

上海科学技术情报研究所
上海市前沿技术发展研究中心
技术与创新支持中心(TISC)



专利与创新

PATENT AND INNOVATION

2025 年

第 17 期

脑机接口专利态势

编者按

脑机接口（BCI）作为融合神经科学、人工智能与信息技术的颠覆性领域，已成为全球科技竞争的战略高点。当前，全球脑机接口市场正处于从“技术突破”向“临床验证”和“商业落地”加速转化的关键阶段。专利数据清晰显示，全球脑机接口技术创新异常活跃。截至最新统计，全球相关专利申请累计已超过 6.6 万项。从地域竞争看，中美两国构成了全球创新的双引擎。中国凭借近十年的爆发式增长，已成为全球最大的单一专利申请市场，专利总量领先。然而，在数量领先的背后，挑战同样显著。中国专利的全球化布局程度相对不足，平均同族专利数远低于美国，反映出技术出海的专利壁垒和国际化运营能力有待加强。与此同时，技术路径呈现多元化并进态势，非侵入式技术因安全性成为消费级应用的焦点，

而侵入式技术则在医疗康复领域追求更高精度。

展望未来，脑机接口的发展将更加强调“融合”：人工智能与解码算法的深度结合、信号采集与神经调控的双向闭环、以及产学研协同的加速转化。本期简报将介绍脑机接口全球专利竞争格局、关键技术演进与未来趋势，以期为相关领域的创新决策、技术研发提供参考。

目

录

全球专利竞争格局.....	4
2025 年脑机接口技术专利分析：全球专利申请量已突破 6.6 万 项.....	4
从专利视角洞察脑机接口技术发展新格局.....	5
关键技术演进与专利布局焦点.....	8
基于专利数据的医学脑机接口各技术分支主要创新主体分析....	8
脑机接口专利关键技术白皮书.....	16
血管内脑机接口系统专利突破.....	20
脑机接口专利让银行系统操作进入"脑电波"时代.....	23
未来趋势与战略突围.....	24
国内首个“脑机接口专利与知识产权”在线平台正式推出.....	24
构建脑机领域全链条创新体系，形成自主知识产权集群.....	25

全球专利竞争格局

2025 年脑机接口技术专利分析：全球专利申请量已突破 6.6 万项

从 1989 年美国启动“脑的十年”计划，到 2013 年欧美大型脑计划相继推出，再到 2021 年中国科技创新 2030“脑科学与类脑研究”项目启动，全球主要经济体在这一战略高技术领域的竞争日趋激烈。2024 年，中国工信部等七部门将脑机接口定义为未来产业重点发展方向，标志着该技术已上升为国家战略新兴产业。本文将基于最新专利数据，深入分析脑机接口技术的全球竞争格局、核心技术创新趋势及未来发展方向。

全球脑机接口专利申请呈现出明显的技术分野和地域特征。从技术分支来看，信号解码以 36,244 项专利申请位居首位，信号采集（18,226 项）和神经调控（14,218 项）分列二三位，脑控外设（10,473 项）和接口器件（3,388 项）紧随其后。这种分布反映了当前脑机接口技术发展的阶段性特征——基础技术层（信号采集与解码）仍是研发重点，而应用层（神经调控与脑控外设）正在加速成长。

地域分布上，美国和中国构成了全球脑机接口创新的双极格局。美国作为传统技术强国，以 19,107 项专利申请领跑全球，且平均每项专利产生 3.87 件全球同族，显示出强大的国际布局能力。中国虽然以 25,821 项专利申请成为单一市场最大技术来源地，但全球同族平均数仅为 1.11 件，国际化程度有待提升。值得注意的是，近十年来中国在信号采集、信号解码、脑控外设和接口器件四个技术分支的专利申请量已超越美国，但在神经调控领域，美国仍保持明显优势。

企业竞争格局呈现出"基础研究与应用研发并重"的特点。在信号采集领域，皇家飞利浦和美敦力分别以 166 项和 309 项专利申请领跑非侵入式和侵入式技术路线；神经调控方面，美敦力（1,223 项）和波士顿科学（933 项）构建了坚实的专利壁垒。中国创新主体中，清华大学、天津大学等高校表现突出，武汉衷华脑机等企业也在特定领域崭露头角。特别值得关注的是，侵入式脑电采集全球前十申请人中，中国创新主体已占据 8 席，展现出在这一关键技术上的集群优势。

技术转移转化方面，中国科研院所向企业的专利转让比例达到 8.85%，其中神经调控领域转让比例最高（10.37%）。深圳先进技术研究院（34 项）、清华大学（33 项）和华南理工大学（31 项）是技术输出的主力军，通过产学研合作或自主孵化企业的方式推动创新成果产业化。这种“高校研发+企业转化”的模式正在加速中国脑机接口产业链的完善。

未来三到五年，脑机接口技术将呈现三大趋势：一是材料创新持续突破，蚕丝蛋白、导电聚合物等新材料有望解决生物相容性难题；二是闭环系统加速普及，ECAP、ERNA 等生物标记物推动精准医疗发展；三是 AI 深度融合，从信号处理到疾病预测的全链条赋能。对于中国创新主体而言，抓住柔性电子、人工智能等领域的技术优势，构建“产学研医”协同创新体系，将是实现弯道超车的关键所在。

随着脑科学、材料科学和人工智能的交叉融合，脑机接口技术终将打破生物智能与机器智能的边界，重塑人机交互的未来图景。这场关乎人类文明进程的技术革命，才刚刚拉开序幕。

资料来源：未来智库 2025-08-01 新闻

从专利视角洞察脑机接口技术发展新格局

近日，被誉为中国“六小龙”之一的浙江强脑科技有限公司（下称强脑科技），凭借脑机接口领域的专利优势，以超 13 亿美元估值推进新一轮融资，筹备登陆资本市场。与此同时，国外企业也在加速该领域的研发与专利布局。

脑机接口作为实现大脑与外部设备直接交互的前沿技术，已成为全球科技竞争的战略要地，相关专利布局凸显其巨大市场潜力。笔者通过剖析这一领域的专利数据，梳理我国脑机接口技术的发展脉络与创新图谱，以期为行业发展提供参考。

