

陕西省科学技术进步奖提名书

(2026年度)

一、项目基本情况

项目名称	海洋核动力系统极端工况关键热工安全特性分析技术及应用
主要完成人	田文喜，张魁，严锦泉，张亚培，刘展，王明军，刘镒，章静，王煦嘉，丁阳
主要完成单位	西安交通大学，上海核工程研究设计院股份有限公司

二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	中共陕西省委军民融合发展委员会办公室	提名等级	☒ 一等奖 ☐ 二等奖及以上 ☐ 三等奖及以上
提名意见： 建设海洋强国是实现中华民族伟大复兴的重大战略任务，海洋核动力装备是突破“岛链”封锁、实现远海作业的根本途径。不同于陆地核反应堆，海洋核动力系统面临恶劣海况、紧凑空间、动静模式等复杂环境，传统热工安全分析方法无法满足海洋运动条件热工安全分析核心技术要求。 该项目面向海洋核动力研发重大战略需求，针对海洋核动力系统极端工况热工安全关键现象机理复杂、预测精度低、多场多模型跨尺度耦合难等难题，开展了海洋条件下汽泡动力学与流动沸腾机理、关键热工安全限值、严重事故堆芯熔池传热特性、复杂系统多场跨尺度耦合等研究，形成了海洋核动力系统极端工况热工水力安全分析理论体系，研制了试验装置与软件平台，实现了海洋条件堆芯沸腾临界、流动失稳与压力容器失效边界等热工安全限值的精确预测。成果应用于中国核动力研究设计院、中广核研究院有限公司、上海核工程研究设计院股份有限公司、中船集团第七一九研究所、中国人民解放军 92609 部队、核反应堆技术全国重点实验室等多家单位，应用于某型号核动力装置、CAP50T 等国防军工型号及海上小型堆“华鲲一号”等重大核电工程设计和安全分析。 该项目获授权发明专利 27 项、软著 9 项，出版专著 1 部，发表学术论文 26 篇，牵头制定并发布标准 2 项。项目团队获批国防科技创新团队，培养一批领军骨干人才，创办了核工程领域国内高校首个国际期刊 JANDT，引领了我国海洋核动力热工安全关键技术研究发展和应用，形成显著的国防、经济和社会效益。 我单位认真阅读了该项目的提名书及附件材料，确认全部材料真实有效。 提名该项目为陕西省科学技术进步一等奖。 说明：省科学技术奖一、二、三等奖项目，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，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。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

本项目属核科学与技术学科领域。

建设海洋强国是实现中华民族伟大复兴的重大战略任务。海洋核动力系统运行在复杂海洋运动环境，其关键热工安全现象如两相流动沸腾、流动失稳等机理复杂，呈现出跨尺度、多相态、多物理场耦合的复杂过程特征，传统经验关系式、模型与软件无法精确揭示海洋条件复杂热工水力关键现象机理，无法准确预测新型核动力堆芯窄缝流道临界热流密度等关键热工安全限制边界。海洋核动力系统热工安全关键分析技术是世界核电强国竞相角逐的前沿制高点，美俄等西方国家严密封锁，必须独立自主研发。

提升核动力装置航速的核心技术瓶颈在于精确预测海洋条件燃料组件沸腾临界、流动失稳与压力容器失效边界等热工安全限值，关键技术难点为：1) 极端海况高温高压非线性强瞬态环境，给核燃料异形流道汽液相变与复杂热质传输行为精确预测带来巨大挑战；2) 压力容器熔池行为是多组分多相场动态演变过程，叠加恶劣海洋环境影响使其失效边界难以精确诊断；3) 海洋核动力系统空间跨度大，从毫米级局部汽泡行为到十米级动态自反馈系统多场跨尺度耦合难以实现。因此，亟需开展海洋运动条件极端工况核动力系统热工安全特性影响研究。

本项目在国家自然科学基金、西安市科技计划项目及三大核电集团横向课题支持下，经十余年攻关，从海洋条件下气泡动力学复杂行为机制、新型核动力堆芯窄缝流道沸腾临界机理、堆芯压力容器下封头内熔池动态演变行为出发，研发了海洋核动力系统热工水力安全分析先进理论模型、自主分析软件与测试装置，成功应用于我国多个型号海洋核动力装置。主要创新点如下：

