

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	神经系统跨尺度动力学机理及大脑认知行为研究
主要完成人	吴莹；王荣；独盟盟；李佳佳；林盘；周律
主要完成单位	西安交通大学 西安科技大学

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 checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
提名意见：			
<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）

姓 名			
专家类型	<input type="checkbox"/> 国家最高科学技术奖获得者 <input type="checkbox"/> 中国科学院院士 <input type="checkbox"/> 中国工程院院士 <input type="checkbox"/> 国家科学技术奖获奖项目第一完成人（需注明获奖等次） <input type="checkbox"/> 省最高科学技术奖获奖人（或 xxxx 年省科学技术最高成就奖、xxxx 年基础研究重大贡献奖获奖人） <input type="checkbox"/> Xxxx 年省科学技术奖第一完成人（需注明获奖等次）	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖及以上
责任专家	<input type="checkbox"/> 是 <input type="checkbox"/> 否		
提名意见：			
<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>			

三、项目简介

脑科学是二十一世纪全球关注的热点问题，欧洲、美国和日本都先后启动了脑科学研究计划，我国 2021 年也发布科技创新 2030—“脑科学与类脑研究”计划，提出了“脑认知原理解析”与“认知障碍相关重大脑疾病发病机理”重大研究需求。大脑由数以亿计的神经元通过突触连接构成错综复杂的动态网络系统，内部区域的神经活动相对独立，从而支持特异性的局部功能，比如运动区和视觉区等，功能系统间相互耦合，进行信息的传递与整合，进而产生高级认知功能。脑神经系统具有多层次、多尺度特征，因此必须跨尺度研究神经元、功能系统间复杂的交互耦合作用及整个网络系统，才能全面揭示脑认知原理和脑疾病发病机理。该研究既属于国际前沿领域，又瞄准了国家重大需求。

在国家自然科学基金持续资助下，项目组历经十余年，从神经元、功能系统以及全脑网络三个层次，对脑认知原理及神经疾病发病机理进行了跨尺度研究。发表 SCI 论文 50 余篇，包括 Proceedings of the National Academy of Sciences, Physical Review Letters 等领域顶级期刊，其中 5 篇代表作被 SCI 期刊正面引用 562 次，他引 179 次。成果被科学网等媒体报道，阅读量达 2 万余次，受到国内外同行广泛认可。

成果获评省优秀博士学位论文 1 项、省自然科学优秀学术论文二等奖 1 项，国际互联网+大学生创新创业大赛省银奖。成果第二完成人入选 2022 年陕西省普通高校“青年杰出人才”。成果孵化了脑创智能-脑网络数字分析系统，已得到中国人民解放军神经外科研究所、西安交通大学医学部等多家医院和科研单位使用，并列入全球知名脑电生产商 Neuroscan 国内代理网上销售序列，产生了很好经济效益。

成果研究属于非线性动力学、复杂网络与脑科学交叉领域，主要创新成果如下：

1. 神经元尺度：实验发现大脑并不是神经元的独奏，胶质细胞参与调控神经元放电。基于非线性动力学方法，考虑胶质细胞钾离子通道、胶质递质谷氨酸代谢等因素，建立了定量刻画胶质细胞调控神经元放电的新理论模型。揭示了胶质细胞诱发癫痫放电的动力学机制，提出了癫痫治疗的新靶点。印度学者 Natarajan Sriraam 教授明确指出“Du 等人所构建的非线性神经胶质细胞模型可以预测和识别癫痫放电”，美国学者 Markus Terrey 高度评价：“Du 等人的研究发现了星形胶质细胞和小胶质细胞离子泵和通道可以作为癫痫发作期间过量细胞外离子缓冲系统，并具有抗癫痫特性”。

2. 功能区域尺度：内源性细胞连接拓扑结构和外源性环境变化导致神经集群放

电呈现显著不同的动力学行为。考虑胶质细胞缝隙连接拓扑结构、以及磁辐射和温度等因素，建立了海马 CA1 功能区的胶质细胞-神经元耦合系统动力学新模型；揭示了胶质细胞缝隙连接受损诱发神经癫痫放电和磁辐射抑制神经元兴奋性的机理，为磁辐射调控神经性疾病提供了理论基础。欧洲科学院院士、欧洲科学与艺术学院院士 Matjaž Perc 教授强调“Li 的研究工作表明，电磁场可以影响生命体的生化反应”，解放军总院张军教授高度评价：“Du 等人的研究确定了星形胶质细胞介导的钾离子空间缓冲机制对体内钾离子平衡恢复至关重要”。