三大方向构筑核心竞争力

我国脑机接口专利技术聚焦设备改进、智能融合、场景应用三大核心方向，构建起坚实的技术壁垒。

设备改进方面，我国实现了从侵入到非侵入的全方位创新。脑机接口设备的核心是精准采集和解码神经信号，按侵入程度分为侵入式、半侵入式与非侵入式三类。侵入式需开颅植入电极，信号质量高但创伤大；半侵入式将电极置于大脑表面，平衡信号质量与创伤风险；非侵入式通过头皮电极采集信号，无创伤、成本低但易受干扰。国内企业在三条技术路线上均有突破。

上海脑虎科技有限公司（下称脑虎科技）专注侵入式领域，其专利“一种柔性神经电极结构及其制备方法”设计应力调控机制，植入前收拢支干减小创伤，植入后释放应力实现电极立体分布，提升神经信号检测的空间覆盖率与精准度，为精准定位癫痫病灶等提供支撑。

博睿康技术（上海）股份有限公司覆盖半侵入式与非侵入式，其专利“一种脑电装置精确无线同步方法”通过子钟同步与时间戳嵌入，实现多源数据采集精准对齐，为研究大脑认知奠定基础。

强脑科技聚焦非侵入式技术，2023 年杭州亚残运会开幕式上，残疾运动员借助其研发的仿生手点燃主火炬。该公司利用“一种仿生手的手势锁定方法”专利，通过预设锁定手势解决肌电信号波动导致的操作失误，让“意念控

制”落地。

智能融合方面，积极推动 AI 赋能技术升级。人工智能与脑机接口的融合推动该领域向精细化、智能化、个性化发展，神经网络、深度学习等技术已广泛应用于脑电信号解码、精准控制等环节。

上海阶梯医疗科技有限公司的“基于机器视觉的电极植入方法及系统”专利，运用图像配准融合技术实现脑分区精准投射，结合目标追踪算法控制电极三维定位，解决电极植入时血管规避与精准定位难题。

天津大学团队的专利“基于深度学习和脑机接口的情绪识别系统”，通过滑动窗口分割、小波变换频段划分等算法，实现情绪准确分类，为认知障碍与情感疾病的个性化治疗提供量化依据。

上海交通大学的“重复经颅磁刺激干预系统”专利，借助人工智能生成刺激前后的近红外光谱特征图谱并对比，确保刺激精准定位目标脑区，提升神经调控智能化水平。

场景应用方面，加速推动医疗主导下的多元化拓展。我国脑机接口技术的相关专利中，医疗健康领域应用占比 80%，同时向消费、驾驶等领域渗透。

医疗领域，脑机接口可帮助残障人士通过脑控义肢等实现生活自理；为听力障碍、认知障碍等提供创新治疗方案；在抑郁症、自闭症等精神疾病诊治中潜力巨大。

生活消费领域，可帮助健康人群舒缓压力、实现沉浸式游戏操控等。强脑科技的 Focus 1 头环基于“疲倦状态检测方法”专利，实时监测注意力与疲劳度；FocusZen 正念舒压系统通过脑电波生成冥想指数，动态调控提示音效，助力科学正念。

智能驾驶领域，可监测驾驶员状态并提醒异常，分析意念指令辅助驾驶。华为技术有限公司的“自动驾驶车辆的人车交互方法”专利，通过分析脑波信号相似度判断驾驶员状态，实现驾驶状态智能切换，保障行车安全。

校企医协同加速产业化进程

专利布局是全球脑机接口竞争的重要标尺。全球相关发明专利累计 7.2 万余件，合并同族后有 3.3 万项专利。其中国家知识产权局公开约为 1.46 万件，美国专利商标局约为 0.67 万件，韩国特许厅约为 0.27 万件，日本特许厅

约为 0.19 万件，印度专利局约为 0.17 万件，世界知识产权组织（WIPO）约为 0.1 万件。

全球趋势上，国外起步早，但 2015 年起国内年申请量首次反超，并持续保持领先优势，目前已成为全球脑机接口专利申请的核心贡献者，实现了从技术跟跑到全球领跑的战略转型。

全球申请量前十的申请人包括天津大学、杭州电子科技大学等多所高校及美敦力（上海）有限公司等企业。国内，申请量前十均为高校，而其他国家数据中前十申请人既有高校也有企业，这体现了我国产研融合的创新生态，国内头部企业多源自高校科研产业化，如脑虎科技脱胎于中国科学院上海微系统与信息技术研究所。

跨领域合作催生协同效应。强脑科技与 DeepSeek、科大讯飞股份有限公司合作；脑虎科技与华山医院等医疗机构携手，“高校筑基、企业转化、医院验证”模式加速技术产业化。

值得注意的是，全球约 0.8 万件涉外专利中，前十申请人多为国外企业和机构，我国涉外专利较少，仅京东方科技集团股份有限公司进入前十，且整体海外布局不足。企业因市场驱动，海外布局动力强于科研机构。我国要增强全球竞争力，需补齐海外布局短板。

从专利视角看，我国脑机接口技术呈现“数量领先、质量提升、生态完善”态势，在多领域构建起核心竞争力。随着各方协同深化，该技术正从实验室迈向产业化。未来，突破技术瓶颈、完善伦理规范后，我国脑机接口产业有望在全球竞争中占据核心地位，为人类健康与生活方式变革带来深远影响。

资料来源：中国知识产权报 2025-08-28 新闻

关键技术演进与专利布局焦点

基于专利数据的医学脑机接口各技术分支主要创新主体分析

本文基于医学领域脑机接口相关专利数据，从技术构成、创新主体、产业生态等多个维度进行梳理，并以此为基础归纳资本市场和知识产权相关法律服务中应当关注的问题。

一、脑机接口技术构成及主要创新主体

（一）脑机接口系统组成及技术分支

脑机接口通过建立大脑与外部设备之间的直接通信通路，实现对大脑意图的解读与外部控制，或通过神经调控修复乃至增强神经功能。其核心任务是从神经信号中提取有用信息并转化为可执行的指令。

脑机接口技术尚无统一的分类标准。常见的分类方式包括：按信号采集方式分为侵入式、半侵入式和非侵入式；按信息流转路径分为输出式（脑控）与输入式（控脑）；按应用目的分为脑感知与脑调控技术。