1) 研发了海洋条件大变形气泡动力学与复杂汽液流动沸腾分析技术。开发了海洋条件气泡复杂形貌演变与动力学机理模型、海洋条件过冷沸腾蒸汽冷凝相界面传热传质理论模型，建立了基于动网格/粒子法分析技术的海洋条件气泡动力学行为模拟方法，研制了海洋条件气泡动力学行为验证装置，实现了海洋条件大变形气泡动力学特征的高精度、快速率预测。研制了首个六自由度运动条件螺旋管内流动换热试验装置，揭示了海洋条件对螺旋管内两相沸腾换热特性的影响机理。（核科学与技术学科，专利：ZL201910126635.9、ZL201811557615.9 等）

2) 研发了海洋条件极低流速全尺寸异形通道安全限值精准判定技术。研制了技术参数国际领先、首个六自由度运动条件 1:1 等温等压全尺寸非均匀热流异形窄缝通道临界热流密度试验装置，解决了自然循环系统堆芯冷却剂流向反转与零流量工

况标准/跟随板燃料元件与棒状燃料元件沸腾临界发生位置精确预测瓶颈难题，揭示了倾斜、摇摆、升潜、复杂耦合运动及热流分布等关键热工参数对异形窄缝流道临界热流密度的影响机理，建立了首个考虑极低流速回流冷凝效应的运动条件沸腾临界理论模型。（核科学与技术学科，专利：ZL202111396438.2、US11894153B2 等）

3) 研发了海洋条件下封头熔池多组分多相场动态演变行为分析技术。研制了首个海洋条件双层熔池对流搅浑二维可视化试验装置、首个海洋条件三维高温熔池传热特性试验装置，揭示了摇摆运动减弱熔池热分层并强化熔池对流传热的机制，填补了海洋条件熔池向下封头壁面传热试验数据库和关系式的空白，关键特征参数熔池瑞利数达到工程量级 10^{13} ，较国际同类装置提高 10 倍。研发了摇摆条件下封头熔池对流传热模拟技术，解决了海洋条件严重事故高温熔池多组分多相态传热安全评价难题。（核科学与技术学科，专利：ZL201811289027.1、ZL201811291074.X 等）

4) 研发了海洋条件复杂系统-部件-单元-局部跨尺度耦合求解技术。创建了从局部气泡受力到系统多物理场的多模型跨尺度耦合方法，开发了完全自主产权的海洋核动力系统热工安全关键行为高精度分析软件，首次综合考虑流动失稳与沸腾临界建立了海洋核动力系统堆芯热工安全边界。软件对临界热流密度预测误差小于 12%，精度优于传统经验关系式；动态自反馈条件自然循环工况流动不稳定性预测误差小于 10%，较传统方法预测精度提升 50%。（核科学与技术学科，专利：ZL202310670152.1、US12087457B2 等）

成果获 2023 年中国核学会技术发明一等奖，授权发明专利 27 项、软件著作权 9 项、国家出版基金专著 1 部，发表 SCI 论文 26 篇，牵头制定并发布标准 2 项。项目研发的软件与装置入选生态环境部核与辐射安全中心共享合作协议，成果应用于中国核动力研究设计院、中广核研究院有限公司、中船集团第七一九研究所、中国人民解放军 92609 部队、上海核工院、核反应堆技术全国重点实验室等多家单位，应用于某型号核动力装置、CAP50T 等国防军工型号及海上小型堆“华鲲一号”等重大核电工程设计和安审，为我国海洋核动力系统热工安全关键现象分析技术自主可控提供重要支持，打破了美俄对我国先进舰船核动力热工安全技术封锁，引领了我国海洋核动力热工安全关键技术研究发展和应用，对提高我国战略核威慑能力、维护中国海洋权益具有重大意义。成果近三年节约开支 0.15 亿元，新增利润 1.49 亿元。

四、客观评价

1. 鉴定意见

2023 年 6 月 9 日,中国核学会组织召开了“海洋条件下核动力系统热工安全特性分析技术及应用”项目科技成果鉴定会,由叶奇臻院士等专家组成的鉴定委员会形成鉴定意见如下:“该项目技术复杂、难度很大,技术上有重大创新,关键技术完全自主可控,整体技术达到国际领先水平,具有显著经济、社会和国防效益”。

