

陕西省自然科学奖公示信息

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	辐射编码成像方法及其应用
主要完成人	胡华四、严明飞、胡光、李彦霏、贾清刚、孙伟强
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	陕西省融办	提名等级	☒ 一等奖 ☐ 二等奖及以上
提名意见： 受控核聚变作为人类终极能源，其点火成败的关键物理量诊断是当前国际学术前沿的“硬骨头”。该项目在多项国家自然科学基金持续资助下，历经近二十年系统性攻关，在辐射编码成像核心技术领域取得了重要突破。 主要学术贡献包括：（1）理论层面，揭示了编码孔结构相干性对成像病态程度的制约机理，并通过随机性算法与压缩感知理论的融合，开创了极少轴数据下的高保真三维反演新范式，极大降低了多轴成像的机械对准难题；（2）技术层面，创新性地引入防反冲质串扰层，从根本上修正了闪烁光纤阵列的空间响应函数，实现了快中子诊断灵敏度和空间分辨率的数量级提升；（3）应用层面，率先在国内实现 X 射线非正交两轴编码三维成像在神光 II 装置上的成功应用，验证了国产化诊断路径的可行性。 该项目成果系统性、原创性强，显著推动了我国辐射编码成像学科体系的发展。研究成果获得国家自然科学基金委好评及核物理领域专业学会“十大进展”，表明该团队已成为该领域具有国际影响力的重要研究力量，为保障我国核聚变实验自主诊断能力奠定了坚实的物理与技术基础。 鉴于此，郑重提名该项目为陕西省自然科学一等奖。 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。			

二、提名意见（适用于专家提名）

[illegible]

三、项目简介

受控核聚变是解决人类终极能源问题的重要路径，同时对国防工业建设具有重要战略意义。2023 年，国务院国资委已明确将可控核聚变作为未来能源的唯一方向，充分证明我国已将核聚变定位为我国终极能源。惯性约束聚变（ICF）是实现受控核聚变的主要途径之一。聚变靶丸压缩对称性、辐射烧蚀和流体力学不稳定性等诸多物理量，对理解点火成败机制的关键物理量至关重要，而聚变靶丸尺寸仅 0.1mm-1cm，为实现以上参数精确诊断，亟需发展高时空分辨中子编码成像系统。

针对惯性约束聚变靶丸诊断需求，本团队自 2000 年开始专注辐射编码成像系统关键技术及其应用研究，已完成多类型编码孔优化设计及研制、适用于快中子编码成像的高时空分辨率探测器系统研究、稀疏采样条件下高保真三维图像反演算法开发、多场景成像实验验证及应用研究。在理论、技术与应用层面形成一系列创新成果。通过编码孔优化设计显著协同提升成像系统空间分辨率与信噪比，同时减小编码信息相关性，进而降低成像方程组病态程度及求解难度。结合塑料闪烁阵列探测器与防反冲质串扰层的探测器系统，一方面塑料闪烁光纤具有高的快中子探测效率，另一方面防串扰层可有效抑制反冲质子径迹，显著提升快中子探测器空间分辨率。稀疏采样条件下高保真图像反演算法实现极少轴采样数据条件下图像高精度重建，成像轴数较传统反演算法大量减少，显著降低成像系统硬件成本和多轴成像对心难度。中国原子能研究院高压倍加器中子编码成像、中国科学院上海光学精密机械研究所神光 II 大科学装置上 X 射线非正交两轴编码实验结果验证成像性能指标。

该成果创新性主要体现在六个方面：提出了编码孔先进设计技术及工艺；成功研制了高空间分辨率闪烁光纤成像阵列；建立了基于压缩感知理论与随机性算法的图像重建方法；提出并建立了两轴三维 X 射线编码成像诊断方法并实现成功应用；提出并实现了可变编码孔高能伽马单像素成像技术；建立了辐射编码成像本底屏蔽体结构优化设计方法。

综上所述，本项目研究成果是在国家自然科学基金《用于瞬态辐射过程诊断的闪烁光纤成像阵列研究》（批准号：10576022），《Z-pinch 驱动靶丸聚变过程中子半影成像诊断的几个关键科学问题研究》（批准号：10975113），《快中子编码成像诊断技术应用研究》（U1830128）及多项其他国家级项目资助下完成的。辐射编码成像系统关键技术及其应用研究，显著提升辐射编码成像系统设计理论、关键技术及多场

