

陕西省自然科学奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	神经功能状态解码方法及应用
主要完成人	王刚，陈梁骏，郑凯中，陶怡，闫相国
主要完成单位	西安交通大学

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input checked="" type="checkbox"/> 二等奖及以上
<p>提名意见：</p> <p>该项目针对神经信号采集过程中的干扰噪声、多脑区间的协同耦合特征无法表征和神经功能状态识别的主观性强不准确等问题，开展了“神经信号数据校正—神经功能模式表征——神经功能状态识别”的全链条研究，形成了一套完整的神经功能状态解码方法，可用于脑健康预防和脑疾病诊疗，服务于医疗和教育等行业，开展神经功能状态解码方法突破与应用研究具有重要的社会效益。</p> <p>提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

二、提名意见（适用于专家提名）

[illegible]

三、项目简介

大脑是人体最复杂、最重要的器官之一，控制着我们的思维、情感、记忆和身体功能。保持脑健康不仅对维持认知能力和情绪稳定至关重要，还对个人的整体生活质量和幸福感有深远的影响。然而，随着人口老龄化和生活方式的变化，脑健康问题日益突出，很多神经系统疾病威胁着大脑健康，如脑卒中、癫痫、阿尔茨海默病等。神经功能状态解码方法以神经信号测量、神经功能表征和功能状态识别为核心，可用于脑健康预防和脑疾病诊疗，服务于医疗和教育等行业，开展神经功能状态解码方法突破与应用研究具有重要的社会经济效益。

本项目拟解决的关键科学问题是：如何建立人体生理信息与神经功能状态之间的精准映射模型？围绕该科学问题，开展了“神经信号数据校正—神经功能模式表征—神经功能状态识别”的全链条研究。

科学发现 1（神经信号数据校正）：神经信号采集过程中主要会受到眼电、肌电和运动伪迹的干扰。传统的神经信号数据校正方法主要关注的是如何去除干扰伪迹信号，常常会导致真实神经信号的保留能力退化。针对这一问题，本项目通过对神经信号中的干扰伪迹成份进行频率上的定位，再对定位到的噪声频段进行伪迹去除，最后通过无噪声频带和去噪频段的融合进行神经信号重构，可以保证在去除干扰伪迹成份的同时最大程度的保留原始的真实神经信号，从而获取高保真的神经信号数据。

科学发现 2（神经功能模式表征）：神经功能状态能够通过被采集的神经信号等人体生理信息来进行客观反映。传统的神经信号特征提取方法主要是通过单通道信号的时域和频域分析来进行，导致多脑区间的协同耦合特征无法表征。针对这一问题，本项目通过对高保真神经信号进行滤波器组分析处理实现信号的频域自适应分解，再通过时变自回归模型分析处理实现神经信号的时域自适应建模，可以获得反映大脑协同耦合工作的自适应脑网络信息流程图，从而实现神经功能状态的完整表征。

科学发现 3（神经功能状态识别）：神经功能状态识别可用于脑健康预防和脑疾病诊疗，具有重要的社会经济效益。传统的神经功能状态识别主要是基于临床量表和医生的经验判断，导致状态识别的主观性强不准确。针对这一个问题，本项目通过对反映神经功能状态的自适应脑网络表征进行人工智能分析，从而建立精准的人体生理信息—神经功能状态映射模型。

四、客观评价

【限2页。围绕科学发现点的原创性、公认度和科学价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价内容要有客观依据，主要包括国内外同行在重要学术刊物（专著）和重要国际学术会议等公开发表的学术性评价意见，国内外重要科技奖励等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。】

所提出的神经功能转态解码算法引起了国内外的高度关注和好评：（1）悉尼大学生物医学工程学院副院长 Omid Kavehei 教授指出候选人通过结合双变量经验模态分解和基于 Hilbert 的平均相位相干性作为附加特征，“进一步改进了癫痫发作预测方法”（Neural Networks, 2018, 105: 104-111）；（2）加拿大工程院院士、不列颠哥伦比亚大学教授 Z. Jane Wang 评价候选人提出的算法“对非平稳生物医学信号进行分析的鲁棒性更高”（IEEE TIM, February 2018, 67(2): 359-370）；（3）美国国家发明家科学院院士，美国明尼苏达大学教授 Keshab K. Parhi 认为候选人提出的信息流地形图方法进行脑疾病检测“具有临床可行性”（IEEE TBME, 2023, 70(8): 2475-2485）；（4）IEEE TFS 主编、IEEE Fellow、南澳大利亚大学 Chin-Teng Lin 教授评价候选人的研究“在识别癫痫患者的癫痫发作起始区方面取得了良好的效果”（IEEE TNSRE, 2021, 29:1774-1783）。

五、代表性论文专著目录
(不超过 8 条, 其中代表性论文不超过 5 篇, 代表性专著不超过 3 部)

