

2025 年度陕西省科学技术奖提名公示材料

一、项目名称

面向认知功能障碍诊疗的脑机接口技术研究与应用推广

二、提名者及提名意见

提单位：陕西省卫生健康委员会

提名意见：该项目聚焦脑机接口技术在认知功能障碍诊治中的理论创新与临床应用，开展了系统性研究和推广工作，取得了多项重要科技创新成果。项目自主研发的“可穿戴式脑电采集分析系统”、“认知功能障碍脑电分析系统”和“脑机接口言语认知康复训练与评估系统”，突破了传统脑电采集与脑机交互中的多项技术瓶颈，实现了高精度、高抗扰、无线便携脑电信号采集、提出了基于全息谱、交叉小波的脑电信号处理与分析方法，实现了基于深度神经网络的早期认知功能障碍的精准诊断与预测。项目成果获二类医疗器械注册证，在陕西省人民医院等 200 余家医院应用，服务患者超十万例，经济社会效益显著。项目技术先进、创新性强，应用成效突出，对推动脑机接口技术在医疗康复领域的创新与发展具有示范作用。提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

2021 年，WHO 发布关于《全球公共卫生应对痴呆症的现状报告》提出：年龄越大，痴呆的患病率越高。《国务院关于印发“十四五”国家老龄事业发展和养老服务体系规划的通知》国发（2021）35 号文件中指出：我国老年人口规模化，老龄化速度快。《关于发展银发经济增进老年人福祉的意见》国办发（2024）1 号文件显示：65 周岁以上老年人超 2 亿，占总人口 14.9%。同年国家卫健委联合发改委、民政部、医保局等 14 个部门共同印发《应对老年期痴呆国家行动计划》（2024-2030）国卫老龄发（2024）42 号指出：“预防为主、防治结合”的原则，减少或延缓老年期痴呆的发生和发展。因此，对于认知功能障碍的早期识别及干预治疗，显得尤为重要。认知障碍是由各种原因导致的大脑高级功能受损，表现为一个或多个认知领域能力的明显减退，并可能影响到个体的日常生活、社会职业功能或独立性。最常见的病因分为脑血管疾病和退行性疾病（不可逆性）如阿尔茨海默病，其早期干预对延缓疾病进展、降低痴呆转化风险具有关键意义。

据近年流行病学研究数据显示,我国 60 岁及以上人群中血管性患病率约为 5.2%,估算现症患者超 2000 万人;其中脑卒中后血管性认知功能障碍的发生率高达 40%-60%,且约 15%的脑小血管病患者在 5 年内会进展为血管性痴呆。目前认知功能障碍从发病机制研究到临床诊疗实践仍面临诸多亟待解决的重大实际问题,如:“缺乏基层可推广的早期便捷筛查工具,依赖专业量表与高端影像设备导致基层识别率低”、“临床缺乏针对认知功能障碍患者的特异性生活质量评价工具,多沿用通用认知障碍量表,难以精准反映脑血管病变对患者日常功能的影响”、“认知功能障碍诊断标准中神经电生理(如脑电)与影像特征的权重尚未统一,临床实操性不足”等。该项目针对上述重大实际问题,自 2020 年起,在 5 项国家及省部级基金支持下,围绕认知功能障碍的早期识别技术、诊断标准优化、发病机制解析及临床干预方案构建开展系统性深入研究,并取得了丰硕的科技成果,概述如下:

(一) 关键创新创新情况

1. 硬件创新: 聚焦“便携化、高精度、可穿戴”,降低临床应用门槛。

认知功能障碍诊断硬件: 低密度便携脑电设备,采用 19 通道低密度脑电采集硬件,替代依赖高密度设备的传统方案,适配临床可穿戴或便携式场景,兼顾数据采集实用性与可推广性,满足基层及常规临床场景的认知功能障碍筛查需求。**康复训练硬件:** 自研可穿戴脑电采集系统,西安臻泰智能科技有限公司开发的可穿戴式脑电采集分析硬件,可实时监测康复训练过程中患者的脑电状态,为个性化康复方案制定提供数据支撑,同时避免传统固定设备对患者活动的限制。**协同训练硬件:** 高精度脑电采集与虚实结合显示方案,合作项目研发高精度脑电采集设备,搭配优化的虚实结合显示体系,既保障三维空间脑控任务的信号解码精度,又降低传统 VR 眼镜的使用门槛与不适感,适配临床康复场景易用性需求。