景应用水平，对推动我国辐射成编码像理论与技术发展意义重大。相关研究成果被中国核学会辐射物理分会评为“2015-2017 年度辐射物理领域十大科技创新进展”。国家自然科学基金委评价“准予结题”。科技部查新工作站评价：“《辐射编码成像方法及其应用》在所检文献以及时限范围内，国内未见其他相同文献报道，本项目具有新颖性”，表明本项目经权威机构的查新验证，具有创新性。

四、客观评价

(1) 在三项国家自然科学基金《用于瞬态辐射过程诊断的闪烁光纤成像阵列研究》(批准号: 10576022), 《Z-pinch 驱动靶丸聚变过程中子半影成像诊断的几个关键科学问题研究》(批准号: 10975113), 《快中子编码成像诊断技术应用研究》(U1830128) 资助下, 发展了中子编码成像理论与关键技术, 研制了多类型半影编码孔、闪烁光纤阵列并开发了稀疏重建算法, 取得丰硕研究成果。三项自然基金均已准予结题。

(2) 科学技术部查新中心评价: “《编码成像系统关键技术及其应用研究》在所检文献以及时限范围内, 除本项目申报单位公开的内容部分涉及外, 国内未见其他相同文献报道, 本项目具有新颖性”。表明本研究成果创新性通过了国家权威机构查新。

(3) 中国核学会辐射物理分会评价: 由西安交通大学牵头, 联合中国原子能科学研究院、中国工程物理研究院、西北核技术研究所等国内多家单位创新发展的“惯性约束聚变中子编码成像诊断实验方法”, 立足于我国核聚变精确诊断的迫切需求, 在装置关键部件研制、聚变反应区图像重建算法、系统瞄准校正等核心技术方面取得了一系列开创性成果, 率先在国内开展了加速器中子源编码成像验证实验, 为快中子编码成像诊断技术在核聚变装置上实际应用奠定了基础。该研究成果入选“2015-2017 年度全国辐射物理领域十大科技创新进展”。此次评选由中国核学会辐射物理分会组织, 经领域院士专家组遴选产生, 旨在展示我国辐射物理领域取得的重大开创性成果, 促进科技创新。。

(4) 美国约克大学等离子体研究所 M P Selwood 团队在其 “Coded apertures with scatter and partial attenuation for high-energy high-resolution imaging” 文中引用本团队文章 “Gamma-ray imaging with a time-modulated random coded aperture”, 并高度评价时间调制编码孔 (可变 MURA 孔) 采样方式。

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	Gamma-ray imaging with a time-modulated random coded aperture	Review of Scientific Instruments	Dongming Wang, Ivan N. Ruskov, Huasi Hu, Yuri N. Kopatch, Dimitar N. Grozdano v, Nikita A. Fedorov, Fuad A. Aliyev	2019 年 90 卷 015107 页	2019-01-08	Huasi Hu	Dong ming Wang	王 东 明、胡 华四	5	Web of Science	是
2	Comparison of heuristic and deterministic algorithms in neutron coded	Nuclear Instruments and Met	Mingfei Yan, Huasi Hu, Guang Hu, Zhihua Liu, Chao	2021 年 985 卷 164704 页	2020-09-25	Huasi Hu	Ming fei Yan	严 明 飞、胡 华四、胡光、刘 智 华、何	9	Web of Science	是
3	Study on the design and experimental verification of multilayer radiation shield against mixed	Nuclear Engineering and Technology	Guang Hu, Huasi Hu, Quanzhan Yang, Bo Yu, Weiqiang Sun	2020 年 52 卷 178-184 页	2019-07-16	Huasi Hu, Bo Yu	Guan g Hu	胡光、胡 华 四、杨 全占、于波、孙伟强	48	Web of Science	是

