CAICT 中国信通院

脑机接口创新发展研究报告

(2026)

脑机接口产业联盟

2026年11月

目录
Directory

一．战略意义

二．范畴界定

三．发展现状

四．发展趋势

五．问题挑战

战略意义：从“意图直连”到“多维赋能”，并纵深辐射多个产业领域

BCI已从“单向输出”走向“意图直连大模型”，正带动医疗器械、电子器件等多领域创新，为国家前沿人机协同积累底层战略能力。

01 人机交互的变革：继键盘、鼠标、语音，神经意图成为“新信源”



Neuralink新技术（2026年10月）

脑机接口识别意图，下发指令给大模型Grok并接管屏幕，实现意念通话、打字、点咖啡等，为终端操作系统新增脑机交互方式



02 民生价值：修复与改善神经功能障碍

2026年3月，博睿康NEO系统获批，能通过气动手套帮助符合条件的患者抓握。

患者尝试抓握 → 系统解码运动意图 → 气动手套辅助抓握

03 产业价值：带动多领域器组件技术创新与整机协同发展

2025年国家政策提出BCI电极、芯片、解码软件和整机研发方向，各环节协同推进产业发展。

电极采集脑信号 → 芯片算法解读意图 → 整机执行控制任务

04 战略价值：前沿协同与国家安全治理

DARPA N³研究非侵入式脑机接口操控无人系统、快速提升士兵作战能力

神经数据涉及隐私保护与长期设备支持，需要同步完善安全管理。

技术范畴：基于“靶点-流向-递送-信号”的四维立体视角

CAICT 中国信通院

脑机接口范畴：按感知或调控的作用靶点、信息流向、电极递送方式、信号类型进行边界划分

① 连哪里——作用靶点（生理层：人的视角）

中枢脑交互（脑-外部）

直接针对中枢神经系统（大脑/脊髓）进行信息读取或调控



脑信号读取

脑信号调控

运动、语言、认知等功能重建

主要面向医疗康复、功能增强等应用

外周神经接口（周围神经-外部）

针对外周神经系统（感觉神经、运动神经、自主神经等）进行信息交互



外周神经信号采集、调控

替代、恢复或增强神经功能

② 怎么传——信息流向（功能层）



感知（上行）

大脑 → 外部设备



开环

（仅读取或仅调控）

BCI是一根“双向数据线”