2. 算法创新: 突破“特征提取 - 信号解码 - 模型适配”关键技术瓶颈。

认知功能障碍诊断算法: 引入最小范数成像(MNE)源定位算法,将通道脑电信号映射至脑区,增强信号解剖学意义,助力认知功能障碍的脑区溯源分析;时频分析与特征构建创新,提出交叉小波变换(XWT)并创新计算小波互谱,构建脑区间功能连接特征,相比传统互信息方法显著提升认知功能障碍识别准确性;通过多模型对比验证,确定最优分类模型,保障 96.7%的分类准确率。

轻度认知功能障碍（MCI）语音筛查算法：特征编码创新，提出面向任务的特征编码模型及配套训练流程，提取认知状态敏感的嵌入表示，弱化对文本转写与语言环境的依赖，同时适配小样本与真实场景的不均衡数据，为低成本 MCI 早筛提供算法支撑。**阿尔茨海默病（AD）诊断算法：**特征权重 LSTM 创新，构建基于特征权重的 LSTM 模型：用 rs-fMRI 建立脑功能连接，依据重要连接涉及脑区频次生成空间权重，再将权重注入 LSTM，使模型可同时利用时间动态与空间拓扑信息进行 AD 判别，相比常规 LSTM 或 1D-CNN 更稳健、诊断效果更优；同时将“脑区频次权重”迁移为 EEG/fNIRS 的通道/频段权重先验，适配多模态神经信号解码。**康复交互与解码算法：**立体视觉与跨模态适配，构建稳态立体视觉诱发电位 BCI 范式，提升用户对三维空间视觉刺激的脑电响应强度，为三维脑控康复任务解码奠定基础；基于论文算法延展，提出“fMRI 定锚+ EEG 实时”的跨模态联合解码框架，利用 rs-fMRI 先验指导 EEG 信号对齐，优化在线解码性能。

3. 系统创新：构建“标准化 - 自适应 - 协同化”的全周期体系。

认知功能障碍诊断系统：建立“电极定位→重参考→滤波→分段→ICA 去伪影→源定位→时频分析→特征输入”的标准化脑电处理流程，确保数据清洁度与可靠性，同时通过源定位增强特征空间表达，使用深度神经网络模型提升分类精度，一体化数据处理与预测界面，开发可视化图形界面诊断系统，具备良好用户交互性，支持医生快速操作。**脑机接口认知康复训练系统：**自适应难度与个性化方案，康复系统具备难度自适应功能，自动跟踪用户训练表现并调节训练难度，实现循序渐进的训练；结合可穿戴脑电设备的全周期数据监测，为不同患者（如脑卒中、AD 患者）制定精准化个性化康复方案。**协同训练系统：**运动 - 认知协同模式，突破传统脑机接口康复“仅关注二维简单任务”的局限，构建虚实结合的运动 - 认知协同脑控训练新模式，将言语认知功能与运动想象能力训练结合，同步提升患者认知功能与运动控制、手眼协调能力。

4. 应用创新：聚焦“临床转化 - 多场景适配 - 机制支撑”。

认知功能障碍诊断应用：神经科临床扩展与早期干预，系统可作为神经科常规脑电检查的智能扩展模块，辅助医生实现认知功能障碍的快速筛查与量化评估，解决认知功能障碍早期诊断效率低的问题；同时揭示认知功能障碍患者脑

区间功能连接退化、时频相关性减弱的客观特征，为认知功能障碍电生理机制研究提供支撑。**康复训练应用：**康复系统适应症覆盖痴呆、脑卒中、脑外伤、帕金森、阿尔茨海默症等多类疾病导致的认知障碍，提供言语、记忆、思维、运动协调等多维度训练，实现“评估 - 训练 - 再评估”的全周期康复管理，有效改善患者临床症状。协同训练应用：三维运动 - 认知协同训练方法更贴合临床实际需求（如患者对三维空间的感知与运动恢复），降低传统 VR 康复设备的使用门槛，推动脑机接口技术从“模拟训练”向“现实空间眼手协同训练”跨越，提升临床推广价值。