2026 年 8 月 12 日,陕西省技术转移中心组织专家委员会对该项目成果的评价意见为:“形成了海洋核动力系统极端工况热工水力安全分析理论体系,成果已推广应用于中国核动力研究设计院、中广核研究院有限公司、中船集团第 719 所、92609 部队等多家单位,应用于某型号核动力装置、CAP50T 及海洋小型堆华鲲一号等重大工程设计和安全分析,为我国海洋核动力系统热工安全分析评价技术自主可控提供重要理论和工具支持,引领了海洋核动力系统热工安全关键分析技术发展及应用”。

2. 获奖情况

1) 项目成果“海洋条件下核动力系统热工安全特性分析技术及应用”获 2023 年中国核学会技术发明一等奖。

2) 极端工况核反应堆燃料元件热工安全行为特性相关研究成果获 2022 年陕西省优秀博士学位论文、2024 年中国核工业教育学会优秀博士学位论文一等奖。

3. 国际同行评价

1) Nucl. Eng. Tech.期刊执行主编、韩国首尔大学核工程系 Hyoung Kyu Cho 教授在多相流传热学国际顶级期刊论文【Int. J. Heat Mass Tran., 2025, 253: 127535】评价项目成果:“揭示了流动失稳是导致摇摆条件 CHF 降低的内在机理”。

2) 美国核学会 Fellow、NURETH Fellow、密歇根大学核工程与放射科学系(核能专业全美排名第一)系主任 Xiaodong Sun 教授在核能领域国际权威期刊论文【Prog. Nucl. Energy, 2021, 138: 103813】评价项目成果:“横向升力推动小尺寸气泡朝管壁移动,大气泡在负方向升力作用下朝管道中心运动”。

3) 美国工程研究咨询机构主任、ASME Fellow、ASHRAE Fellow Mirza M. Shah 教授在核能领域国际权威期刊论文【Nucl. Eng. Des., 2025, 438: 114072】评价项目成果:“揭示了升潜与摇摆运动对 CHF 的影响机制”。

4) 俄罗斯科学院通讯院士、Journal of Engineering Thermophysics 期刊主编、国际热交换中心科学委员会委员 Aleksandr N. Pavlenko 教授在传热领域国际顶级期刊论文【Appl. Therm. Eng., 2023, 232: 120966】将项目成果中的试验数据作为其结果的对比基准,并评价:“相邻管产生的气泡促使上方管湍流增强并破坏管周围热边界层”。

5) 釜山国立大学机械工程系教授、韩国原子能研究院热工水力安全研究部首席研究员 Jeong Jae Jun 在传热领域国际顶级期刊论文【Appl. Therm. Eng., 2026, 286: 129323】评价项目成果:“对理解瞬态 CHF 特性、运动条件诱导沸腾临界现象至关重要”。

4. 用户评价

1) 中核武汉核电运行技术股份有限公司对项目研发的相关软件进行第三方独立测试并评价：“典型通道出口流量、温度分布及进出口压降等关键热工安全参数预测误差小于 5%，证明了软件的准确性与可靠性”。

2) 中国核动力研究设计院第二研究所应用评价：“软件对实验数据预测误差小于 12%，优于传统临界热流密度预测经验关系式（目前广泛使用的 W-3 公式预测精度 23%）。”

3) 核反应堆技术全国重点实验室应用评价：“软件计算值与实验值误差小于 10%，使得动态自反馈条件自然循环工况棒束通道流动失稳预测精度提升 50%。”

4) 中广核研究院有限公司应用评价：“解决了海洋条件自然循环能力、复杂运动条件叠加动态自反馈耦合条件下流动失稳精确预测难题，成果已应用于华鲲一号科技示范工程项目的设计验证，为海洋核动力自然循环系统热工设计及安全运行提供了关键试验数据支撑”。

5) 中国船舶集团有限公司第七一九研究所应用评价：“解决了我国新型船用核动力装置在典型事故下堆芯状态评估及安全准则确定的难题，填补了该领域的空白，支撑了新型船用 H 动力装置系统优化设计和事故缓解策略制定，具有重要的 J 事价值和意义”。

6) 中国人民解放军 92609 部队应用评价：“针对某艇用反应堆堆芯及单棒计算得到的主要参数与设计值（基准值）符合很好，为 XXX 等多个型号反应堆堆芯的核安全技术评审工作提供工具，具有重要的国防意义”。

7) 上海核工程研究设计院股份有限公司应用评价：“应用于海洋核动力装置 CAP50T 热工设计与安全分析，解决了极端海况动态自反馈条件下多环路系统流动失稳行为精确预测技术难题。”、“应用于天红研究堆，为天红堆热工设计与安全审评提供重要试验数据与理论支撑”。