3. 全脑网络尺度：脑功能系统通过相互耦合才能产生高级认知功能。考虑神经系统多层次、多尺度的特征，建立了基于特征模态的脑网络分析新理论；证明了健康年轻人大脑静息态时处于功能性平衡状态，揭示了功能性平衡形成的动力学机理及其支持大脑产生丰富认知功能的机理。基于脑复杂网络分析新技术，给出儿童注意力缺陷多动症（ADHD）患者网络异常特征指标，揭示了大脑不同功能网络对视觉刺激的特异性响应。美国国家科学院院士、美国艺术与科学院院士 Ken A. Dill 评价：分离与整合平衡能够实现功能约束和能量约束之间的最佳权衡，欧洲科学院院士 Guido Caldarelli 教授，认为本工作提供了一种被广泛认可的事实，欧洲科学院院士 Yicheng Zhang 等人在长篇综述性论文（Phys. Rep., 2020, 846: 1-66）中，对该工作进行了深度解读。

本项目提出的脑网络模态分析方法对神经疾病特征提取更为有效，研究成果为癫痫抑制和治疗提供了新的理论和靶点，解决了临床 ADHD 患者缺少快速诊断量化指标的问题，具有重要的潜在临床应用价值。

四、客观评价

对本项目发现点 1 的评价：

1. 美国学者 Markus Terrey 在知名期刊 Neurobiology of Disease 杂志上发表论文对发现点 1 高度评价：“Du 等人的研究发现了星形胶质细胞和小胶质细胞离子泵和通道可以作为癫痫发作期间过量细胞外离子的缓冲系统，并提供抗癫痫特性”。

2. 美国学者 Benjamin Geier 在知名期刊 Neurobiology of Disease 杂志上发表论文对发现点 1 高度评价：“Du 等人的研究发现了神经胶质细胞在离子缓冲中发挥着重要作用，将 K⁺缓冲与致病事件联系起来”。

3. 浙江中医药大学陈忠教授课题组在著名期刊 nature communications 杂志上发表论文对发现点 1 正面评价：“Du 等人的研究发现星形细胞 Kir4.1 在癫痫发作中对细胞外 K⁺缓冲很重要”。

4. 土耳其学者 Enes Akyuz 在知名期刊 Neuroscience Research 杂志上发表论文对发现点 1 高度评价：“Du 等人的研究建立了一个新的包含星形胶质细胞缝隙连接的星形胶质细胞-神经元网络模型，用于检测 K⁺缓冲。在这个模型中，减少星形胶质细胞 Kir4.1 通道表达或减少星形胶质细胞之间的缝隙连接强度会导致兴奋性增加和自发神经元放电”。

5. 印度学者 Natarajan Sriraam 教授对发现点 2 正面评价：“Du 等人所构建的非线性神经胶质模型可以预测和识别癫痫放电”。

6. 解放军总院张军教授在著名期刊 Neural Regeneration Research 杂志上发表论文对发现点 2 高度评价：“Du 等人的研究确定了星形胶质细胞介导的钾离子空间缓冲机制对体内钾离子平衡恢复至关重要”。

对本项目发现点 2 的评价：

1. 欧洲科学院院士、欧洲科学不艺术学院院士 Matjaž Perc 教授在非线性动力学领域著名期刊 Nonlinear Dynamics 上发表的论文对发现点 1 正面评价：“基于 Li 等人的研究结果，电磁场会影响生命体的生化反应”。

2. 欧洲科学院院士，爱丁堡皇家学会通讯院士 Juergen Kurths 教授在其研究成果 Physical Review E 中评价：Li 提出星形胶质细胞介导的突触外谷氨酸动力学方程，为我们理解三项突触的特定动力学机制做出了重要贡献。

3. 解放军总院张军教授在著名期刊 Neural Regeneration Research 杂志上发表

论文对发现点 2 高度评价：“Du 等人的研究确定了星形胶质细胞介导的钾离子空间缓冲机制对钾离子平衡恢复至关重要”。

对本项目发现点 3 的评价：

1. 美国国家科学院院士、美国艺术与科学院院士 Ken A. Dill 教授评价发现点 3 人发现的分离与整合平衡能够实现功能约束和能量约束之间的最佳权衡：“Tuning the balance between extensive global signaling, referred to as integration, and limited local signaling, referred to as segregation, optimally compromises between functional and energetic constraints (Bullmore & Sporns, 2012; Cohen & D’Esposito, 2016; Manza et al., 2020; Wang et al., 2021)”。

2. 欧洲科学院院士 Guido Caldarelli 教授，认为本工作提供了一种广泛认可的事实：“we confirm the well-known fact that a hierarchical-modular organization allows for the emergence of an excellent integration/segregation trade-off: segregated information remains trapped in local modules but can travel across the entire network enabling the integration of information between the different modules [65 - 67]”（文献 66 为代表作 2，65 和 67 均为综述性文章）。