（二）应用推广及效益情况

本项目成果转化成效显著，应用推广范围广泛，社会与经济效益突出。所研发的“脑机接口认知康复训练与评估系统”及“无线多通道脑电采集分析系统”已成功实现产业化，其中脑电采集系统已获国家二类医疗器械注册证。产品已在全国范围内超 200 家医院投入临床应用，覆盖包括陕西省人民医院、唐都医院、北京清华长庚医院、复旦大学附属华山医院等 300 余家三甲医院，累计服务患者数十万例，完成训练超百万次，显著提升了脑卒中、脑外伤等患者认知功能障碍的康复疗效与效率。近三年累计创造经济效益超 1 亿元，新增利润 1493.52 万元，在提升医疗机构康复服务技术水平的同时，取得了显著的社会效益与经济效益。

（三）获得成果情况

围绕本项目已发表学术论文 22 篇，其中 SCI 收录 8 篇。受邀国内外学术会议 14 次，培养博士 1 名（论文题目：《卵圆孔未闭对偏头痛脑电功能网络改变及氯吡格雷疗效预测研究》），硕士 1 名（论文题目：《基于脑电信号的脑血管病人认知功能分类与预测》），技术骨干 10 余名，主编《可穿戴式脑机接口专用脑电采集分析系统技术要求及测试方法》团体标准 1 项（T/CAS 976—2024），授权国家发明专利 13 项，软件著作权 3 项。

综上所述，该项目面向认知功能障碍的精准诊疗与康复领域，获多项省部级以上基金支持，系统开展了认知功能障碍早期识别、诊断优化、机制探索及系统干预研究，对延缓疾病进展、降低痴呆转化风险具有重要意义。项目创新提出“软硬件结合、诊疗康协同”的一体化解决方案，构建了涵盖便携采集、智能算法、多模交互与临床系统的全链条技术体系，填补了基层认知功能障碍早期筛查与特

异性评估工具空白，完善了基于神经电生理的客观诊断与康复机制。关键技术突破包括认知功能障碍早期识别灵敏度提升、康复训练依从性增强及多模态信号解码融合等瓶颈，实现了低密度脑电精准分类、立体视觉脑机交互和跨模态解码等创新。成果已推广至全国 200 余家医院，累计服务患者数十万例，显著提升认知功能障碍诊疗可及性与康复效率，具有广泛的临床影响力和社会价值。

四、客观评价

（一）创新性与科学性评价

该项目针对脑电信号采集不便、抗干扰能力弱、脑电信号成分复杂、分析与高效表征不易、轻度认知功能障碍客观诊断标准缺失、认知康复训练模式单一被动，个性化干预不足等难题，通过对脑电信号高质量采集与解码、采用全息谱、交叉小波等时频分析技术、基于深度神经网络的诊断模型、立体视觉诱发范式、认知—运动协同康复机制等关键问题的深入研究，形成了从可穿戴脑电采集硬件、高精度识别算法、康复训练软件到多模态评估系统的全链条创新体系，取得了高性能脑机接口设备研发、主动康复训练平台构建及临床规范化应用等系列技术突破，推动了脑机接口技术在认知障碍诊疗与康复领域的技术进步和临床应用水平的进一步提高。

（二）成果应用与推广评价

项目成果已实现产业化落地与大规模的临床推广应用，数据充分证明了其有效性与普适性。临床实践表明，“基于脑机接口的认知功能障碍个性化康复诊疗一体化”解决方案可缩短近患者 1/3 的康复周期，并有效改善患者日常生活自理能力，通过可视化的进步增强其康复信心。对社会群体而言，该方案推动了康复服务的数字化、标准化与普惠化，有助于优化医疗资源配置，减轻家庭与社会的长期照护负担，是推动脑机接口前沿技术造福民生、助力“健康中国”建设的成功实践。产品已推广至全国 200 余家医院，其中包括复旦大学附属华山医院、首都医科大学宣武医院、浙江省大学附属第一医院等超 300 家三甲医院，形成了覆盖全国的示范网络。在西安交通大学第一附属医院、河南省人民医院等众多机构中，该系统已成为康复科的常规治疗手段，应用时间最长的已达十年之久（如郑