调控（下行）

外部设备 → 大脑



闭环

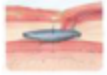
（读取 + 调控）

③ 怎么连——递送方式（物理层：机的视角）



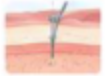
非侵入式
颅盖骨体表

通过头皮采集或者刺激



非侵入式
天然腔道

经鼻、耳、消化道



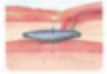
侵入式
经骨性结构或软组织切口

进入脑皮层\深脑\脊髓



侵入式
血管内

侵入程度有限，经过血管贴近



侵入式
黏膜腔道

侵入或穿刺黏膜

④ 传什么——信号类型（物理层）

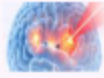
电信号

（如EEG、ECoG、LFP）



光信号

（如光遗传、光学成像）



磁信号

（如MEG、磁刺激）



声信号



系统架构：五大细分体系共同构建“感知 - 解码 - 调控”多元技术架构

整机是“材料–器件–算法”等多学科技术的系统集成，不同技术路线的产品在形态与应用场景上各有侧重，但均由共性的核心技术支撑。

① 整机系统多元形态（示例）

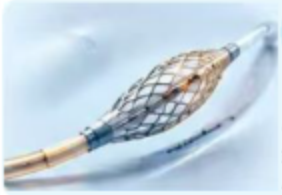


侵入式 · 皮层植入

Neuralink N1

皮层植入式脑机接口

柔性电极阵列 | 手术机器人植入
实现意念控制与神经信号交互



侵入式 · 血管内介入

Synchron Stentrode

血管内神经接口

经血管介入 | 无需开颅
用于运动意图解码与功能重建



非侵入式 · 经耳

NextSense Smartbuds

入耳式脑电耳机

长期可佩戴 | 近颞叶高信噪比
面向睡眠干预、认知监测等应用



侵入式 · 深部刺激

Medtronic Percept RC

植入式脑深部刺激系统

成熟临床应用 | 可充电 | 闭环调控
用于帕金森病、癫痫等神经疾病

② 整机系统的技术拆解



③ 五大技术领域与细分技术方向

基础理论	脑机双向共适应交互	联合训练、持续解码、协同控制
	群体神经集群编码	群体动力学、跨日对齐
	预测编码	先验建模、预测误差、自适应
生物材料	柔性生物兼容电极	超薄聚合物、低模量、界面修饰
	可控降解功能材料	可吸收硅/金属/分子铁电晶体
	长效生物封装材料	阻水封装、有机硅、亚胺界面
核心器件	神经电极	穿刺式、皮层薄膜、血管内等
	高通量采集芯片	低噪声前端、片上压缩、遥测
	植入设备无线供能	磁场耦合、近场、分体式布局
	无线通信链路	片上压缩、UWB、光链路
解码算法	脑电数据集	公开共享、多任务、临床标注
	脑电大模型	自监督预训练、跨数据集迁移
	大模型测评	基准协议、鲁棒性、可解释性
前沿技术	基因靶向神经调控	光遗传、磁遗传、声遗传
	前沿调控刺激	射频调控
	超声成像与调控	fUS、ULM、TUS