5. 其他评价

1) 由该项目核心研发人员组成的“先进核动力系统热工安全团队”，于 2020 年入选“国防科技创新团队”。

2) 项目团队创办的核工程领域国内高校首个国际期刊《International Journal of Advanced Nuclear Reactor Design and Technology》入选 2025 年中国科技期刊卓越行动计划高起点期刊。

3) 项目第一完成人获 2023 年度国际核工程大会 ICONE（全球核反应堆工程方向规模最大、产学研结合最强的顶级国际会议）长期杰出贡献奖。

4) 项目研发的高温高压六自由度运动平台等试验装置和分析软件入选生态环境部核与辐射安全中心共享合作协议。

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

本项目研发的海洋核动力系统极端工况关键热工安全特性分析技术已应用于中国核动力研究设计院、中广核研究院有限公司、上海核工程研究设计院股份有限公司、中船集团第 719 所、中国人民解放军 92609 部队、核反应堆技术全国重点实验室等多家单位，应用于某型号核动力装置、CAP50T、华鲲一号等国防军工型号和海上小型堆重大核电工程设计和安全分析，为我国海洋核动力系统热工安全分析评价技术自主可控提供重要理论和工具支持。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/固定电话
1	中国核动力研究设计院第二研究所	动态自反馈条件下棒束通道内沸腾临界行为研究	开发了运动条件自然循环工况下棒束通道临界热流密度分析软件，软件对实验数据预测误差<12%，优于传统 CHF 预测经验关系式。	2015 年至今	兰治科 /18117850403
2	中国核动力研究设计院第二研究所	动态自反馈条件下矩形通道内沸腾临界行为研究	开发了运动条件自然循环工况矩形通道沸腾临界计算分析软件，对实验数据预测误差<13%。	2015 年至今	兰治科 /18117850403
3	核反应堆技术全国重点实验室	动态自反馈条件下矩形通道内流动失稳行为研究	开发了精度高、适应性强的动态自反馈条件自然循环系统矩形通道流动失稳瞬态分析程序，程序预测值与实验值误差<11%。	2016 年至今	王云 /17381899201
4	核反应堆技术全国重点实验室	动态自反馈条件下棒束通道内流动失稳行为研究	开发了动态自反馈条件自然循环工况棒束通道流动失稳计算分析程序，软件计算值与实验值误差<10%，使得动态自反馈条件自然循环工况棒束通道流动失稳预测精度提升 50%。	2016 年至今	王云 /17381899201
5	中广核研究院有限公司	海洋条件下自然循环系统流动换热特性试验数据库	应用于华鲲一号，为海洋核动力自然循环系统热工设计及安全运行提供了关键试验数据支撑，具有显著的社会效益和经济效益。	2022 年 1 月至今	孙浩 /13259817517

6	上海核工程研究设计院股份有限公司	运动条件下反应堆设备流固热耦合分析程序开发与验证试验	应用于海洋核动力装置 CAP50T 热工设计与安全分析，解决了极端海况动态自反馈条件下多环路系统流动失稳行为精确预测难题。	2023 年 1 月至今	姚彦贵 /18601728368
7	上海核工程研究设计院股份有限公司	极低流量及运动条件临界热流密度试验	应用于一体化小堆、海洋核动力装置等项目工程，填补了自然循环零流量工况、六自由度运动条件极低流速堆芯临界热流密度试验数据的空白。	2023 年 12 月至今	刘镝 /13488353525
8	上海核工程研究设计院股份有限公司	板式燃料组件 CHF 及可视化试验	应用天红研究堆，填补了正常服役与极端事故工况全尺寸双面非均匀热流板燃料元件临界热流密度试验数据的空白。	2024 年 6 月至今	刘展 /18601729019
9	中国船舶集团有限公司第七一九研究所	船用 H 动力装置系统安全特性及安全准则研究	解决了我国新型船用 H 动力装置典型事故下堆芯状态评估及安全准则确定难题，填补了该领域空白，支撑了新型船用 H 动力装置系统优化设计和事故缓解策略制定，具有重要的工程价值和意义。	2020 年 12 月至今	王强龙 /18007196358
10	中国船舶集团有限公司第七一九研究所	运动条件下核动力系统管壳式换热器数值模型建立方法	该套模型和方法相比国际已有研究处于领先水平，实现了船用核动力装置管壳式换热器运动条件下的安全特性评估，应用于我国某船用核动力装置的设计研发。	2022 年 1 月至今	王强龙 /18007196358
11	中国人民解放军 92609 部队	XX 燃料元件堆芯热工分析模型开发	成果解决了 XX 燃料元件全堆芯流量分配和燃料热量分配的关键性难题，为 XXX 反应堆堆芯的热工水力设计审批提供支撑，具有重要的国防意义。	2015 年 12 月至今	胡高杰 /18010279281
12	西安交通大学出版社	《核动力系统的流动不稳定性》专著	国内第一本针对核动力系统两相流动不稳定性研究的专著，入选了 2019 年度国家出版基金项目“先进核科学技术出版工程”，入选 2025 年度“大学出版好书”。	2025 年 12 月 19 日	田华 /15929482736