州大学附属第五医院自 2010 年起持续使用)。截至 2023 年,累计创造经济效益超 1.0 亿元,新增利润 1493.52 万元,累计服务患者数十万名。

(三) 重要学术刊物、学术专著及受邀进行专题报告

主编《可穿戴式脑机接口专用脑电采集分析系统技术要求及测试方法》团体标准 1 项(T/CAS 976—2024)。围绕本项目获得发明专利授权 13 项,获批软件著作权 3 项,发表学术论文 22 篇,其中 SCI 论文 8 篇,受邀参加全国学术会议 14 次。

(四) 权威媒体广泛报道

依托本项目研发的产品参与亮相智能康复与人机工程学术会议、世界人工智能大会、上海国际康复养老辅具博览会等全国展会多次,也被央视、陕西卫视、西安电视台等多家媒体广泛报道,为推动前沿科技产品落地临床,新技术科普推广做出了重要贡献。

(五) 国内外重要科技奖励

在脑机接口康复领域的研究与应用方面,该项目技术成果曾多次获得国家级及省部级重要奖项肯定。其中包括:“多功能脑控上下肢训练机器人”项目获 2019 全国机器人大赛特等奖;“脑机接口手功能康复训练与评估系统”荣获 2023 中国医疗器械创新创业大赛一等奖;“脑机接口智能康复机器人”项目获 2023 陕西省科技工作者创新创业大赛三等奖。

五、应用情况

依托本项目研发的“脑机接口认知康复训练与评估系统”及“无线多通道脑电采集分析系统”已实现规模化临床应用与产业化推广。其中,脑电采集系统已于 2024 年获国家二类医疗器械注册证,认知训练系统处于申报阶段,预计 2025 年获证。系统已在全国超过 200 家医院投入临床应用,包括陕西省人民医院、唐都医院、首都医科大学宣武医院、复旦大学附属华山医院等 300 余家三甲医院。累计服务患者数十万例,完成训练动作超百万次,显著改善了脑卒中及脊髓损伤患者的认知功能与运动协调能力,有效提升生活自理能力。

该系统通过脑机接口技术实现意念控制下的主动康复,突破了传统康复训练的被动局限。其创新的虚拟现实训练场景增强了治疗沉浸感与患者参与度,个性化方案使治疗时间缩短近 1/3,康复疗效提升显著。项目已产生经济效益超 1 亿

元，并通过参与世界人工智能大会等国际展会及央视等媒体宣传，推动了脑机接口技术在康复医疗领域的科普与产业化发展。

序号	应用单位	应用技术	应用起止时间	联系人
1	陕西省人民医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与 评估系统	2023.09-至今	郭晓敏
2	西京医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与 评估系统	2022.03-至今	赵广超
3	第四军医大学口腔医院	无线多通道脑电采集分析系统	2024.07-至今	张昊鹏
4	西安交通大学第一附属医院	无线多通道脑电采集分析系统	2022.03-至今	袁子文
5	西安国际医学中心	无线多通道脑电采集分析系统	2023.11-2024.12	李伟栋
6	陕西省康复医院	无线多通道脑电采集分析系统	2022.04-2024.04	杨延辉
7	浙江大学医学院附属第一附院	无线多通道脑电采集分析系统	2023.01-至今	王大明
8	北京宣武医院	无线多通道脑电采集分析系统	2022.04-至今	刘海杰
9	上海静安市北医院	无线多通道脑电采集分析系统	2022.06-至今	舒锦
10	中山大学附属第七医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与 评估系统	2023.01-至今	林强
11	暨南大学附属第五医院	无线多通道脑电采集分析系统	2023.09-2024.12	牟志伟
12	复旦大学附属华东医院	无线多通道脑电采集分析系统	2023.12-2025.04	郑洁姣
13	西安医学院第二附属医院	无线多通道脑电采集分析系统	2021.09-2022.11	孙扬
14	西安工会医院	无线多通道脑电采集分析系统	2023.06-2024.10	吉佳佳
15	绵阳中心医院	无线多通道脑电采集分析系统	2023.03-至今	廖波
16	上海杨浦区中心医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与 评估系统	2022.11-2024.12	李小立
17	郑州大学附属第三人民医院	无线多通道脑电采集分析系统	2023.08-2025.07	张一
18	郑州大学附属	无线多通道脑电采集分析系统	2023.04-至今	郭永坤