功能单元是专利技术分类的基本原则，复旦大学和国家知识产权局专利局专利审查协作江苏中心发布的《脑机接口专利关键技术白皮书》，通过结构或

功能分解，将脑机接口细分为信号采集、接口器件、信号解码、脑控外设、神经调控五大技术分支。具体如图 1 所示。



图 1

五大技术分支对应脑机接口系统的五大功能模块。通过采集与脑功能相关的信号，并利用预处理、特征提取和模式识别等信号处理方式实现对大脑活动状态或意图的解码，并根据解码结果与外部设备通信或控制外部设备，同时，可以把大脑活动状态、解码结果、与外部通信或控制结果反馈给用户，进而调节大脑活动以获得更好的性能。接口器件则由专用芯片或通用芯片实现，对采集到的脑电信号进行前端处理。



图 2

图 2 为全球脑机接口专利技术分布统计数据，以上专利申请数据显示，信号解码专利申请数量最多，神经调控专利申请数量次之。申请数量和排名显示了相应技术分布的技术积累程度和创新活跃程度。

(二) 我国脑机接口专利申请趋势及主要应用领域

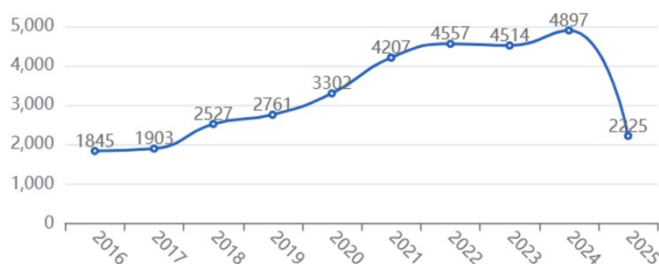


图 3

经数据库检索，我国创新主体在我国累计申请脑机接口相关专利 3 万多件。我国已成为全球最大的单一专利申请市场，申请量超越美国。图 3 为近十年来，我国创新主体在我国年度专利申请量统计，可以看出，自 2017 年开始，我国创新主体在我国专利申请数量和增长率均不断攀升，脑机接口创新处于活跃阶

段，2022 年至今，研发成果一直处于高位产出状态。说明我国创新主体持续发力，已经具有了一定的技术积累和沉淀。

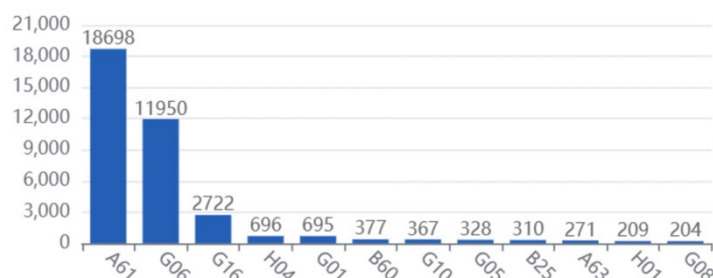


图 4

图 4 为从专利技术应用领域（IPC 分类）维度对我国脑机接口有效专利进行的分类统计。可以看出，我国脑机接口有效专利主要集中在医学领域（A61），其数量超出总数量的 50%。其次为计算科学（G06）和信息技术（G16）等领域。

（三）医学领域脑机接口各技术分支的主要创新主体

1. 信号采集主要创新主体及有效专利数量排名

信号采集是脑机接口系统实现信号获取的关键环节，涵盖非侵入式、半侵入式、侵入式等多种技术路线，相关专利主要包括电极设计、信号预处理算法等。该技术旨在解决脑电信号微弱、易受干扰等难题，为精准捕捉大脑神经活

动电信号提供核心支撑，构成脑机信息交互的“入口基石”。

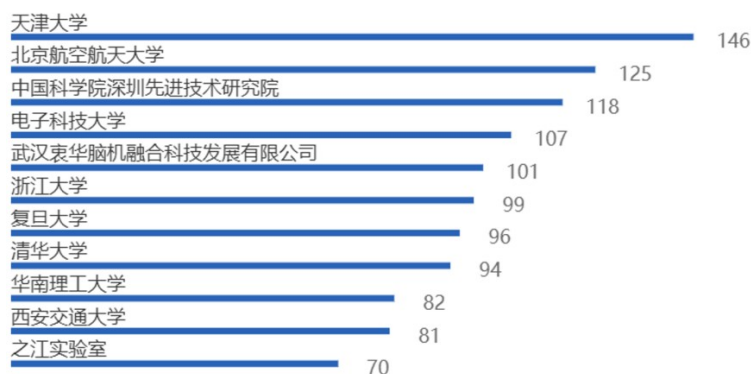


图 5

图 5 为医学领域信号采集相关有效专利数量排名，展示了该技术分支领域排名靠前的主要创新主体及有效专利数量（本文有效专利包括授权专利和审中专利申请，不包括未授权或已失效专利）。全部创新主体及有效专利数量均可通过数据库检索分析获得。鉴于篇幅限制，本文图 5 至图 9 仅展示有效专利和专利申请的数量排名前十的我国创新主体，同一专利有可能被同时纳入多个技术分支进行统计。

2. 接口器件主要创新主体及有效专利数量排名

接口器件作为脑机信号传输的“桥梁”，其专利布局涵盖生物兼容性电极材料、微型化信号传输模块、植入式/非植入式接口硬件设计等关键技术。该板

块致力于解决器件与生物组织之间的适配性、信号传输损耗及长期稳定性等核心问题，从硬件层面保障脑机间信号的高效与稳定交互，为脑机接口系统实现小型化、实用化奠定坚实的硬件基础，进而推动该技术从实验室研究向临床与消费级应用场景加速转化。



图 6

图 6 为医学领域接口器件相关有效专利数量排名，展示了该技术分支领域排名靠前的主要创新主体及有效专利数量。

3. 信号解码主要创新主体及有效专利数量排名

信号解码是脑机接口系统中实现“脑—机”信息转换的核心环节，涵盖信号预处理、特征提取与模式分类等一系列关键技术。该领域相关专利主要致力于利用机器学习、深度学习等算法对有效特征进行识别与解码，最终将非平稳、

