

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	金属丝电爆炸等离子体物理及应用
主要完成人	石桓通，王亚楠，魏文赋，晁攸闯，李兴文
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		提名等级	<input 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：			
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。			

三、项目简介

金属丝电爆炸等离子体物理是 Z 箍缩惯性约束聚变、核爆辐射 X 射线环境模拟与武器物理、含能纳米材料等国家安全领域及煤油气资源储层改造、极高瞬态热负荷产生等前沿科技领域的科学基础，重点研究不同材料金属丝在纳秒到微秒时间尺度、数千安到数十兆安脉冲大电流作用下的熔化、汽化、电离等相变与多相共存现象，以及产生的极端高温高压、强辐射、强冲击波等复杂瞬态效应，涉及脉冲功率与等离子体、核科学与技术、物理学、材料学等多个学科。科学问题研究难度大、面临激烈的国际竞争和严格封锁；战略必争性强、必须体系化自主可控和创新发

展。本项目历时 10 年，在国家自然科学基金重大项目、优秀青年科学基金项目、国家重点研发计划项目等持续支持下，与多个专业研究院所交叉融合、协同创新，创建了金属材料多相态物性参数的计算方法体系和数据库，提出了真空、气氛、水中金属丝电爆炸物理与数学模型，揭示了电爆炸等离子体与环境介质耦合机制，支撑了多台套相关科学实验装置的研制，已在西北机电工程研究所、中科院合肥物质科学研究院等多家科研院所与企业获得应用，产生了显著经济社会和效益。

项目获授权中国发明专利 10 项，在国际会议做特邀报告 6 次。基于项目成果出版了专著《放电等离子体基础及应用》《金属丝电爆炸物理与应用》。项目培养国家杰出青年科学基金获得者 1 名、国家优秀青年科学基金获得者 2 名，博士后创新人才支持计划入选者 2 人。培养博士生 15 名、硕士生 27 名，其中 7 名研究生获国家奖学金、3 名博士生获国家自然科学基金青年学生基础研究项目（博士研究生）。

依托陕西省“三秦学者”创新团队及科技部高端外国专家引进计划团队项目等，形成了多学科交叉、具有较大国际影响力的研究团队，持续引领金属丝电爆炸的基础理论和应用技术创新发展。

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。】

（1）代表性论文 1：IEEE Fellow、美国光学学会 Fellow、美国太平洋西北国家实验室 Harilal 发表在《*Applied Physics Reviews*》上题为“Optical spectroscopy of laser-produced plasmas for standoff isotopic analysis”的论文引用认为是研究羽等离子体影响因素的代表性成果之一，“The role...on plume hydrodynamics”。

（2）代表性论文 1：发展中国家科学院院士、俄罗斯沃罗涅日国立大学首席科学家 Ganeev 发表在《*Optics and Spectroscopy*》上题为“Strong third-order optical Nonlinearities of the Ag, Ni, Ti, and Co nanoparticles synthesized during laser ablation of bulk metals in liquids”的论文中指出：阐明了等离子体演化的决定性因素“demonstrated...strongly depends”。

（3）代表性论文 2：美国国家发明家学会 (NAI) Fellow、IEEE Fellow、美国威斯康辛大学麦迪逊分校 Bulent Sarlioglu 教授发表在《*IEEE Transactions on Transportation Electrification*》题为“Two-Phase Immersion Cooling of High-Performance Electric Traction Motors”的论文指出采用两相相变散热技术可以显著提升高功率密度场景传热系数，提升散热效能 (...can achieve notably higher heat transfer coefficients (HTCs) compared to alternative forced cooling methods ... intensively investigated the two-phase cooling for various applications...)。

（4）代表性论文 3：2002 年法国国家科学研究院铜奖获得者、国家科学研究中心主任、洛林大学材料科学研究实验室主任 Thierry Belmonte 教授发表在《*Journal of Applied Physics*》上题为“Synthesis of nanomaterials by electrode erosion using discharges in liquids”的论文中，认为是金属丝电爆炸合成纳米颗粒方面的“开创性工作” (... seminal works as breakthroughs in the topic. ... For electrical wire explosion, see Refs. 22 and 111.)。

（5）代表性论文 4：英国皇家工程院院士、IET Fellow、拉夫堡大学 Bucur Novac 教授发表在《*The Journal of the Acoustical Society of America*》上题为“Experimental studies and simple numerical modeling of underwater electric discharges”的论文中，强调了“达到的 10% 冲击波能量转化效率远高于水间隙放电、非常高效” (...during the EW action the efficiency of energy conversion ...is estimated to be more than 10%, as presented elsewhere.⁴⁴ This is a high efficiency when compared with only 1.8% for the plasma discharge)。