	第五人民医院			
19	中山大学附属第三医院	无线多通道脑电采集分析系统	2023.08-2025.04	李娜
20	上海禾滨康复医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与评估系统	2022.09-2024.07	张艳正
21	上海徐汇区中心医院	无线多通道脑电采集分析系统	2022.05-2023.09	张颖
22	上海市第八人民医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与评估系统	2022.04-2023.07	沈洁
23	华山医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与评估系统	2022.05-至今	陆蓉蓉
24	上海市第一康复医院	无线多通道脑电采集分析系统	2022.04-2023.07	周哲
25	江苏常熟第二人民医院	无线多通道脑电采集分析系统	2023.06-至今	沈玄霖
26	青岛大学附属医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与评估系统	2023.06-至今	张永祥
27	湖南脑科医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与评估系统	2022.01-2024.11	黄佳琪
28	天坛医院	无线多通道脑电采集分析系统 基于脑机接口的认知康复训练与评估系统	2023.10-至今	河江弘

六、主要知识产权和标准规范等目录

序号	类别	知识产权 具体名称	刊名/国家 (地区)	期卷号/ 授权号	授权/发 表日期	编号	作者
1	论文	Electroencephalographic Power Spectrum Changes in Cerebral Small Vessel Disease Combined with Cognitive Dysfunction and	Frontiers in Neurology	2024, 14: 130024 0	2024 年 01 月 12 日	DOI: 10 .3389/fn eur.2023 .130024 0	Xiaomin Guo, Zongwei Liu, Weishuai Yuan, Aiqin Wei, Guogang

		Its Relationship with Neutrophil/Lymphocyte Ratio and Its Clinical Value – A Pilot Study					Luo
2	论文	Stereoscopic Motion Perception Research based on Steady-state Visual Motion Evoked Potential	International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society	2019: 3067-3070	2019 年 10 月 07 日	DOI: 10.1109/EMBC.2019.8857487	Chengcheng Han, Guanghua Xu, Yimin Jiang, Haocheng Wang, Xiaobi Chen, Kai Zhang, Jun Xie, Fei Liu
3	论文	Functional Integration and Separation of Brain Network Based on Phase Locking Value During Emotion Processing	IEEE Transactions on Cognitive and Developmental Systems	2020, 15(2): 444-453	2020 年 06 月 11 日	DOI: 10.1109/TCD.2020.3001642	Zhongmin Wang, Rui Zhou, Yan He, Xiaomin Guo
4	论文	Diagnosis of Alzheimer's Disease by Feature Weighted-LSTM : A Preliminary Study of Temporal Features in Brain Resting-state	Journal of Integrative Neuroscience	2022, 21(2): 56	2022 年 03 月 22 日	DOI:10.31083/j.jin2102056	Jiyun Li, Binbin Song, Chen Qian

		fMRI					
5	发明专利	一种脑电装置的数据同步方法及脑电装置	中国	ZL2021 104825 97.8	2024 年 01 月 19 日	第 6630654 号	王浩冲 史改革
6	发明专利	运动想象脑电信号分类方法、装置、设备和存储介质	中国	ZL2021 116655 69.6	2024 年 05 月 03 日	第 6969433 号	王浩冲 史改革 董文丽
7	发明专利	一种高精度脑电信号采集方法及装置	中国	ZL2020 1 125566 1.0	2024 年 03 月 12 日	第 6775616 号	王浩冲 史改革 韩丞丞
8	发明专利	轻度认知障碍早期筛查的语音特征编码模型及其训练方法	中国	ZL2022 1 101085 2.X	2024 年 10 月 01 日	第 7417269 号	钱辰 狄靖凯 李继云 黄鹏
9	发明专利	一种基于机器学习的脑血管病诊断方法、装置及存储介质	中国	ZL2024 1 081052 5.5	2024 年 10 月 29 日	第 7486361 号	郭晓敏 李兰 沈璐婷 常姗 刘宗伟
10	软件著作权	认知功能障碍脑电分析软件	中国	2024SR 112680 3	2024 年 08 月 06 日	第 1353067 号	陕西省 人民医 院（陕 西省 临床 医学 研究 院） 李兰 沈璐 婷 常姗