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷 页码 (xx 年 xx 卷 xx 页)	发表 时间	通 讯 作 者	第 一 作 者	国内作 者	他 引 总 次 数	检索数 据库	知识 产权 是否 归国 内所 有
1	The Removal of EOG Artifacts from EEG Signals Using Independent Component Analysis and Multivariate	IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics	Gang Wang, Chaolin Teng, Kuo Li, Zhonglin Zhang, Xiangguo Yan	2016 年 第 20 卷 第 5 期 第 1301 至 1308 页	2016 年	王刚	王刚	王刚, 滕超淋, 李扩, 张仲林, 闫相国	115	Web of Science 核心合集	是
2	Epileptic Seizure Detection in Long-Term EEG Recordings by Using Wavelet-Based Directed Transfer Function	IEEE Transactions on Biomedical Engineering	Dong Wang, Doutian Ren, Kuo Li, Yiming Feng, Dan Ma, Xiangguo Yan, Gang Wang	2018 年 第 65 卷 第 11 期 第 2591 至 2599 页	2018 年	王刚	王栋	王栋, 任都甜, 李扩, 冯一鸣, 麻聃, 闫相国, 王刚	75	Web of Science 核心合集	是

3	Seizure Prediction Using Directed Transfer Function and Convolutional Neural Network on Intracranial EEG	IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering	Gang Wang, Dong Wang, Changwang Du, Kuo Li, Junhao Zhang, Zhian Liu, Yi Tao, Maode Wang, Zehong Cao, Xiangguo Yan	2020 年第 28 卷 第 12 期 第 2711 至 2720 页	2020 年	王刚, 闫相国	王刚	王刚, 王栋, 杜昌旺, 李扩, 张君浩, 刘治安, 陶怡, 王茂德, Zehong Cao, 闫相国	77	Web of Science 核心合集	是
4	Correntropy-based robust multilayer extreme learning machines	Pattern Recognition	Chen Liangjun, Paul Honeine, Qu Hua, Zhao Jihon, Sun Xia	2018 第 84 卷 第 357 至 370 页	2018 年	孙霞	陈梁骏	陈梁骏, 曲桦, 赵季红, 孙霞	39	Web of Science 核心合集	是
5	Structural networks analysis for depression combined with graph theory and the properties of fiber tracts via diffusion tensor imaging	Neuroscience Letters	Kaizhong Zheng, Huaning Wang, Jiaming Li, Baoyu Yan, Jian Liu, Yibin Xi, Xi Zhang, Hong Yin, Qingrong Tan, Hongbing Lu, Baojuan Li	2019 年第 694 卷 第 34 至 40 页	2019 年	卢虹冰, 李宝娟	郑凯中	郑凯中, 王化宁, 李佳铭, 燕宝玉, 刘健, 席一斌, 张曦, 印弘, 谭庆荣, 卢虹冰, 李宝娟	13	Web of Science 核心合集	是

6											
7											
8											
合 计											
补充说明（视情填写）：											

六、主要完成人情况表

姓 名	王刚	排 名	1
行政职务	副主任		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： <div>提出了频率定位引导的多模态数据校正技术和反映大脑协同耦合工作的自适应脑网络信息流分析方法。</div>			

姓 名	陈梁骏	排 名	2
行政职务	副主任		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： <			

姓 名	郑凯中	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	助理教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>提出了基于图论分析的白质拓扑属性研究方法，并探索了白质纤维束完整性与抑郁症患者大脑拓扑特征之间的关系；揭示了关键脑区的拓扑特征差异，并发现下纵束和扣带束在抑郁症患者中出现损伤，为抑郁症的神经机制提供了新的视角。</p>			

姓 名	陶怡	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	无		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>提出了一种结合有向传递函数与卷积神经网络的颅内脑电图癫痫发作预测新方法。</p>			

姓 名	闫相国	排 名	5
-----	-----	-----	---

行政职务	无
技术职称	教授
工作单位	西安交通大学
完成单位	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>提出了一种结合有向传递函数与卷积神经网络的颅内脑电图癫痫发作预测新方法。</p>	

七、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>从 2011 年起，西安交通大学在国内率先开展神经功能状态解码研究。在本项目中，组织实施了在神经信号数据校正、神经功能模式表征、神经功能状态识别等方面的重要科学发现。该项目针对神经信号采集过程中的干扰噪声、多脑区间的协同耦合特征无法表征和神经功能状态识别的主观性强不准确等问题，开展了“神经信号数据校正—神经功能模式表征——神经功能状态识别”的全链条研究，形成了一套完整的神经功能状态解码方法，可用于脑健康预防和脑疾病诊疗，服务于医疗和教育等行业，开展神经功能状态解码方法突破与应用研究具有重要的社会效益。</p>	

完成人合作关系说明

王刚、陶怡和闫相国合作开展了通过深度学习人工智能方法建立精准的人体生理信息—神经功能状态映射模型的研究。王化宁、王刚和闫相国合作开展了基于近红外的神经功能状态识别模型的研究。郑凯中和王化宁开展了基于共激活模式分析的动态功能连接方法研究。郑凯中和陈梁骏开展了可解释性人工智能算法模型的研究。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作时间	合作成果	证明材料
1	论文合著	王刚（1），陶怡（7），闫相国（10）	2018.3	Seizure Prediction Using Directed Transfer Function and Convolution Neural Network on Intracranial EEG	论文
2	论文合著	王化宁（3），王刚（4），闫相国（6）	2016.9	Probing prefrontal cortex hemodynamic alterations during facial emotion recognition for major depression disorder through functional near-infrared spectroscopy	论文
3	论文合著	郑凯中（1），王化宁（2）	2015.9	Incapacity to control emotion in major depression may arise from disrupted white matter integrity and OFC - amygdala inhibition	论文
4	论文合著	郑凯中（1），陈梁骏（3）	2020.11	BPI-GNN: Interpretable brain network-based psychiatric diagnosis and subtyping	论文
5					
.....					

(不限 条目)					