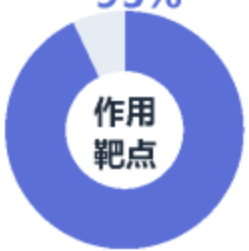
产业态势：技术路线逐渐收敛，产业链中游增长较快

CAICT 中国信通院

全球绝大多数企业都在走技术门槛相对较低、商业化落地快的“安全路线”。更高精度的多模态、侵入式、闭环调控技术，依然处于少数派探索阶段。

技术视角

中枢神经交互 93%



中枢 856家 · 外周神经 66家

感知类为主 74%



感知 672家 · 调控 322家

非侵入式为主流 87%



非侵入 786家 · 侵入 158家

单一模态为主 91%



单一模态824家 · 多模态 78家

全球企业 1175 家

产业视角

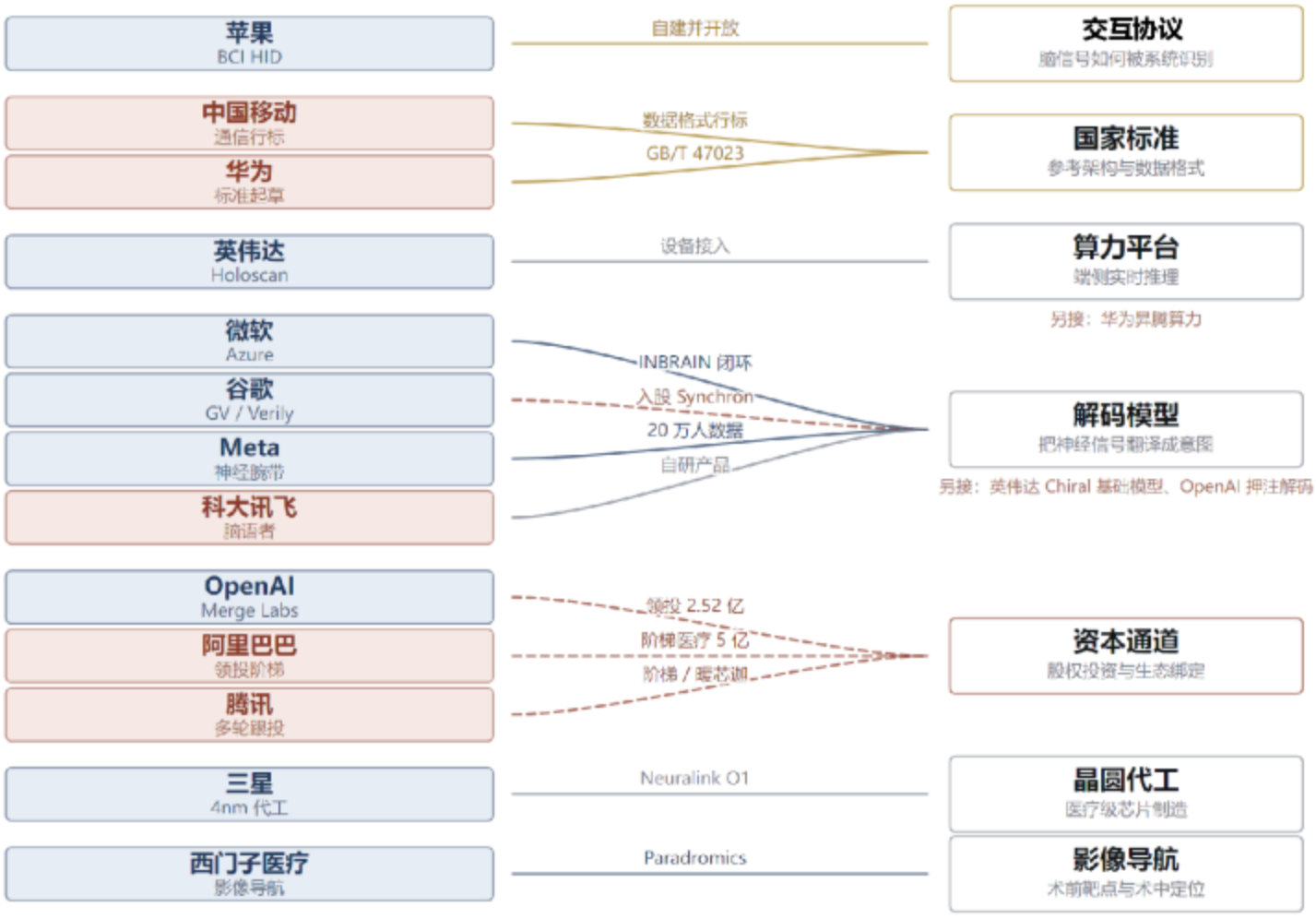
上游 · 核心器件与工具 232 家

中游 · 软件与整机 594 家

下游 ·应用 551 家

技术维度存在交叉（如一家企业可同时属于侵入式和多模态），故各维度加总不等于总基数；产业链环节存在业务重叠，故加总大于总基数

产业格局：巨头入局，有望形成软件、硬件、芯片、终端多层竞争



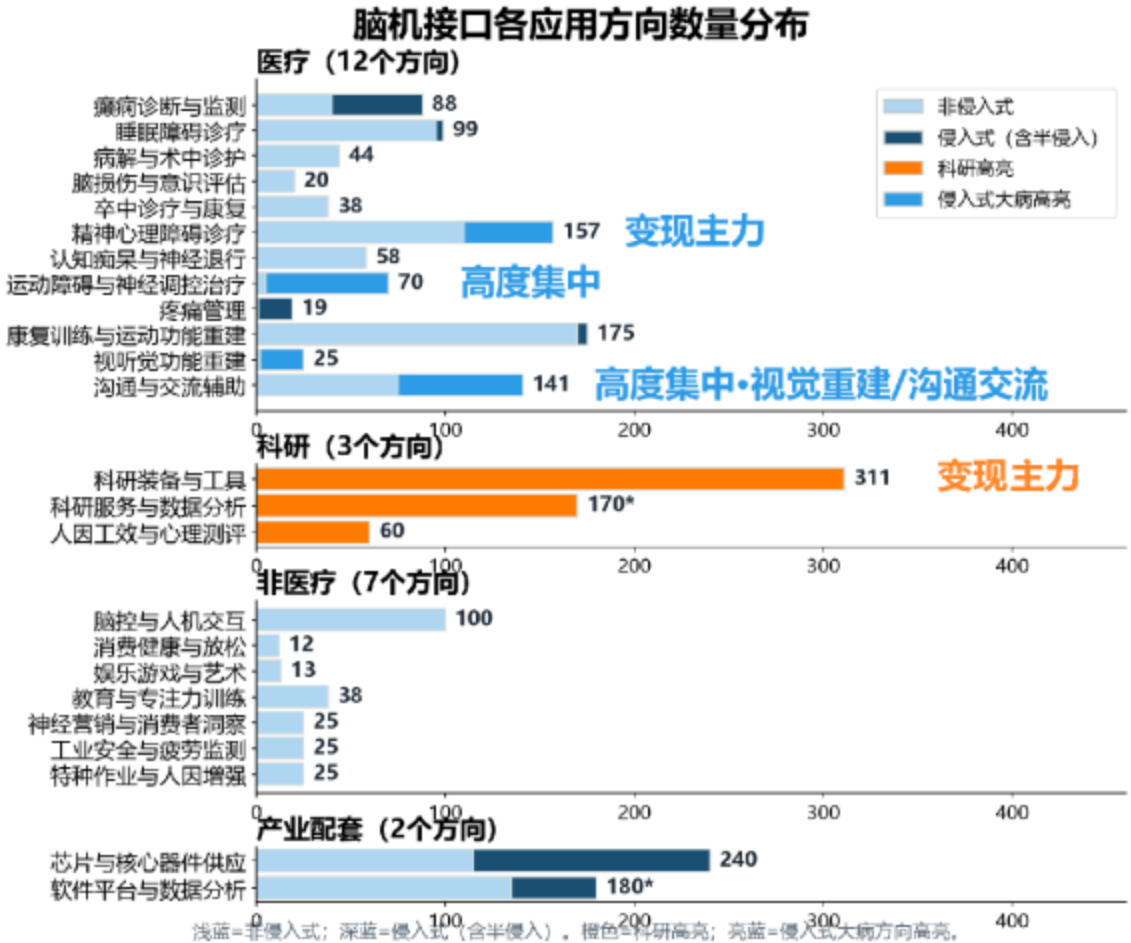
- **巨头入场：十多家信息通信与医疗巨头企业已入局**
- **在交互协议、标准、算力平台、解码模型多方面下场参与**
- **软件、硬件、芯片、终端多层次竞争格局初露端倪**