（6）代表性论文 5：IEEE Fellow、以色列理工学院等离子体和脉冲功率实验室主任 Krasik Ya. E 教授发表在《*Physics of Plasmas*》题为“Peculiarities of planar

shockwave interaction with air-water interface and solid target”的论文引用“水中金属丝电爆炸可用于引燃含能材料提高冲击波强度”(UEWE can be applied for various applications, such as... **ignition of energetic materials**, etc.⁵⁻¹²)。

(7) **代表性论文 5**: 美国国家发明家学会 (NAI) Fellow、石油工程协会 (SPE) 杰出成员、休斯顿大学石油工程系主任 Mohamed Soliman 教授共 6 次引用本项目研究成果, 特别是发表在《*Geoenergy Science and Engineering*》题为“Experimental, analytical and numerical study of the electromagnetic field distribution in pulsed power plasma stimulation (PPPS)”的论文指出**脉冲功率产生重复可控冲击波致裂是水力压裂的潜在替代方案** (Controllable Repeated Shock Wave Stimulation ... have been considered as potential **alternatives to hydraulic fracturing** especially in unconventional tight reservoirs and shale ...)。

2.2 其他评价

(1) 专著《放电等离子体基础及应用》, 被清华大学、四川大学等作为课程教材。

(2) 石桓通入选人社部“博士后创新人才支持计划”, 魏文赋获国家优秀青年基金, 晁攸闯入选国家级高层次青年人才计划, 王亚楠入选 Wiley 中国开放科学高贡献作者, 李兴文获国家杰出青年基金和“IEEE Ragnar Holm 科学成就奖”。

(3) 项目完成人石桓通受邀做国际会议大会特邀报告 4 次: 1) 第 30 届等离子体科学与技术会议, 基于丝爆等离子体调控的低阻抗杆箍缩二极管 X 射线源 (2024 年, 捷克); 2) 第 14 届等国际离子体纳米科学与技术会议, 丝爆法合成铝基纳米颗粒的实验与数值模拟研究 (2020 年, 日本); 3) 第 48 届国际等离子体科学会议, 基于水中丝爆驱动含能材料的冲击波源及其应用 (2021 年, 美国)。4) 第 31 届真空放电及电气绝缘国际会议 (2025 年, 中国)。项目完成人李兴文受邀做国际会议大会特邀报告 2 次: 1) 第 22 届国际气体放电与应用会议, (2018, 塞尔维亚); 2) 第 23 届等离子体化学国际论坛 (2017 年, 加拿大)。

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 influence of spot size on the expansion dynamics of nanosecond-laser-produced copper plasmas in atmosphere	Journal of Applied Physics	Li Xingwen, Wei Wenfu, Wu Jian, Jia Shenli, Qiu Aici	2013 年 13 卷 1-6 页	2013-06-28	Wu Jian	Li Xingwen	李兴文, 魏文赋, 吴坚, 贾申利, 邱爱慈	71	Web of Science	是
2	Application of Two-Phase Immersion Cooling Technique for Performance Improvement of High Power and High Repetition Avalanche Transistorized Subnanosecond Pulse Generators	IEEE Transactions on Power Electronics	Wang Yanan, Ren Linyuan, Yang Zihao, Deng Zichen, Ding Weidong	2022 年 37 卷 3024-3039 页	2021-09-09	Wang Yanan	Wang Yanan	王亚楠, 任林渊, 杨子豪, 邓子琛, 丁卫东	27	Web of Science	是

3	Understanding the nanoparticle formation during electrical wire explosion using a modified moment model	PLASMA SOURCES SCIENCE & TECHNOLOGY	Shi Huantong, Wu Jian, Li Xingwen, Murphy AB, Li Xudong, Li Chen, Li Penghui	2019 年 28 卷 1-12 页	2019-08-14	Li Xingwen	Shi Huantong	石桓通, 吴坚, 李兴文, 陈立, 李旭东, 李鹏辉	19	Web of Science	是
4	Study of the shock waves characteristics generated by underwater electrical wire explosion	Journal of Applied Physics	Li Xingwen, Chao Youhuang, Wu Jian, Han Ruoyu, Zhou haibin, Qiu Aici	2015 年 118 卷 1-8 页	2015-07-14	Li Xingwen	Li Xingwen	李兴文, 晁闯, 吴坚, 韩若愚, 周海滨, 邱慈	38	Web of Science	是