七、主要完成人情况

姓名	技术职称	行政职务	工作单位	完成单位
郭晓敏	主任医师	科室副主任	陕西省人民医院	陕西省人民医院

姓名	技术职称	行政职务	工作单位	完成单位
常姗	教授	计算机学院副院长	东华大学	东华大学
王浩冲	中级工程师	总经理	西安臻泰智能科技有限公司	西安臻泰智能科技有限公司
韩丞丞	讲师	无	西安交通大学	西安交通大学
钱辰	讲师	无	东华大学	东华大学
史改革	中级工程师	技术总监	西安臻泰智能科技有限公司	西安臻泰智能科技有限公司
董文丽	中级工程师	无	西安臻泰智能科技有限公司	西安臻泰智能科技有限公司

八、主要完成单位及创新性推广

主要完成单位 1：陕西省人民医院

创新推广贡献：陕西省人民医院作为第一完成单位，完成主要项目的整体设计和实施。该项目依托陕西省重点产业链《基于非线性脑电分析方法的脑小血管病合并认知功能障碍的病理机制研究》完成项目基础理论研究。组织协调东华大学、西安交通大学完成医工交叉重点技术创新和突破。同西安臻泰智能科技有限公司联合完成基础理论到成果验证的应用和推广。

主要完成单位 2：东华大学

创新推广贡献：在本研究项目中，东华大学作为第二完成单位，发挥了多维度、结构化的创新与推广支撑作用。在数据处理和算法建模方面的积累，协助突破了运动伪迹抑制、多模态信号对齐等技术瓶颈。在推广方面，东华大学协助西安臻泰智能科技有限公司通过学术网络、产学研合作等方式，积极推动项目成果在康复机构、社区医疗中的示范应用与跨领域推广。

主要完成单位 3：西安臻泰智能科技有限公司

创新推广贡献：在本研究项目中，西安臻泰智能科技有限公司作为第三完成单位，完成了可穿戴式脑电采集分析及脑机接口认知康复训练系统的研发与产业化推广，其性能达国际先进水平，并成功推动成果在全国超 200 家医院临床转化应用，为脑机接口技术在康复医疗领域的普及做出了决定性贡献。

主要完成单位 4：西安交通大学

创新推广贡献：在本项目中，西安交通大学作为第四完成单位，负责完成了一部分基础研究工作，同时协同西安臻泰智能科技有限公司共同开发应用系统，完成从技术成果到工程化样机的转化，支撑了项目后续产业化落地与应用示范。

九、完成人合作关系说明

郭晓敏：作为项目总负责人，主导整体规划与资源协调，推动研究成果在学术论文、专利布局及实际应用中的多层次转化，并领导合作团队完成所有核心技术创新与产品化推进。

常 珊：作为项目核心成员，负责推进基础研究实施，提供关键研究方向与思路，主导学术论文与专利的撰写与申请，并参与部分成果推广工作。

王浩冲：担任项目技术指导，负责研究方法设计与优化，参与论文与专利文本的撰写，提供关键技术思路，指导实验开展并推动部分成果向应用转化。

韩丞丞：作为项目组成员，承担项目中生物信息数据分析与挖掘，推进相关算法的专利布局，参与论文撰写与实验验证，并协助软件产品的开发与优化。

钱 辰：作为项目组成员，负责生物信息分析，推进数据分析方法的专利化，参与论文撰写、实验实施及成果在产品开发中的落地应用。

史改革：作为项目研究成员，参与基础研究及实验工作，贡献研究思路，协助论文和专利的撰写与申请，并加入成果推广及示范应用等任务。

董文丽：参与项目的基础研究与实验实施，提供研究思路，协助学术论文和专利的撰写，支持成果推广与实际应用测试。