标准/协议　技术合作　资本投资　供应/代工　深蓝=海外企业　浅红=中国企业　虚线=投资关系

市场特征：科研与医疗平分秋色，应用呈碎片化探索

CAICT 中国信通院

- 当前市场变现主要依靠科研与医疗领域，大量相关医疗器械产品仍处于研发、临床和审批中
- 医疗应用场景较为分散，竞争重心走向临床实效



- **商业模式：科研方向企业扎堆，医疗分散攻坚**

科研装备（300+家）是当前最大单一已商业化能盈利的方向。科研端高度集中，医疗端（12个方向）极度分散，非医疗端（7个方向）仍处早期。

- **技术路径：侵入式聚焦医疗刚需，非医疗领域竞争激烈**

侵入式聚焦5大医疗刚需方向（运动/视觉/疼痛/癫痫/沟通），非医疗的7个方向（如脑控交互）企业多（100家），但技术壁垒低，竞争激烈。

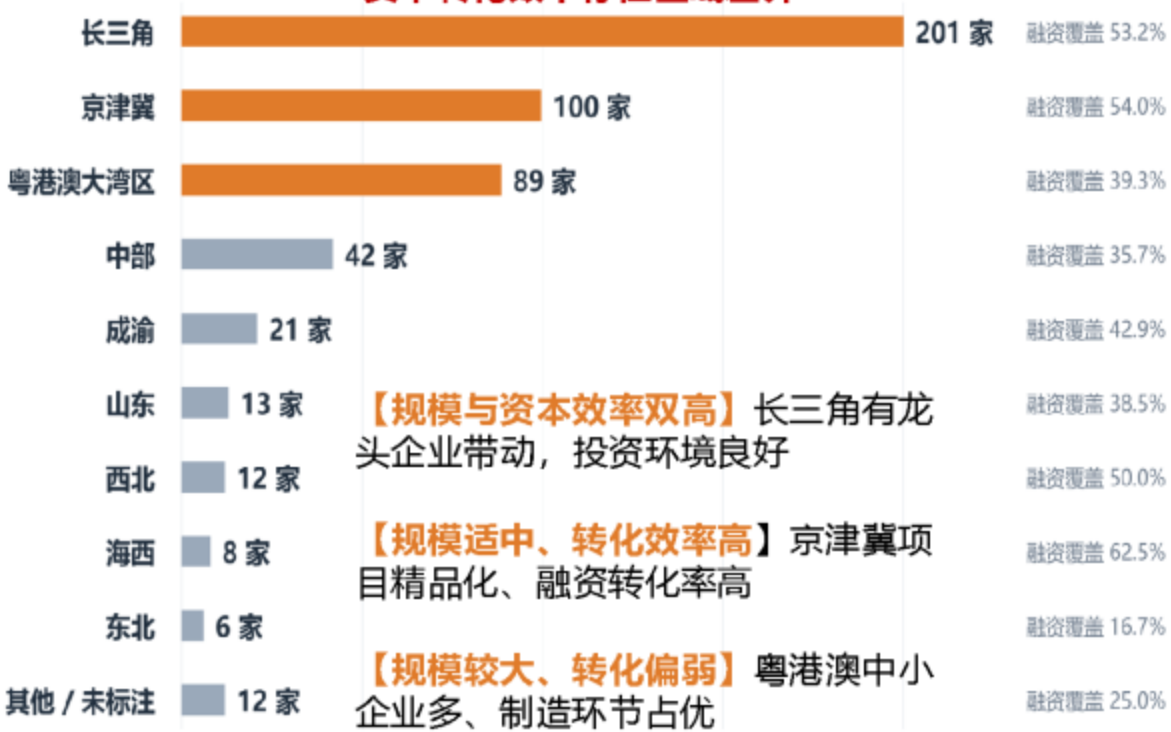
- **未来竞争：从拼融资转向拼注册与疗效**

供给短板在特定细分（神经营销、科研服务等）。在未来三年，医疗方向竞争重心在“拿证（注册证）”和“获得真实世界临床疗效证据”

产业集聚：高度依赖临床、资本、供应链资源、产业空间分布集中

- 三大城市群（长三角、京津冀、粤港澳）、五大省市（京沪浙苏粤）包揽中国七成企业，吸引四至五成融资
- 已经初步形成“重视原创、重视转化、重视制造”的优质协同链条

三大城市群390家，占全国77.4%
资本转化效率存在区域差异

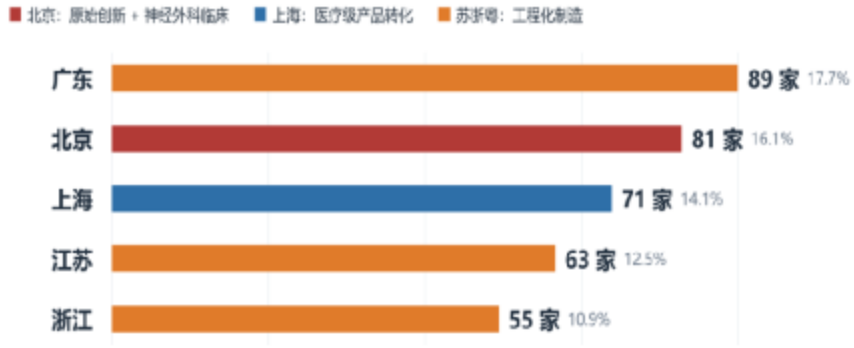


【规模与资本效率双高】长三角有龙头企业带动，投资环境良好

【规模适中、转化效率高】京津冀项目精品化、融资转化率高

【规模较大、转化偏弱】粤港澳中小企业多、制造环节占优

前五省市359家，占全国71.2%
产业资源向五省高度集聚



1. **产业集中度显著高于普通制造业**，布局特征类似生物医药行业
2. **企业选址核心考量**：具备伦理审查资质的三甲医院、医疗器械注册与检验服务机构、擅长长周期硬科技投资的早期基金、配套供应链