高维度的神经信号转化为稳定、可靠的控制指令。

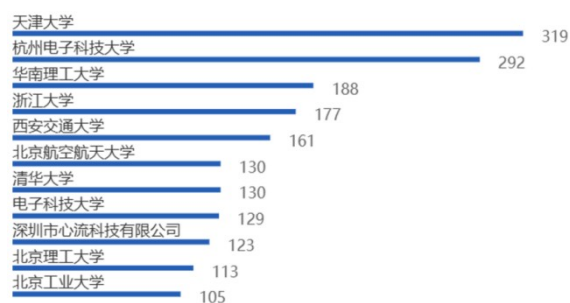


图 7

图 7 为医学领域信号解码相关有效专利数量排名，展示了该技术分支领域排名靠前的主要创新主体及有效专利数量。

4.脑控外设主要创新主体及有效专利数量排名

脑控外设作为脑机接口技术的“应用终端”，是实现大脑与外部物理世界交互的关键载体，其专利布局广泛覆盖脑控机器人、智能假肢、交互终端与控制设备方向。该板块核心技术围绕外设与脑机信号的高效适配展开，致力于解决运动意图识别、精细控制协同、多模态反馈与人机协同学习等关键问题，推动脑控外设从实验原型阶段逐步走向规模化临床应用和日常辅助生活场景。

随着相关技术的不断成熟与产品化，脑控外设正显著提升运动功能障碍患者的生活质量，并持续拓展人类与机器之间的交互能力与融合深度，成为脑机接口

体系中不可或缺的“赋能型”技术组成部分。

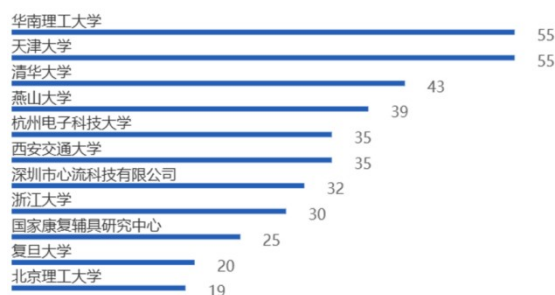


图 8

图 8 为医学领域脑控外设相关有效专利数量排名，展示了该技术分支领域排名靠前的主要创新主体及有效专利数量。

5. 神经调控主要创新主体及有效专利数量排名

神经调控是脑机接口技术在神经功能干预与修复领域的核心应用方向，相关专利涵盖经颅电刺激、经颅磁刺激、聚焦超声等新型调控技术。该板块聚焦于神经疾病诊疗、认知增强、情绪调节等关键场景，通过实时脑机信号反馈实现对神经活动的精准刺激与闭环调控，推动形成“感知-解码-刺激”一体化的智能干预新模式。这一技术路径不仅为阿尔茨海默病、抑郁症、帕金森病等难治性神经疾病提供创新治疗方案，也有助于构建脑机协同的新型神经调控范式，持续推动神经康复和精神医学等领域向精准化、智能化方向演进。

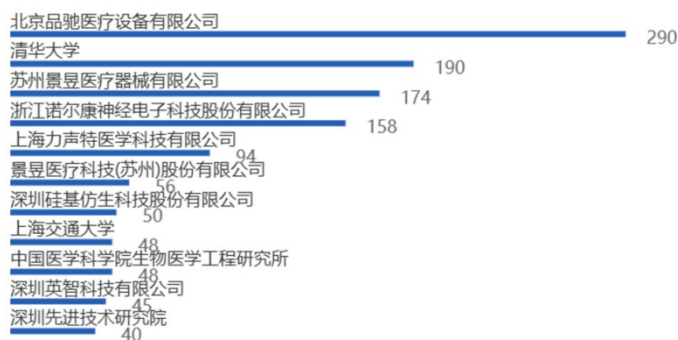


图 9

图 9 为医学领域神经调控相关有效专利数量排名，展示了该技术分支领域排名靠前的主要创新主体及有效专利数量。

（四）技术路径追踪及专利布局示例之电极

电极是脑机接口系统中负责采集神经信号或施加电刺激的关键部件，其性能直接决定了信号质量与调控效果。电极技术的发展与专利布局情况深刻反映了脑机接口创新方向与竞争格局。通过对电极相关专利的检索与分析，可清晰识别技术演进路径、核心市场主体及其专利布局策略。

1. 硬质电极：技术成熟与持续迭代

硬质电极是侵入式脑机接口发展初期的代表性技术。1957 年，美国神经生理学家 Hubel 研制出钨微丝电极，实现了对神经元电信号的有效记录。此后，硬质电极逐步演进出密歇根电极与犹他电极两大主流类型。这两类硬质电极的

专利技术发展概况如图 10 所示。

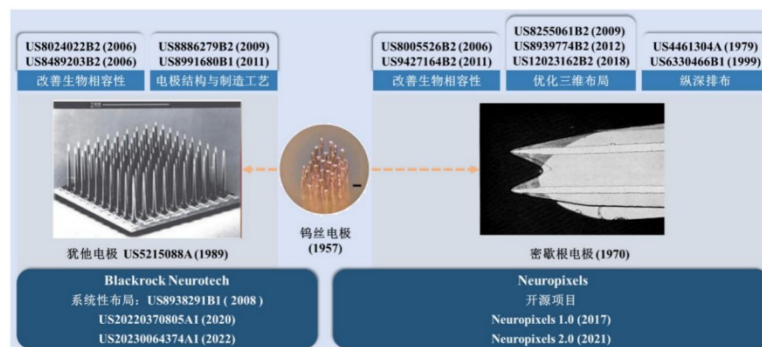


图 10

图 10 显示，自上世纪 50 年代以来，硬质电极技术持续迭代，相关专利申请延续至今，显示出其在特定应用场景下仍具不可替代性。从专利布局主体来看，硬质电极的核心专利主要掌握在美国机构手中，反映出美国在早期技术积累中的领先地位。

2. 柔性电极：技术热点与创新焦点

为克服硬质电极与脑组织机械不匹配、易引发免疫反应等缺陷，柔性电极逐渐成为侵入式脑机接口研发的重要方向。柔性电极具有更好的生物相容性和组织贴合性，能够实现更稳定、长期的信号记录。

