



程和平

中国科学院院士程和平： 从 2.2 克微型探头到未来脑机接口

从 2.2 克微型成像探头，到一体化闭环脑机接口，这条学科交叉与仪器自主创新的道路，它的起点在十多年前，也是未来十多年我要追寻的方向。对我而言，每一项重大科研任务，每一次关键技术突破，都让我更多地领略到生命之美。

打破壁垒的活体“读脑”利器

我的学术生涯，是一段深耕学科交叉的实践历程。早年在北大求学时，我的导师曾叮嘱：做研究早年一定要吃透一门专长，同时掌握两门关联学科，在此基础上再广泛拓展知识边界。这套治学理念，奠定了我数十年科研

道路的坚实基础。

在博士阶段的研究中，我取得了科研究生涯的第一个标志性成果。我和团队利用自主改造的二手共聚焦显微镜，发现并命名了细胞内钙信号的最小功能单位——“钙火花”。1993年，这项原创成果发表于国际顶刊 *Science*；2004年，该论文被学界誉为百年以来心肌研究领域十大里程碑论文之一。

归国后，我深切感受到国家与时代的召唤：要做从零到一的源头创新，需要有自主研发的独门利器，而高端生命科学仪器自主创新正是我国原始创新的关键短板。2014年，我牵头获批国家自然科学基金国家重大科研仪器设备研制专项，组建了跨学科、跨机构的攻关队伍，奋战多年，最终成功研制出重量仅为 2.2 克的微型双光子成像探头；将其佩戴于小动物头部，可对其自由运动时大脑内成百上千个神经元开展实时动态成像。

这项成果入选“2017年中国科学十大进展”，并获评 *Nature Methods* 2018 年度重大方法学突破。

向脑机接口的“珠峰”持续攀登

脑科学研究可归纳为“读、释、写、仿”四大核心方向。目前，我们自研的成像装备已初步完成“读”的技术落地。在此基础上，我们需要进一步实现“释”，即解析海量神经数据，挖掘信号背后对应的心理参数、行为意图与语义逻辑。而“写”则是通过外部信号对大脑神经活动进行精准、可控的干预调控。

我给自己定下了未来十年的核心目标：攀登脑机接口领域的“珠峰”，它的峰顶，就是打造集“读、释、写、仿”于一体的闭环脑机系统。当然，这个目标无法一蹴而就，如同登山探险一般，需要循序渐进、爬坡过坎。期望用十年左右的时间实现整套体系的核心突破。

具体而言，当前我们正处于动物大脑活体观测阶段；下一阶段的核心任务是高精度神经信号解码，并同步匹配行为学数据；随后，我们将搭建脑信号实时反馈闭环，这一环节离不开专用神经芯片的技术支撑；远期，还要将数字脑仿真、脑类器官研究与真实大脑结构数据深度融合，探索“仿”的边界。

与之相关的，我们团队此前 12 年完成了一个意义重大的大科学工程——主持建成国家“十四五”重大科技基础设施“多模态跨尺度生物医学成像设施”。我将这座大科学装置命名为“生命观察台”，它实现了从分子到人、全景式观测生命的结构与过程。我们将依托这件国之重器，持续迭代自主研发的成像装备，融合光、电、磁、声多模态探测技术，推动实现神经信号“读写闭环”。未来十年，期待“脑机交互”“脑际交互”的梦想化为现实。让我们拭目以待。

(上接第 3 版)

脑机接口的百年探索与中国实践

2026 年全国两会期间，脑机接口首次被单独写入政府工作报告，与量子科技、6G 等并列，被明确列为“十五五”规划前瞻布局、重点培育的未来产业。国家、地方、产业端多级政策持续加码：国家层面，工信部等七部委于 2025 年 7 月联合印发《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》，定义其为生命科学与信息科学交叉前沿技术；地方层面，北京市于 2025 年 1 月出台专项行动方案，加速布局本土产业发展；行业层面，2023 年中国信通院牵头成立脑机接口产业联盟，联动全国顶尖医院、高校搭建政产学研用协同平台，全方位助推产业发展。

北京领跑脑机接口全链条发展

脑机接口分为无创脑机接口、微创

脑机接口两大类。

无创脑机接口依靠头戴设备采集脑电信号，优势是无需手术、佩戴便捷可随时摘除；短板是信号微弱、空间分辨率低，难以精准定位脑区与神经元活动。

微创脑机接口有三种手术方式：

(1) 通过微创开颅将电极阵列植入脑组织内，可采集高精度神经信号；缺陷是易引发免疫排斥、疤痕增生，长期使用可能出现信号衰减，同时存在术后炎症风险。

(2) 通过微创开颅将 (ECoG) 电极置于硬脑膜外，采集的脑电信号质量优于无创脑机接口，国内“北脑一号”为此路线代表设备。

(3) 通过神经介入方式，将电极系统

经血管通路植入脑部血管内，以记录脑电信号。2024 年美国相关产品研发成果广受关注。

依托多元技术路线布局，北京已建成覆盖基础研究、设备研发、临床诊疗、人才培育的脑机接口完整创新链条，形成政、产、学、研、医协同转化特色模式：北京脑科学与类脑研究所牵头成立的北京芯智达神经技术有限公司联合清华大学、北京大学和中国科学院相关研究所完成产学研协同，由国家发改委支持“国家神经系统疾病临床医学研究中心”强化创新能力“两重”配套专项经费在北京天坛医院建成标准化脑机专科病房；自研全球首款无线半侵入式设备“北脑一号”，已在全国 16 家医院开展针对脊髓

损伤、脑卒中、渐冻症等导致的运动或言语功能障碍患者的临床植入，同步推进二代产品验证。按照《加快北京市脑机接口创新发展行动方案（2025—2030 年）》，将完成多中心临床试验并出台国内首部行业指南与标准。

产业硬件、临床场地逐步完善的同时，行业软性发展短板逐步凸显，当下脑机接口行业现存核心痛点是临床适配专业人才稀缺。北京已率先开设专项培训班、开展手术直播教学，脑机临床适配师将成为全新职业。

目前，脑机接口还处在临床试验阶段，许多技术和伦理问题尚待解决。随着脑研究深入，未来脑机接口在医疗健康领域的应用前景十分广阔。