

2025 年度四川省技术发明奖

项目名称	高约束性能准环对称仿星器关键技术		
提名者	西南交通大学	提名意见	同意提报 2025 年度四川省技术发明奖
项目简介	<p>受控磁约束核聚变是人类彻底解决能源安全、环境污染与气候变化等全球性挑战，获取终极清洁能源 的关键路径。仿星器由于具有稳态运行、更安全、寿命更长等固有优势而成为国际上可控核聚变技术研究 的主流之一。准环对称仿星器旨在结合仿星器无电流稳态运行和托卡马克优良约束性能的双重优点，成为 当前仿星器研究中最前沿、最具潜力的方向。项目组在国家重点研发计划、国家重点基金、四川省重大科 技基础设施等项目支持下，攻克了准环对称仿星器极致的磁场位形优化设计、超高精度非平面模块化线圈 和异形构件形变控制等核心系统的设计、制造及装配等系列关键技术，取得了以下三项重大发明：</p> <p>1. 发明了高约束性能准环对称仿星器磁场位形构建及优化方法，解决了传统仿星器“新经典输运损失”高的难题，大幅提升了等离子体的约束性能；</p> <p>2. 发明了超高精度非平面模块化线圈的设计和制造方法，提出了“无极向面扭曲”线圈优化设计方案以及“模具型面补偿”等一系列创新工艺，使模块化线圈制造精度满足设计要求，且优于目前世界上最先进的德国 W7-X 仿星器线圈的制造精度；</p> <p>3. 发明了一套基于多物理场耦合的形变控制系统及集成技术，提出了空间多自由度调节的形变控制方法及叶片式柔性支撑结构，使磁场位形误差小于万分之一，解决了高约束性能准环对称仿星器的高精度集成问题。</p> <p>上述发明已成功应用于我国首台准环对称仿星器大科学装置的研制中，完成了高精度三维非平面模块 化线圈的加工制作，制造误差范围为 $-0.983 \sim +0.768 \text{ mm}$，优于目前世界上最先进的德国 W7-X 仿星 器线圈的加工误差 ($\pm 1 \text{ mm}$)，并通过测试平台在国际上首次实现了超高精度准环对称磁场位形，磁场 位形误差为 5.6×10^{-5}，该结果为当前世界上由模块化线圈产生的最高精度的“准环向对称”磁场位形。以 上发明亦已推广应用于其它聚变装置。</p> <p>该项目授权发明专利 22 项，其中美国专利 1 项，撰写仿星器位形设计标准 1 项。发表相 关 SCI/EI 论文 43 篇。</p> <p>项目成果得到了以张维岩院士和林海青院士为组长的专家组高度认可，认为：“该项目成果整体技术达到国际先进水平，其中，准环对 称磁场位形优化方法和高精度非平面模块化线圈设计制造工艺及形变控制集成技术达到国际领先水平”。此外， 本项目成果也获得了国际能源署“仿星器-螺旋器”技术合作组织的高度评价，并将“高精度准环对称磁 场位形”列为 2024 年度五大关键成果之一。国内新华社、科技日报、人民日报等主流媒体对准环对称仿星 器测试平台（CFQS-T）所取得的阶段性成果进行了报道，认为 CFQS-T 的成功运行开辟了“稳态磁约束聚变 装置”磁场位形优化的新途径，使我国在仿星器研究领域实现了跨越式发展。</p>		