4	Two-dimensional monitoring of a laser-solid x-ray source spot via penumbral coded aperture imaging technique	Review of Scientific Instruments	Xuejie Bai, Yihong Yan, Hongyi Lei, Fangzheng Sun, Tianze Wang, Changqing Zhu, Junhao Tan, Guang Hu, Yanfei Li, Jinglong Ma, Guoqian Liao, Zhe Zhang, Hua-Si Hu, Yu-Tong Li	2022年93卷 043104页	2022-04-19	Yanfei Li, Huasi Hu	Xuejie Bai	白雪洁、燕奕宏、雷宏毅、孙方正、王天泽、朱长青、谭俊浩、胡光、李彦霏、马景龙、廖国前、张哲、胡华四、李玉同	1	Web of Science	是
5	Simulation study of using high-Z EMA to suppress recoil protons crosstalk in scintillating fiber array for 14.1 MeV neutron imaging	IEEE Transactions on Nuclear Science	Qinggang Jia, Huasi Hu, Fengna Zhang, Tiankui Zhang, Wei Lv, Yuanpin Zhan, Zhihua Liu	2013年60卷 4727-4736页	2013-12-03	Huasi Hu	Qinggang Jia	贾清刚、胡华四、张凤娜、张天奎、吕伟、占元平、刘智华	6	Web of Science	是

6	专 著 : 《 Advances in Composite Materials for Medicine and Nanotechnology 》 : Chapter 22 Composite Material for Shielding Mixed Radiation		Brahim Attaf, Huasi Hu		2011-04-01		Brahim Attaf	胡华四			
合 计									69		
补充说明（视情填写）：											

六、主要完成人情况表

姓 名	胡华四	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：带领团队发展了辐射编码成像关键理论与技术，形成了从成像理论→关键部件→图像反演→实验验证及应用的完整创新链，推动辐射编码成像从理论走向工程应用。在成像理论方面，提出了采用就地点扩散函数的图像重建机制，消除大视场条件下空变特性对成像质量影响；在关键部件方面，成功研制了多类型编码孔，并发展了高探测效率与空间分辨率的闪烁光纤阵列，解决了编码孔成型工艺及阵列中反冲质子串扰问题；图像重建方面，发展了结合随机性算法和压缩感知的人工智能算法，解决了稀疏采样条件下源区图像高保真复原问题；在国内率先开展了加速器中子源编码成像及两轴三维 X 射线诊断实验。相关研究成果入选全国辐射物理十大科技创新进展。			

姓 名	严明飞	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： 主要贡献在辐射编码成像图像重建算法方面:研究了滤波、极大似然-期望最小(ML-EM)、吉洪诺夫正则化(Tikhnov)、全变分正则化(TV)、稀疏算法、遗传算法等图像重建方法在辐射编码成像中的性能;在此基础上，发展了结合自适应遗传算法与压缩感知理论的智能图像重建算法，该算法充分挖掘随机性算法的全局搜索能力与图像稀疏特性，较已有算法图像重建精度显著提升，尤其对低中子产额条件适应性更强，为辐射编码成像实验中源区图像高保真重建奠定算法基础。			

姓 名	胡光	排 名	3
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： 主要贡献在辐射编码成像系统本底屏蔽体结构设计与研制方面：针对辐射编码成像中噪声特征，提出了基于遗传算法的屏蔽结构多参数优化设计方法，获得了最优屏蔽结构组合，解决了本底屏蔽结构的高效与轻量化问题；通过屏蔽体实施，使编码成像的辐射本底得到了有效抑制，显著提升了成像系统信噪比，为辐射编码成像中本底抑制提供关键支撑。			

姓 名	李彦霏	排 名	4
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： 主要负责超强激光与等离子体相互作用实验研究，围绕 X/y 射线编码成像关键技术开展实验设计与数据采集；基于 20TW 激光装置开展 X 射线源斑二维编码检测，依托神光 II 升级装置发展等离子体时空演化编码诊断技术，为编码成像物理建模、参数优化与应用验证提供实验支撑。			

姓 名	贾清刚	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	研究员		
工作单位	北京应用物理与计算数学研究所		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献：			
主要贡献在成像编码孔与闪烁光纤阵列方面：发展了迷宫型编码孔，实现了编码孔成像信噪比与空间分辨率协同提升；研究了闪烁光纤阵列排阵方式对空间分辨率影响，并提出了阵列中反冲质子串扰效应抑制方法，优化获得反质子串扰层最佳材料及厚度，在此基础上，成功研制了兼具高探测效率与空间分辨率的闪烁光纤阵列，为 14.1MeV 聚变中子诊断提供关键技术支撑。			