3. 欧洲科学院院士 Yicheng Zhang 等人在长篇综述性论文中，对该工作进行了深度解读：“Very recently, Wang et al. [224] applied the eigenmode analysis to reveal the hierarchical modular structural connectome in the brain, which allows a nested functional segregation and integration across multiple spatio-temporal scales”。

4. 洛桑大学教授、大脑“连接组”提出者 Patric Hagmann 受到该工作的启发：“We have been inspired by the fact that functional integration and segregation are strongly related to connectome harmonics (Wang et al., 2019)”，开展了系列神经活动形成机理研究（NeuroImage, 2021, 244: 118611; NeuroImage, 2023, 280: 120337; Clin. Neurophysi, 2023）。

5. 德国法兰克福大学 Christian Fiebach 教授对发现点 3 正面评价：“Lin 等人首次开展了 ADHD 患者大脑复杂网络重组的科学问题”。“The first graph-theoretical investigations of ADHD-related network organization (Lin et al., 2014; Barttfeld et al., 2014)”

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	Segregation, integration, and balance of large-scale resting brain networks configure different cognitive abilities	Proceedings of the National Academy of Sciences	Rong Wang, Mianxin Liu, Xinhong Cheng, Ying Wu, Andrea Hildebrandt, Changsong Zhou	2021 年 118 卷 e202288 118 页	2021-06-08	Andrea Hildebrandt, Changsong Zhou	Rong Wang, Mianxin Liu	王荣, 刘绵辛, 成昕鸿, 吴莹	248	SCI	是
2	Hierarchical Connectome Modes and Critical State Jointly Maximize Human Brain Functional Diversity	PHYSICAL REVIEW LETTERS	Rong Wang, Pan Lin, Mianxin Liu, Ying Wu, Tao Zhou, Changsong Zhou	2019 年 123 卷 0383 01 页	2019-07-15	Ying Wu, Changsong Zhou	Rong Wang	王荣, 林盘, 刘绵辛, 吴莹, 周涛	115	SCI	是
3	Suppression of firing activities	NONLINEAR	Jiajia Li, Shaobao Liu, Weiming	2016 年 83 卷 801-8	2016-01-01	Ying Wu	Jiajia Li	李佳佳, 刘	63	SCI	是

	in neuron and neurons of network induced by electromagnetic radiation	DYNAMICS	Liu, Yuguo Yu, Ying Wu	10 页				少宝, 刘伟明, 于玉国, 吴莹			
4	Global and local brain network reorganization in attention-deficit/hyperactivity disorder	Brain Imaging and Behavior	Pan Lin, Jubao Sun, Gang Yu, Ying Wu, Yong Yang, Meilin Liang, Xin Liu	2014 年 08 卷 558-569 页	2014-12-01	Pan Lin	Pan Lin, Jubao Sun	林盘, 孙聚葆, 喻罡, 吴莹, 杨勇, 梁美琳, 刘馨	93	SCI	是
5	Astrocytic Kir4.1 channels and gap junctions account for spontaneous epileptic seizure	PLOS COMPUTATIONAL BIOLOGY	Mengmeng Du, Jiajia Li, Liang Chen, Yuguo Yu, Ying Wu	2018 年 14 卷 e1005877	2018-03-01	Yuguo Yu, Ying Wu	Mengmeng Du	独盟盟, 李佳佳, 陈亮, 于玉	43	SCI	是

								国，吴莹			
6	胶质细胞调控 神经系统癫痫 发放的动力学 机制	学术 专著	吴莹，李佳 佳，独盟盟， 于羊羊	2023	202 3.0 2						是
7	基于特征模态 与分层模块的 脑功能模式特 征提取方法	专利	王荣，常昭	2023	202 3.0 9.0 8			王荣，常昭			是
8	大脑网络动力 学数字化分析 软件	软著	范永晨，周 律，吴莹	2022	202 2.0 9.2 7			范永晨，周律，吴莹			是
合 计											
补充说明（视情填写）：											

六、主要完成人情况表

姓 名	吴莹	排 名	1
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		

对本项目主要学术贡献：

负责项目的规划、组织和实施，成果发表 SCI 论文近 100 篇，发明专利和软著 10 项。成果代表作 2, 3, 5 的通讯作者，代表作 1 和 4 的主要完成人，专著第一主编，主要知识产权的通讯作者。从神经元和功能系统层面，研究了胶质细胞调控神经元放电以及诱发癫痫等异常放电的动力学机理，首次构建了考虑 kir4.1 通道的胶质细胞模型；从全脑网络层面，研究了大脑结构网络支持功能网络实现信息处理和认知的动力学机理，首次提出基于特征模态的脑复杂网络分析理论。成果孵化了脑网络数字分析系统（BrainMat），已投入使用，BrainMat 适用范围广、数据信息利用率高、应用门槛低的优点，可以真正面向多学科用户提供服务，有巨大市场应用前景。