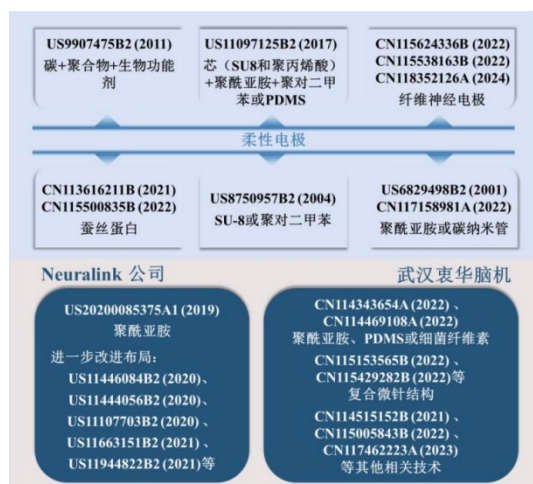


图 11

图 11 为国内外创新主体柔性电极专利技术布局概况。[8]图 11 数据显示，美国 Neuralink 公司是柔性电极领域的主要创新者。Neuralink 公司围绕柔性电极技术进行了持续性、系统化的全球专利布局。据报道，其核心产品“N1 植入物”采用高密度柔性电极阵列，已于 2023 年获 FDA 批准进入人体临床试验。

中国创新主体也在该领域积极跟进，上海脑虎科技采用蚕丝蛋白材料开发柔性电极（CN113616211B、CN115500835B）；清华大学基于聚酰亚胺/碳纳米管复合材料提出新型电极结构（CN117158981A）；复旦大学则通过湿法纺丝工艺研制出导电聚合物纤维电极（CN115624336B）。武汉衷华脑机作为国内侵入式脑电采集专利申请量领先的企业，也在柔性电极方面进行了持续

性专利布局。

3. 血管内支架电极：微创介入的新兴方向

血管内支架电极通过血管介入方式植入，避免开颅手术，显著降低植入创伤与感染风险，近年来成为脑机接口技术的新兴分支。该类电极可置于大脑运动皮层附近血管内，精准采集神经信号。

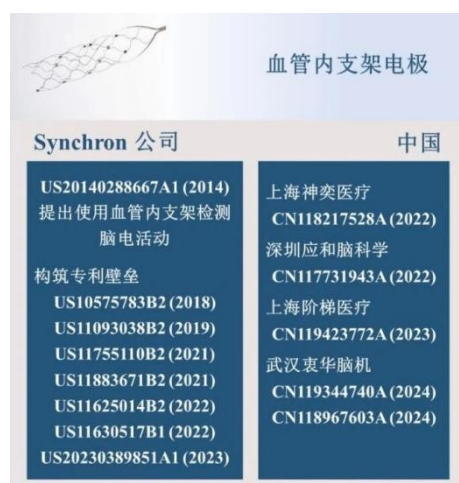


图 12

图 12 为国内外创新主体血管内支架电极专利布局概况。[9]图 12 数据显示，美国 Synchron 公司在该领域已经取得重要突破，其技术源于墨尔本大学 Thomas Oxley 团队 2012 年提出的血管支架电极概念（US20140288667A1）。Synchron 通过持续改进与专利扩展，已构建完善的专利壁垒，并多数在中国进行专利布局。2025 年 8 月，该公司首次开展

示渐冻症患者通过血管植入大脑的脑机接口系统控制外部设备的成果，引发行
业广泛关注。

国内企业如上海神奕、深圳应和、上海阶梯、武汉衷华脑机等也已积极布局
局血管内电极领域，从专利申请时间与数量来看，技术积累和专利覆盖尚有较
大提升空间。

二、我国医学脑机接口产业创新特点

基于专利数据分析，我国医学脑机接口产业呈现出以下三方面特征：

（一）医疗健康是技术落地与产业化的核心领域

如前所述，从专利申请技术分类来看，无论是脑机接口整体专利申请量，
还是信号采集、接口器件、信号解码、脑控外设和神经调控五大技术分支，医
疗健康相关专利在数量与占比上均占据绝对主导地位。媒体报道的主流技术突
破多集中于渐冻症、帕金森病、脊髓损伤、抑郁症等重大神经及精神疾病的治
疗与康复应用。全球主要国家及我国目前均将脑机接口相关设备和系统纳入医
疗器械管理体系进行严格监管，进一步凸显其医疗属性的重要性。

（二）“黄金三角”协同创新成为核心发展模式

我国医学脑机接口领域的专利申请呈现以科研院所为主体、企业逐步跟进、医疗机构积极参与的特征。我国脑机接口领域已形成以科研院所、医疗机构和创新企业三方协同的“黄金三角”创新体系。[10]高校及科研机构依托前沿研究积累，提供核心知识产权与技术人才；医疗机构贡献临床需求、手术能力与真实应用场景；企业则专注于技术转化与产品商业化。该模式通过“高校筑基、企业转化、医院验证”的有机联动，构建了从基础研究到临床应用的高效转化通路，已成为推动我国医学脑机接口技术产业化的重要机制，也成为评估项目潜力和企业价值的关键指标之一。

（三）初创企业成为商业化落地的主导力量

专利申请数据显示，当前医学脑机接口领域的创新主体呈现“龙头企业稀缺、初创企业主导”的格局，上市企业占比较低，初创企业在技术迭代与应用拓展中发挥核心作用。根据脑机接口产业联盟统计，其会员中中小企业占比超过 50%。初创企业具备创新意愿强、机制灵活、响应迅速等优势，积极拓展脑机接口在医疗康复等多场景应用，有效推动了技术从实验室向产业化的快速过

渡，成为生态繁荣的关键推动力。

资料来源：国枫律师事务所观察 2025-09-18 新闻

脑机接口专利关键技术白皮书

《脑机接口专利关键技术白皮书》由复旦大学与国家知识产权局专利局专利审查协作江苏中心联合发布，以全球脑机接口（BCI）专利为核心研究对象，系统梳理了技术发展脉络、专利竞争态势及关键技术突破，聚焦信号采集、神经调控两大核心领域，为国内技术研发与产业布局提供精准情报支撑。

以下节选部分内容：

一、信号采集关键专利技术：脑电为核心，侵入式成热点

（一）全球专利态势：脑电采集占主导，侵入式增速领先

技术分支分布：全球信号采集专利 18226 项，脑电采集占比超 50%（非侵入式 9617 项、侵入式 2552 项），远超脑磁图、fNIRS 等技术，是产业布局重点。