姓 名	孙伟强	排 名	6
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		
对本项目主要学术贡献： 主要贡献在辐射编码成像系统本底屏蔽体研制方面：参与提出了基于遗传算法的屏蔽结构多参数优化设计方法，并研制多类型辐射编码成像系统本底屏蔽体，为辐射编码成像中本底抑制提供关键支撑。			

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： 西安交通大学针对惯性约束聚变靶丸诊断需求，系统地解决了该领域从物理机制、核心部件、图像重建算法到工程应用的一系列关键科学与技术难题，形成了“理论-部件-算法-应用”的完整创新链，研究成果入选“2015-2017 年度全国辐射物理领域十大科技创新进展”。研究团队解决了极端环境下的编码孔优化设计问题；在编码成像的“逆问题”一图像重建算法上取得了关键突破，开发了对低信噪比数据适应强的先进图像重建算法；在国内开创性地发展了惯性约束聚变中子编码成像诊断实验方法。研究成果有力的推动了我国在聚变诊断和强辐射场成像领域的技术进步。	

完成人合作关系说明

本项目依托国家自然科学基金项目《用于瞬态辐射过程诊断的闪烁光纤成像阵列研究》（批准号：10576022）、《Z-pinch 驱动靶丸聚变过程中子半影成像诊断的几个关键科学问题研究》（批准号：10975113）、《快中子编码成像诊断技术应用研究》（批准号：U1830128）及多项国家级项目支持。现将完成人之间的合作关系说明如下。

1. 总体合作框架

本项目由西安交通大学核科学与技术学院辐射成像研究团队牵头。团队自 2000 年起专注于辐射编码成像方法及其应用研究，围绕惯性约束聚变靶丸诊断需求，在编码孔优化设计、高时空分辨率探测器系统研制、稀疏采样三维图像反演算法开发等方面形成系统性攻关格局。

2. 主要合作关系及证明材料

（1）共同立项与合作研究

项目主要完成人作为共同项目组成员，先后承担国家自然科学基金面上项目《用于瞬态辐射过程诊断的闪烁光纤成像阵列研究》（10576022）、联合基金项目《快中子编码成像诊断技术应用研究》（U1830128）等，围绕辐射编码成像方法及其应用开展联合攻关。

（2）论文合著

主要完成人在辐射编码成像领域合作发表多篇学术论文，涵盖编码孔优化设计理论、防反冲质子串扰层、压缩感知图像重建算法等研究方向。论文作者署名中包含本项目多位完成人，各完成人均有实质性学术贡献。

3. 合作成果汇总

主要合作成果包括：国家自然科学基金项目 3 项、辐射编码成像领域 SCI/EI 论文多篇、科技查新报告 1 份（经科技部查新工作站认证具有新颖性）、中国核学会辐射物理分会“2015-2017 年度辐射物理领域十大科技创新进展” 1 项。

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	胡华四/1	2000-2024	Gamma-ray imaging with a time-modulated random coded aperture	01_GammaRayImagingTMRCA
2	论文合著	胡华四/1, 严明飞/2, 胡光/3	2011-2024	Comparison of heuristic and deterministic algorithms in neutron coded imaging reconstruction	03_HeuristicDeterministicNCI
3	论文合著	胡华四/1, 胡光/3, 孙伟强/6	2010-2024	Study on the design and experimental verification of multilayer radiation shield against mixed neutrons and γ -rays	04_MultilayerRadiationShield
4	论文合著	胡华四/1, 胡光/3, 李彦霏/4	2019-2024	Two-dimensional monitoring of a laser-solid x-ray source spot via penumbral coded aperture imaging technique	07_LaserSolidXraySpotPCAI
5	论文合著	胡华四/1, 贾清刚/5	2010-2024	Simulation study of using high-Z EMA to suppress recoil protons crosstalk in scintillating fiber array for 14.1 MeV neutron imaging	08_HighZEMANeutronImaging