姓 名	王荣	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学、西安科技大学		

对本项目主要学术贡献：

代表作 1, 2 的主要完成人。建立了基于特征模态思想的大脑复杂网络分析理论；提出了刻画大脑分离与整合平衡的指标，证明了健康年轻人大脑在静息态时处于分离与整合的平衡状态，该平衡状态支持了大脑丰富认知能力的形成；揭示了大脑结构网路的分层模块化特性提供了一种固有的分离与整合的能力，而大脑临界动力学行为可以最大化的激发这种固有能力，产生最丰富的功能连接模式，以维持分离与整合的平衡；采用随机矩阵理论分析视觉刺激的神经机理，发现视觉刺激下，任务正网络更加随机，而任务负网络更加规则。

姓 名	独盟盟	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	讲师		

工作单位	陕西科技大学
完成单位	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>代表作 5、6 主要完成人。揭示了胶质细胞缝隙连接异常诱发癫痫放电活动的机理；发现了胶质细胞缝隙连接功能异常会导致胞外钾离子缓冲延迟，进而诱发神经元产生自发性癫痫放电；构建了首个胶质细胞依赖门控的 Kir4.1 通道模型，揭示了星形胶质细胞 Kir4.1 通道调控神经系统钾离子浓度的变化规律，以及 Kir4.1 通道异常诱发神经元网络癫痫放电的机理。</p>	

姓 名	李佳佳	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 代表作 3、6 的主要完成者。揭示了外源性电磁辐射调控下神经元放电分岔规律，发现了电磁辐射抑制神经元放电的机理；揭示了电磁辐射调控神经网络行波传播规律，证明了电磁辐射抑制神经网络信息传递的机理；揭示了胶质细胞谷氨酸振荡异常调控神经元癫痫放电状态的转迁规律，发现了胶质细胞转运体异常参与癫痫发作的机理。			

姓 名	林盘	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	正高级		
工作单位	湖南师范大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 代表作 4 主要完成人。采用复杂网络分析新技术研究 ADHD 患者脑机制，发现 ADHD 患者的大脑功能网络拓扑性显著改变，整体效率显著降低，最短路径长度增长，网络的模块化程度显著提高，同时节点的局部效率和聚类效应增强；揭示了 ADHD 患者的大脑功能网络整体与局部拓扑属性异常而造成患者注意力降低、多动等症状的机理。			

姓 名	周律	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	工程师		
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： 知识产权 2 的参与者。该项目集成了动态大脑功能矩阵建立及分离整合动态指标计算等多种功能。应用滑动时间窗的方法，计算神经信号序列之间的相关性，建立动态大脑功能连接，进一步进行模块分析及分离整合计算。通过划分功能连接矩阵各阶模块，判断大脑处于分离整合的程度，统计认知功能相关的脑网络动力学特征参数。			

七、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
对本项目主要学术贡献： 成果主要完成单位	

单位名称	西安科技大学
对本项目主要学术贡献： 代表作 1 的完成单位	

完成人合作关系说明

代表作 1: 王荣, 吴莹

代表作 2: 王荣, 吴莹, 林盘

代表作 3: 李佳佳, 吴莹

代表作 4: 林盘, 吴莹

代表作 5: 独盟盟, 李佳佳, 吴莹

代表作 6: 吴莹, 李佳佳, 独盟盟

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	吴莹（排名第一）， 王荣（排名第二）	2012-至今	Segregation, integration, and balance of large-scale resting brain networks configure different cognitive abilities	
2	论文合著	吴莹（排名第一）， 王荣（排名第二）， 林盘（排名第五）	2012-至今	Hierarchical Connectome Modes and Critical State Jointly Maximize Human Brain Functional Diversity; Spectral properties of the temporal evolution of brain network structure	
3	共同知识产权	吴莹（排名第一）， 李佳佳（排名第四）	2012-至今	Suppression of firing activities in neuron and neurons of network induced by electromagnetic radiation	
4	论文合著	吴莹（排名第一）， 林盘（排名第五）	2012-至今	Global and local brain network reorganization in attention-deficit/hyperactivity disorder	
5	论文合著	吴莹（排名第一）， 独盟盟（排名第三）， 李佳佳（排名第四）	2012-至今	Astrocytic Kir4.1 channels and gap junctions account for spontaneous epileptic seizure	
6	学术专著合著	吴莹（排名第一）， 独盟盟（排名第三）， 李佳佳（排名第四）	2012-至今	胶质细胞调控神经系统癫痫发放的动力学机制	
7	共同知识产权	吴莹（排名第一）， 周律（排名第六）	2019-至今	突触活动调控神经网络放电计算软件； 大脑网络动力学数字化分析软件	