趋势特点：

非侵入式：因安全性高，专利申请长期稳定增长，中美日为主要来源地（中国 3743 项、美国 2004 项），近十年中国增速显著，韩国呈增长态势；

侵入式：因高分辨率优势，近十年增幅（年均 15%）高于非侵入式（年均 8%），中美仍为核心来源地（中国 988 项、美国 657 项），美国来华申请中侵入式占比更高（超 30%）。

龙头企业布局：

非侵入式：皇家飞利浦（全球第一，聚焦睡眠监测，如 SmartSleep 深睡眠头带）；

侵入式：美敦力（全球第一，布局柔性电极与多功能集成）、武汉衷华脑

机

（国内第一，65000 通道高通量植入系统）。

（二）侵入式脑电采集技术：从硬质到柔性，多功能集成

硬质电极：仍为重要工具（机械稳定性强、工艺成熟），核心技术围绕两类展开：

犹他电极：美国犹他大学 1989 年首创（专利 US5215088A），Blackrock Neurotech 收购后推出 Move Again 系统（2021 年获 FDA 突破性认定），专利改进聚焦生物相容性（如聚对二甲苯涂层）、结构优化（三维布局）；

密歇根电极：美国密歇根大学 1970 年提出，演进为 Neuropixels 开源项目（2017 年 1.0 版、2021 年 2.0 版），专利改进侧重纵深排布（提升密度）、多探针阵列（三维梳状结构）。

柔性电极：热点方向（生物相容性好、机械匹配度高），材料以聚酰亚胺、蚕丝蛋白、PDMS 为主：

国际：Neuralink 为核心，2019 年基础专利（US20200085375A1）提出聚酰亚胺柔性阵列，配套 N1 植入物（1024 通道，2023 年 FDA 批准人体试验），专利覆盖电极结构、封装工艺；

国内：上海脑虎（蚕丝蛋白电极，CN113616211B）、清华大学（碳纳米管复合电极，CN117158981A）、武汉衷华脑机（复合微针结构，CN115153565B）。

多功能集成电极：创新方向，实现“采集-调控”一体化：

信号采集+神经调控：美敦力 SenSight™ 电极（DBS 治疗+脑信号感知，2022 年中国获批）、北京华科恒生（集成电刺激与药物递送，CN113349738A）；

血管内电极支架：Synchron 全球首创（Stentrode™，2021 年 FDA 批准永久植入试验），通过颈静脉植入无需开颅，专利布局覆盖支架结构、信号感测（US10575783B2 等）；国内上海神奕医疗（CN118217528A）、武汉衷华脑机（CN119344740A）跟进布局。

（三）非侵入式脑电采集技术：便捷化与场景化

非侵入式电极分干电极（便捷但阻抗高）、湿电极（信号好但繁琐）、半干电极（兼顾两者），核心创新主体呈现差异化布局：

天津大学：构建多层次布局，涵盖基础电极（弹性干电极 CN113974637B）、光学传感器（无源柔性光学电极 CN109124626B）、多功能集成（脑电-肌电同步采集 CN118557200A），2023 年研发 8 通道国产脑电芯片；

皇家飞利浦：聚焦睡眠监测，产品如 SmartSleep 头带（延长深睡眠）、Alice 6 LDE 睡眠诊断系统，专利改进接触稳定性（弹性带电极 CN102596021B）、佩戴舒适性（柔性贴片 US11147494B2）；

神念科技（NeuroSky）：消费级市场核心，TGAM 芯片（集成干电极与消噪功能）支撑 MindWave 系列脑电仪，专利覆盖电极接触（偏置弹簧干电极 US8301218B2）、信号解码（专注度/放松度量）；

浙江强脑科技（BrainCo）：非侵入式+AI 融合，固态凝胶电极（2017 年量产）支撑智能仿生手（2022 年 FDA 批准）、深海豚安睡仪（闭环睡眠干预），专利优化佩戴稳定性（CN115708688A）与多模态刺激（热敷+光照 CN217186166U）。

二、神经调控关键专利技术：有创为主导，DBS 与 SCS 成热点

（一）全球专利态势：有创占优，中美差距显著

技术分支分布：全球神经调控专利 14218 项（去重后），有创调控占比超 70%，其中 DBS（脑深部刺激）、SCS（脊髓电刺激）、人工耳蜗为核心；无创调控（经颅磁/电刺激）因精度限制，专利占比低但中国已成为首要技术来源地。

地域竞争：

美国：有创调控绝对领先，DBS 专利 2891 项（占全球 69.9%）、SCS 专利 2373 项（占全球 79.5%），美敦力、波士顿科学为龙头；

中国：近十年增速加快，DBS 国内申请（751 项）超美国来华申请（350 项），但 SCS 仍落后（国内 286 项 vs 美国来华 291 项），北京品驰、苏州景

昱为主要企业。

创新主体：美敦力（1223 项）、波士顿科学（933 项）专利数量远超其他主体，全球前十申请人专利占比超 1/3，技术集中度高；国内仅北京品驰、苏州景昱进入全球前十，且以有创调控为主。

（二）脊髓电刺激（SCS）：闭环感知成核心，ECAP 信号为关键

SCS 核心适应症为慢性疼痛（如腰背痛），已进入“闭环感知调控”阶段，诱发复合动作电位（ECAP）信号是技术突破点（通过神经纤维电位变化判断电极-神经距离，优化刺激参数）：

龙头企业技术路线：

美敦力：双路径布局——基于姿态信号（AdaptiveStim™ 系统，2021 年 FDA 批准，通过姿态-治疗参数关联实现闭环）、基于 ECAP 信号（Inceptiv™ 系统，2024 年 FDA 批准，专利覆盖 ECAP 感测、刺激波形调整 US20230414946A1）；

波士顿科学：聚焦疼痛评分，通过多信号（心音、情绪）生成评分优化治疗，同时布局 ECAP 信号感测（CN113613709A）；

萨鲁达（Saluda）：专注 ECAP 信号，2012 年基础专利（AU2012255671B2）构筑壁垒，Evoke 系统（2019 年 CE、2022 年 FDA 批准）为全球首款 ECAP 调控 SCS 产品，专利覆盖闭环策略、伪影消除。