趋势1：单向“读写”走向多源异构和AI 原生，迈向碳基与硅基的稳定共促

- 脑机接口沿代际叠加演进，核心矛盾随能力升级发生转移；
- 现有市场营收主要依托第一代产品，当前产业主线聚焦第二代闭环产品的规模化落地与长期安全性验证；中长期竞争主线转向第三代多模态协同系统的工程化整合

第一代
单向

新增能力

读写分离
开环感知与开环调控

核心矛盾

稳定获取或可靠施加
神经信号

产业状态：**收入来源**

第二代
双向

新增能力

同一靶点内
感知与刺激实时闭环

核心矛盾

通道共存与互不干扰
刺激伪迹、组织相容性

产业状态：**研发重心**

第三代
多模态

新增能力

血流 / 超声 / 光学
化学等多源交叉协作闭环

核心矛盾

异构系统协同调度
与冲突抑制

产业状态：**攻坚期**

第四代
AI原生

新增能力

AI 实时解码
算法自适应调节

核心矛盾

长时序、跨受试者
神经数据集供给

产业状态：**初步探索**

第五代
硅碳融合

新增能力

生物神经组织与
电子器件长期耦合

核心矛盾

生物界面材料
界面长期稳定性

产业状态：**概念阶段**

目前市场营收 • 主要依托第一代开环产品

技术成熟、注册路径清晰、采购与收费体系完备

当前产业主线 • 聚焦第二代闭环产品

闭环调控已有上市案例，营收占比仍有限

当前攻坚期 • 第三代多源协同

多靶点系统整合、长期在体器件稳定性

趋势2：产业整合分化与治理监管并行，全球格局面临洗牌

CAICT 中国信通院

01 产业链结构有望“整合与分化”并行

“中下部崛起“逐渐向两端延伸，同质化发展走向专业深耕与分工



- **中游拥挤** 纯中游 100+ 家面临严峻同质化竞争。
- **龙头贯通** 整机龙头以联合体与并购串联全链条全球领军。
- **上游孵化** 高密度馈通、电池、专用芯片成专精特新孵化地。

02 区域竞争转向“制度和生态供给”

三大城市群地位主导，竞争告别招商引资，转向制度、基础设施、生态服务比拼

- **长三角** 支付侧先行，转化落地快
- **北 京** 高校科研机构多，源头创新强。
- **粤港澳** 依托强大工程能力，实现生产制造规模化。

03 国际产业发展环境不断完善，产业格局面临洗牌

中美欧从应用、生态、治理等方面推进，积极争取话语权

- **美国** 依托风投保持底层前沿技术突破优势。
- **欧盟** 凭数据隐私与伦理治理抢占标准与规则话语权。
- **中国** 依托制造链与临床场景，以规模制造赢得先机

04 巨头入局，抢夺“交互生态”

巨头以协议、资本、开源三层切入，重构人机交互新入口



- **协议层** 苹果发布 BCI HID 协议，未接入主流系统者面临边缘化。
- **资本层** OpenAI 领投 Merge Labs 2.5 亿美元，加速消费渗透。
- **开源层** Meta 开源 Brain2Qwerty v2，抢数据标准制定权。

问题和挑战

- 脑机接口技术周期长、难度大， 多学科协同复杂度高，疗效评估仍需审慎；
- 规模化落地受制于临床证据不足、支付与人才体系不完善，仍需战略耐心、资本耐心，需要持续的政策支持及资源供给。

