才稀缺;数据的采集、存储、使用缺乏明确指引;数据安全、伦理规范等问题还不具备成熟的治理框架,制约产业规模化发展。

精准抉择——破局发展之路

在脑机接口产业加速崛起的浪潮中,城市、行业、企业必须超前谋划、科学决策,以协同之力破局之路。精准布局,以政策赋能。依托城市自身资源禀赋

和产业基础确定发展定位和细分赛道,打造特色产业集群。我市重点聚焦非侵入式医疗康复,完善专项政策体系,强化资金、人才、场地、场景等全要素保障,用好产业基金与金融工具,培育壮大耐心资本。打造脑机接口产业先导区、特色产业园区,推动人才、数据、算力等要素集聚。支持本地企业参与国家揭榜挂帅项目,搭建脑机接口领域技术创新平台,汇聚产业创新资源,以城市承载力支撑产业爆发力。规范引领,以协作筑基。加快构建全行业技术、产品、安全、伦理一体化标准体系,健全伦理审查与数据安全治理机制。打破“单打独斗”的局限,依托大连大学建立产学研医协同创新联盟,支持医疗机构参与临床验证,形成“基础研究—技术转化—产品迭代—应用反馈”闭环。鼓励本地电子信息、芯片制造、集成电路等企业与脑机接口企业对接合作,夯实核心部件供给底座;依托本地高校和科研院所,探索解决脑信号解码算法等关键技术。推动脑机接口与人工智能、机器人、新材料等领域企业联合攻关,构建跨领域协同创新环境。敢闯敢试,以技术取胜。积极发挥企业主体作用,聚焦电极材料、脑信号芯片、解码算法等关键环节,持续加大研发投入,攻坚“卡脖子”技术,提升产品稳定性、安全性与兼容性。坚持临床导向与市场需求双向驱动,加快推进我市脑机接口产业在医疗康复领域先行先试;拓展消费与工业新场景,加快驾驶安全监测头环、睡眠监测诊疗装备规模化应用,以场景创新驱动产品迭代与市场拓展。

人机交互时代的大门已经被敲响,脑机接口产业发展是一场无法回避的抉择。面对未来产业助力打造新质生产力、实现转型升级的重要机遇,大连作为国家创新型城市、东北科技创新的主引擎,唯有坚持城市定向、行业立规、企业创新同向发力、协同破局,打造脑机接口技术创新策源地、场景应用示范地与产业发展集聚地,形成特色鲜明的模式,才能在这场关乎未来的竞速中抢占先机,为东北全面振兴注入强劲“脑动力能”。

(作者单位:大连市工业和信息化局)