国内现状：ECAP 技术仍处起步阶段，深圳应和（CN117731943A）、北京品驰（CN114306933A）仅在信号感测时机（如被动电荷平衡后采集）有突破，面临国外专利壁垒，未来发展空间大。

（三）脑深部刺激（DBS）：精准化与智能化，多技术路线并行

DBS 核心适应症为运动障碍（帕金森病）、癫痫等，龙头企业通过差异化技术实现精准调控：

美敦力：BrainSense 技术引领闭环，基于局部场电位（LFP）信号（反映神经网络活动），PerceptPC 系统（2019 年 FDA 批准）实现“刺激+信号感知”一体化，专利覆盖疾病状态识别（LFP 振荡活动 US8190251B2）、电极配置（对称设置 US20120053659A1）、系统控制（参数调节维持治疗窗口 US10095837B2），近年拓展 ECAP、ERNA（诱发共振神经活动，尚处研究

早期)信号应用;

波士顿科学:方向性电极突破精度,Cartesia 电极(2016 年 FDA 批准)通过分段设计调整刺激方向,避免语言/视觉障碍,专利覆盖电极制造(分段工艺 US8887387B2)、定位(X 射线荧光胶囊 US20120053659A1)、系统控制(自动选择电极组合 US11357986B2),2023 年配套软件 Vercise Neural Navigator 获批;

Neuropace:RNS 技术专注癫痫预测,反应性神经刺激系统(2013 年 FDA 批准)实时监测脑电、触发刺激终止异常活动,专利早期聚焦算法参数定制(US6473639B1),2020 年后引入 AI(机器学习识别癫痫类型 US11612750B2),提升预测精度。

(四)AI 赋能神经调控:疾病预测成新方向

AI 技术逐步应用于神经调控疾病预测(癫痫、疼痛、运动障碍),但全球专利仅十余件,技术分散:

国外:美敦力(支持向量机多适应症预测 US20100280579A1)、Neuropace(CRE 模型优化癫痫预测 US20220313159A1)为主,适应症覆盖广;

国内:北京航空航天大学(注意力机制癫痫预测 CN113786204B)、景昱医疗(深度学习脑电状态识别 CN113244533A)为代表,聚焦单一适应症,科研成果转化潜力大。

资料来源:墨攻人工智能 2025-12-07 新闻

血管内脑机接口系统专利突破

传统的侵入式颅内电极脑电信号记录技术,虽能获取高质量的脑电信号,

为脑机接口应用提供重要数据支撑,但现有颅内电极——如棒状电极

（SEEG、DBS 电极）、皮层电极（ECoG）、犹他电极等，在植入时均需开颅手术。这种手术过程复杂，且伴随着颅内出血、脑组织损伤等风险，极大地限制了侵入式脑机接口的广泛应用。

近期，新加坡国立大学、苏州工业园区新国大研究院、诺尔产学研科技（桐乡乌镇）有限公司成功研发出一种创新的血管内脑机接口系统，为脑部疾病的研究和治疗带来了新的治疗选择。相关成果已申请了多项专利，其中关键部分包括“基于血管支架的无源脑机接口系统”和“无源脑机接口系统的血管支架”，具体情况如下：

基于血管支架的无源脑机接口系统

该系统包括可扩展血管支架、充电模块、脑部信号接收模块、脑部信号分析模块等。其中，充电模块采用头戴式固定带设计，内置第一无线充电线圈，与固定在支架网上的第二无线充电线圈配合，为整个系统高效供电。无线通信模块则负责将体内部分支架电路产生的脑部信号发送至脑部信号接收模块，再由脑部信号接收模块传输至脑部信号分析模块进行处理，最终获得分析结果。

据悉，该系统的脑部信号分析模块功能强大，不仅能分析颅内压生理信号、脑电生理信号等多种脑部信号，还可结合体外生理信号检测模块获取的体外生理信号，进行综合分析，如对脑梗塞、急性脑卒中等疾病进行实时监护。同时，系统还可借助服务器端装置进行更复杂的分析运算，医护终端能实时获取检查结果，实现远程辅助监控。

值得一提的是，该系统基于另一项专利技术——“无源脑机接口系统的血管支架”，后者作为该系统的核心硬件，既保障了各类脑部信号采集及最后检

查结果的准确性，而且其植入无需开颅手术，能以简单、低风险的方式实施，从而减少了患者的手术痛苦。

无源脑机接口系统的血管支架

作为脑机接口微创植入的关键装置，该支架由支架网、颅内微电极、无线充电与通信线圈、颅内传感器单元以及支架电路构成。其中，支架网作为可展开的支撑架，采用金属、医用不锈钢或镍钛合金等材质，通过球囊扩张术或自展开结构，能在血管内稳定展开并贴合血管壁。颅内微电极和颅内传感器单元设置在支架网上，当支架网展开后，它们与血管壁接触，可直接记录脑皮层电活动、采集电生理信号或执行电刺激，同时还能监测颅内压力、血压、颅内压、动脉血氧分压等生理指标。

无线充电与通信线圈是该支架的一大亮点，它附着在支架网上，随支架网展开。这一线圈既可以接收体外设备发送的电磁信号，转化为支架电路所需的工作电信号，实现无线充电；又能作为通信元件，将颅内微电极采集到的脑电信号发送至体外设备。支架电路则负责将颅内微电极和颅内传感器单元获得的脑部生理信号，处理成用于分析脑部状态的脑电信号。

资料来源：神介资讯 2025-03-22 新闻

脑机接口专利让银行系统操作进入"脑电波"时代

中国农业银行股份有限公司近期在知识产权领域取得了一项创新突破，据天眼查信息显示，该行成功公布了一项名为“基于混合脑机接口的银行系统交互新方法及专用装置”的专利。

该专利详细介绍了一种全新的交互方式，其核心在于通过实时采集眼电信号来实现对银行系统的精准控制。在专利描述中，当系统检测到眼电信号的特定特征值低于预设阈值时，这被视为一个关键信号，意味着此时的脑电信号尚未被眼电信号干扰，从而保证了脑电信号的高准确性。