验证

临床试验依然较少
缺少大样本长期验证

多数应用仍处小样本、短期随访阶段，设备独立疗效贡献未被RCT证实；个体差异大，需审慎评估临床疗效

支付

支付与人才培养体系有待完善

医保政策仍需更多临床证据支撑，商业保险仍处萌芽；术后适配与运维人才短缺，支付与人才职业体系待协同推进。

可靠性

工程可靠性仍需时日验证

长期观察周期不可逾越，尤其侵入式的疗效评价还是需要五年以上，“三年看效果，五年看结果”。

需求

行业应用仍需牵引，更多适应症仍需临床验证

脑控游戏等在展销会热度大但仅引流，B 端面临缺乏复购意愿、C 端缺长期使用意愿；侵入式虽存在刚需但受众支付能力有限

特别鸣谢以下单位在调研和报告撰写中给予的帮助

CAICT 中国信通院

91 家单位：高校 20 · 科研机构 17 · 医院 13 · 企业 41

高校（20）

· 清华大学
· 北京航空航天大学
· 天津大学
· 华中科技大学
· 南京大学
· 上海交通大学
· 北京邮电大学
· 复旦大学
· 南方科技大学
· 东南大学
· 北京理工大学
· 北京大学
· 中山大学
· 华南理工大学
· 西北工业大学
· 哈尔滨工业大学
· 山东大学
· 宁波东方理工大学
· 天津城建大学
· 深圳技术大学

科研机构（17）

· 中国科学院空天信息创新研究院
· 南湖脑机交叉研究院
· 临港国家实验室
· 昌平实验室
· 中国科学院成都文献情报中心
· 中国科学院半导体研究所
· 中国科学院自动化研究所
· 中国科学院深圳先进技术研究院
· 中国科学院生物物理研究所
· 中国科学院上海微系统与信息技术研究所
· 中国科学院脑科学与智能技术卓越创新中心
· 中国科学院宁波材料技术与工程研究所
· 中国科学院心理研究所
· 上海市医疗器械检验研究院
· 江苏脑机接口研究院
· 江西省检验检测认证总院
· 中国医学科学院生物医学工程研究所

医院（13）

· 首都医科大学附属北京天坛医院
· 首都医科大学宣武医院
· 南京脑科医院
· 北京大学第三医院
· 中山大学附属第三医院
· 东部战区总医院
· 华中科技大学同济医学院附属同济医院
· 华中科技大学同济医学院附属协和医院
· 南京大学医学院附属鼓楼医院
· 首都医科大学附属北京儿童医院
· 暨南大学附属第一医院
· 广州市第一人民医院
· 广州市老年医院
· 山西医科大学第一医院

企业（41）

· 北京智冉科技有限公司
· 北京品驰医疗设备股份有限公司
· 北京华脑技术发展有限公司
· 博睿康医疗科技（上海）有限公司
· 北京视友科技有限责任公司
· 北京脑回录科技有限公司
· 杭州青石永隽医疗设备有限公司
· 浙江诺尔康研究院
· 浙江强脑科技有限公司
· 杭州佳量脑科学股份有限公司
· 中国电子科技集团公司
· 南京左右脑医疗科技集团有限公司
· 南京山海医疗科技有限公司
· 上海阶梯医疗科技有限公司
· 华南脑控（广东）智能科技有限公司
· 广州极芯智元生命科学有限公司
· 国网上海市电力公司
· 睿芯智普（深圳）科技有限公司
· 景昱医疗科技（苏州）股份有限公司
· 杭州迈动数康科技有限公司
· 深圳睿瀚医疗科技有限公司
· 广州析芒医疗科技有限公司
· 广州市润杰医疗器械有限公司
· 深圳鳃为科技有限公司
· 力之智能科技（广州）有限公司
· 深圳微灵医疗科技有限公司
· 深圳市宏智力科技有限公司
· 深圳市回映生命科技有限公司
· 西安臻泰智能科技有限公司
· 深圳德力凯医疗电子股份有限公司
· 中科搏锐（北京）科技有限公司
· 丹阳慧创医疗设备有限公司
· 中电云脑（天津）科技有限公司
· 成都芯脑科技有限公司
· 数云科（天津）科技有限公司
· 深圳市应和脑科学有限公司
· 上海韶脑传感技术有限公司
· 上海全澜科技有限公司

感谢观看