5	Generation of Electrohydraulic Shock Waves by Plasma-Ignited Energetic Materials: I. Fundamental Mechanisms and Processes	IEEE TRANSACTIONS ON PLASMA SCIENCE	Han Ruoyu, Zhou Haibin, Liu Qiaojue, Wu Jiawei, Jing Yan, Chao Youchuang, Zhang Yongmin, Qiu Aici	2015 年 43 卷 3999-4008 页	2015-08-25	Han Ruoyu	Han Ruoyu	韩若愚, 周海滨, 刘巧珏, 吴佳玮, 景龔, 攸闯, 张永民, 邱爱慈	36	Web of Science	是
6	放电等离子体基础及应用	/	李兴文, 吴坚, 贾申利	/	2017 年 2 月	/	李兴文	李兴文, 吴坚, 贾申	/	/	是
7											
8											
合 计									191	Web of Science	是
补充说明（视情填写）：											

六、主要完成人情况表

姓 名	石桓通	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		
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>对本成果的主要贡献在于发现点 1-4，是代表性论文 3 的第一作者。在真空电爆炸方面，研制了紧凑型闪光照相装置，通过金属丝电爆炸等离子体使传统真空间隙二极管阻抗降低 2 个数量级，实现 X 射线辐射剂量提升 1-2 个数量级。在气氛电爆炸方面，阐明了爆炸产物膨胀过程中做功、辐射、与介质混合等能量耗散方式，揭示了离子诱导成核与相变潜热对纳米颗粒形成过程的影响机制。在水中电爆炸方面，发展了水环境下驱动源与爆炸丝耦合的自洽流体数值模拟程序，为相关物理过程和负载优化提供了基础条件。</p>			

姓 名	王亚楠	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		
对本项目主要学术贡献： 对本成果的主要贡献在于发现点 2，是代表性论文 2 的通讯作者和第一作者。研发了高重频固态脉冲功率驱动电源，提出基于相变散热的高热流密度高效散热方法，显著提高了脉冲电源输出参数和可靠性；掌握了高重频脉冲功率驱动源与毛细管放电参数匹配特性，发展了重频射流装置输出等离子体参数调控方法。			

姓 名	魏文赋	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	教授		

工作单位	西南交通大学
完成单位	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>对本成果的主要贡献在于发现点 1、2。在金属丝电爆炸等离子体与气体氛围相互作用方面，获得了等离子体羽在空气介质中的膨胀过程与结构演化规律，揭示了能量注入方式对等离子体演化的影响机理，支撑实现了金属丝均匀气化与质量分布的主动调控。</p>	

姓 名	晁攸闯	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	哈尔滨工业大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 对本成果的主要贡献在于发现点 4。在电爆炸等离子体与水介质相互作用方面，建立了微秒量级水中金属丝电爆炸仿真模型，阐明了放电等离子体通道边界轨迹演化规律与能量沉积效率影响因素，支撑实现了冲击波幅值、冲量与能量的精准调控。			

姓 名	李兴文	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		
对本项目主要学术贡献： 对本成果的主要贡献在于发现点 3、4，是代表性论文 3、4 的通讯作者，代表性论文 1、4 的第一作者。指导本项目开展不同环境下电爆炸等离子体与介质相互作用机理与驱动源的能量耦合规律研究。			

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>（1）建立了高时空分辨等离子体诊断系统，掌握了金属材料多相态物性数据，实现了不同介质中丝爆过程自洽模拟；（2）提出了真空电爆炸等离子体质量分布与阻抗调控方法，研制了高亮度紧凑型低阻抗 X 射线闪光照相装置；（3）揭示了电爆炸瞬态热负荷环境下的传热传质机制，研制了基于金属丝电爆炸驱动毛细管放电的 ELM 瞬态高热符合等价模拟系统；（4）阐明了电爆炸等离子体与水、含能材料的相互作用机理。</p>	

完成人合作关系说明

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	石桓通 1/李兴文 3	2019.08	Understanding the nanoparticle formation during electrical wire explosion using a modified moment model	代表性论文 3
2	论文合著	李兴文 1/魏文赋 2	2013.06	The influence of spot size on the expansion dynamics of nanosecond-laser-produced copper plasmas in atmosphere	代表性论文 1
3	论文合著	李兴文 1/晁攸闯 2	2015.07	Study of the shock waves characteristics generated by underwater electrical wire explosion	代表性论文 2
4	项目研发与装备研制、应用合作	李兴文 1/王亚楠 3/石桓通 5	2021.11	第一壁材料热负荷考核装置及钨基材料烧蚀特性研究	应用证明（中国合肥物质科学研究所）
5	项目研发与装备研制、应用合作	李兴文 3/石桓通 5	2018.01	重频金属丝电爆炸制备铝纳米粉装置	应用证明（近代化学研究所）