为了进一步提升信号质量，系统会对眼电信号进行深度降噪处理。随后，

对处理后的脑电信号进行频谱值监测，从中提取出功率谱特征值。当这一特征值高于另一预设的脑电特征阈值时，系统判断脑电信号有效，并据此进入下一步操作。

在这一创新方法中，系统能够根据脑电信号的分类结果，智能地执行对银行系统的控制操作。这一流程不仅提高了银行系统的稳定性和可靠性，还显著提升了用户交互的精确度。

据专利摘要透露，该技术的实现依赖于对眼电和脑电信号的精确捕捉与分析，通过对这些生物电信号的深入理解和运用，中国农业银行得以在金融科技领域迈出重要一步。

该专利的公布也标志着中国农业银行在探索人机交互新界面方面取得了显著进展，未来有望为用户提供更加便捷、安全的银行服务体验。

资料来源：ITBear 科技资讯 2025-03-12 新闻

未来趋势与战略突围

国内首个“脑机接口专利与知识产权”在线平台正式推出

“突破大脑感知与调控融合的双向脑机接口技术，可以治疗癫痫、帕金森病、阿尔兹海默症以及精神障碍等疾病，并将实现脊髓损伤的运动功能康复。”在5月9日至11日于上海举行的“2025 浦江创新论坛”第七届神经科技国际创新论坛上，大会主席、复旦大学神经调控与脑机接口研究中心主任王守岩阐述了上述观点。

本届论坛聚焦“基础研究、技术创新、临床转化和产业应用”四大板块，设置神经科技未来产业、人工智能模型驱动的神神经调控、超声神经调控等7个分论坛，全面覆盖神经调控与脑机接口领域的创新链条。来自10余个国家和地区的顶尖学者、临床专家及产业领袖，共同探讨神经调控与脑机接口领域的最新科研突破、临床转化应用及未来产业发展趋势。

脑机接口技术是全球科技竞争的战略制高点。当前，美国仍是全球脑机接口专利申请的重要技术来源地，我国在该领域基础研究快速发展的同时，面临

技术转化与国际专利布局的双重挑战。论坛上，复旦大学联合国家知识产权局专利局专利审查协作江苏中心，正式推出国内首个“脑机接口专利与知识产权”在线平台，并发布《脑机接口专利关键技术白皮书》权威研究报告。

脑机接口专利与知识产权在线平台集成全球专利数据库、构建脑机接口专利数据库，具有语义检索、指令检索、图像检索等 5 种检索功能，160 余种专利分析功能实现智能分析系统，自定义专题专利库可实现个性化专利管理，并具有专利预警功能把控专利风险。平台构建起涵盖专利跟踪、技术评估、专家库、成果库、运营对接、专利培训的全链条服务体系。

《脑机接口专利关键技术白皮书》进一步解析 6 万余项脑机接口专利数据，系统绘制信号解码、信号采集、神经调控、脑控外设及接口器件等技术演进图谱。同时通过解析全球龙头企业核心产品专利布局策略，为产业创新发展提供知识产权战略布局指引。

作为复旦大学纪念建校 120 周年暨第 59 届科学报告会活动之一，论坛同步启动“用科技点亮生命——脑机接口公益基金项目”。该项目将重点支持复旦大学在青少年亲子关系与精神健康提升、阿尔兹海默症认知功能改善、意识

障碍与脑卒中诊疗及康复等领域的探索与临床转化，推进医工交叉学生培养计划与公众科普传播专项行动。

记者了解到，复旦大学研发团队已在人工视网膜、脑脊接口、语言解码、神经调控等关键技术取得重大突破，相关成果获得了国家颠覆性技术创新大赛优胜奖等奖项，盲人复明、脊髓损伤患者运动功能重建、闭环神经调控等技术已进入临床研究阶段。“我们预见，结合适应性的解码器设计与神经学习将产生下一代脑机接口系统，可大幅提高脑机接口在临床应用上的可能性。”中国科学院自动化研究所副研究员刘冰认为。

本届论坛由中国神经科学学会神经调控基础与转化分会联合天桥脑科学研究院（中国）和复旦大学计算神经科学与类脑智能学科创新引智基地联合主办，以“创新驱动·跨界融合·赋能未来”为主题，吸引了产学研生态圈共 400 余人参会。

资料来源：科技日报 2025-05-10 新闻

构建脑机领域全链条创新体系，形成自主知识产权集群

5月18日，在2025天开论坛上，天津大学副校长、脑机交互与人机共融海河实验室主任明东围绕脑机交互领域进行主旨分享。

明东介绍了侵入式与非侵入式脑机接口的终极目标，即更全面的脑区覆盖、更安全的采集方式、更精准的时空定位、更高级的思维解码。

目前团队的研究进展方面，他表示，面向于医疗、航天、生活等方面，聚焦于无创脑机接口基础理论与关键技术，基于面向科技前沿的重大突破，构建脑机“核高基关”全链条创新体系，形成了完整的自主知识产权集群。

原理及技术突破过程中，明东团队力图用无创手段实现有创精度，目前团队在关键核心指标上也有所突破，创造了迄今控制指令数量、脑电识别精度和信息传输速率的国际纪录。

电子器件方面，明东团队成员研发的新型软梳电极可作为湿电极的有效替代，目前已授权发明专利，在今年有望上市；研发了国内首款脑机采集芯片、微型脑机接口系统、国产脑机接口软件平台、脑机智能人工神经信息系统。

面向航天领域，中国空间站在轨脑机交互系统，完成国际首次在轨脑-机交

互空间适应性测试，验证了脑-机交互技术在轨适应性，实现了航天『自由手』

操作与认知功能状态自适应的自动化人机任务分配；面向医疗领域，结合运动

康复、听力感知、视觉感知等产出了很多医疗器械。

面向未来，明东表示，脑机交互与人机共融海河实验室成立两年多来，取得显著成就。产业化布局上，构筑了国产脑机创新成果转化体系、推进成立脑机产业基金、推进成立脑机接口产业基金。展望未来，明东建议脑机接口还需要进一步打通技术链、补全人才链、构筑产业链。

资料来源：北方网 2025-05-18 新闻



地址：上海市永福路 265 号
邮编：200031
编辑：刘晓莉
责编：路炜
编审：林鹤
电话：021-64455555
邮件：istis@libnet.sh.cn
网址：www.istis.sh.cn