<p>主要知识 产权和标 准规范等 目录</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 一种准环对称仿星器磁场位形的设计方法, ZL202110487394.8, 许宇鸿, 刘海峰, 王先驱, 李杨波, 程钧, 黄捷, 刘海, 张欣, 徐俊铭, 唐昌建 2. 一种仿星器线圈结构的优化方法, ZL202010874297.X, 刘海峰, 李杨波, 许宇鸿, 熊国臻, 罗杨, 刘金茂, 唐昌建 3. 一种仿星器线圈固定系统, ZL202210359881.0, 许宇鸿, 熊国臻, 刘海峰 4. DIAGNOSTIC METHOD AND SYSTEM FOR MEASURING POTENTIAL AND ELECTRIC FIELD OF PLASMA, US12255056B2, Yuhong Xu, Danni Wu, Yucai Li, Haifeng Liu, Jun Cheng, Junfeng Shen, Hai Liu, Xianqu Wang, Jie Huang, Xin Zhang, Jun Hu, Wei Li 5. 防止仿星器三维模块化线圈因受电磁力而变形的的设计方法, ZL202210370852.4, 许宇鸿, 许峻铭, 刘海峰, 熊国臻, 罗杨, 张欣 6. 一种准环对称仿星器中三维平衡磁岛的抑制方法及系统, ZL202410269095.0, 王先驱, 符添, 许宇鸿, 苏祥, 程钧, 刘海峰, 张欣, 黄捷, 刘海, 沈军 峰, 胡军, 兰恒, 宣伟民, 唐昌建 7. 准环对称仿星器磁岛偏滤器位形下优化热沉积方法及系统, ZL202411245260.5, 张欣, 李晓龍, 崔子麟, 许宇鸿, 刘三秋, 王先驱, 刘海峰, 刘海, 胡军, 栗钰彩, 吴丹妮, 程钧, 常相辉, 唐昌建, 李恒, 朱怡亲 8. 一种 1T 准环对称仿星器的水冷装置及其控制方法, ZL202411829964.7, 张欣, 郑华清, 乔振, 尹大鹏, 胡军, 吴信莲, 许宇鸿, 常相辉, 王先驱, 刘海峰, 刘海, 程钧, 唐昌建 9. 用于准环对称仿星器的第一壁及其设计方法, ZL202211221891.4, 张欣, 朱怡亲, 许宇鸿, 王先驱, 刘海峰, 黄捷, 刘海, 程钧, 胡军, 沈军峰, 唐昌建, 罗杨, 熊国臻, 李恒, 苏祥, 崔子麟, 李晓龍 10. 三维仿星器真空磁场位形中磁力线示踪模拟方法, ZL202410459344.2, 刘海峰, 刘希睿, 许宇鸿, 程钧, 王先驱, 黄捷, 张欣, 刘海, 沈军峰, 胡军, 兰恒, 栗钰彩, 宣伟民, 唐昌建
<p>论文专著 等目录</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. A general comparison between tokamak and stellarator plasmas / <i>MATTER AND RADIATION AT EXTREMES</i> / Yuhong Xu 2. Magnetic configuration and modular coil design for the Chinese First Quasi-axisymmetric Stellarator/<i>Plasma Fusion Research</i> / Haifeng LIU, Akihiro SHIMIZU, Mitsutaka ISOBE, Shoichi OKAMURA, Shin NISHIMURA, Chihiro SUZUKI, Yuhong XU, Xin ZHANG, Bing LIU, Jie HUANG, Xianqu WANG, Hai LIU, Changjian TANG, Dapeng YIN, Yi WAN, CFQS team. 3. Optimization of finite-sized modular coils for advanced stellarators / <i>Plasma Phys. Control. Fusion</i> / Yangbo Li, Haifeng Liu1, Yuhong Xu, Akihiro Shimizu, Shigeyoshi Kinoshita, Shoichi Okamura, Mitsutaka Isobe, Guozhen Xiong, Yang Luo, Jun Cheng, Hai Liu, Xianqu Wang, Jie Huang, Xin Zhang, Dapeng Yin, Yi Wan and Changjian Tang 4. Preliminary design and analysis of the CFQS supporting structure / <i>Fusion Engineering and Design</i> / Guozhen Xiong, Yuhong Xu, Akihiro Shimizu, Shigeyoshi Kinoshita, Haifeng Liu, Mitsutaka Isobe, Dapeng Yin, Yi Wan, Shoichi Okamura, Takanori Murase, Sho Nakagawa, Hai Liu, Xin Zhang, Changjian Tang, CFQS team 5. Construction progress of the Chinese First Quasi-axisymmetric Stellarator (CFQS) and preliminary experimental results on the CFQS-Test device / <i>Plasma Phys. Control. Fusion</i> / J Cheng, Y Xu, H F Liu, X Q Wang, W M Xuan, J Huang, H Liu, X Zhang, J F Shen, J Hu, H Lan, Y C Li, W Li, H Zhou, J R Shao, A Shimizu, M Isobe, S Okamura, M Shoji, K Ogawa, D Yin, C Tang and the CFQS team

主要完成人	姓名	许宇鸿	刘海峰	王先驱	程钧	张欣	季小全	张寿彪
	排名	1	2	3	4	5	6	7
	技术职称	教授	教授	教授	教授	副教授	研究员	研究员
	工作单位	西南交通大学	西南交通大学	西南交通大学	西南交通大学	西南交通大学	核工业西南物理研究院	中国科学院合肥物质科学研究院
	完成单位	西南交通大学	西南交通大学	西南交通大学	西南交通大学	西南交通大学	核工业西南物理研究院	中国科学院合肥物质科学研究院
主要完成单位	西南交通大学，合肥科烨电物理设备制造有限公司，核工业西南物理研究院，中国科学院合肥物质科学研究院							