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	一种六自由度运动条件下多环路自然循环实验装置及方法	中国	CN112880967B	2021 年 11 月 16 日	4794862	西安交通大学	田文喜；赖智贤；王明军；陈冲；朱志明；章静；秋穗正；苏光辉
2	发明专利	一种六自由度运动条件下窄缝通道可视化实验装置及方法	中国	CN112881386B	2022 年 4 月 5 日	5050623	西安交通大学	张魁；赖智贤；王明军；陈冲；朱志明；章静；田文喜；秋穗正；苏光辉
3	发明专利	一种非能动堆腔注水冷却系统及方法	中国	CN116130123B	2024 年 1 月 12 日	6617798	上海核工程研究院股份有限公司	严锦泉；曹克美；郭宁；付廷造；童旋；金頔；黄高峰；芦苇
4	发明专利	海洋条件下两层流体搅浑过程及传热特性可视化实验系统及方法	中国	CN109473187B	2019 年 8 月 9 日	3486403	西安交通大学	张亚培；罗思民；苏光辉；田文喜；秋穗正；罗琦；余红星
5	发明专利	一种反应堆二次侧非能动余热排出系统和使用方法	中国	CN111430050B	2024 年 6 月 18 日	7114214	上海核工程研究院股份有限公司	刘展；刘镛；王海涛；杨波；曹克美；戚展飞；王伟伟；王章立
6	发明专利	小型核反应堆余排系统取水接管多相流试验系统及方法	中国	CN113447401B	2022 年 6 月 7 日	5212972	西安交通大学	王明军；韩梓超；赖智贤；霍雨辰；秋穗正；苏光辉；田文喜
7	发明专利	导热填料的制备方法、导热填料和导热材料	中国	CN118184196B	2024 年 11 月 22 日	7545360	上海核工程研究院股份有限公司	王煦嘉；李荣博；宋印玺；刘晓强；翁娜；田林；王弘昶；陈其昌；汤春桃；夏栓；杨波；雷云；李玲；石秀

								强; 孟凡江
8	发明专利	Multi-loop natural circulation experimental device under six-degree-of-freedom motion conditions and method therefor	美国	US12087457B2	2024 年 9 月 19 日	US 12,087,457B2	西安交通大学	Wenxi Tian, Zhixian Lai, Mingjun Wang, Chong Chen, Zhiming Zhu, Jing Zhang, Suizheng Qiu, Guanghui Su
9	发明专利	Narrow slit channel visualization experimental device and method under six-degree-of-freedom motion condition	美国	US11894153B2	2024 年 2 月 6 日	US11894153B2	西安交通大学	Kui Zhang, Zhixian Lai, Mingjun Wang, Chong Chen, Zhiming Zhu, Jing Zhang, Wenxi Tian, Suizheng Qiu, Guanghui Su
10	发明专利	适用于反应堆的抗弯曲锆合金及制造方法	中国	CN119979968B	2025 年 8 月 26 日	8068823	上海核工程研究院有限公司	曾奇锋; 王晨; 严锦泉; 李聪; 卢俊强; 丁捷; 周云清; 丁阳; 张鑫涛; 王优

七、主要完成人情况表

姓 名	田文喜	排 名	1
行政职务	能源与动力工程学院副院长、核科学与技术学院院长		
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：			
（1）项目总体负责人，对创新点 1、2、3、4 均有贡献。项目团队中最早开展海洋核动力系统热工安全特性分析，在海洋条件汽泡动力学、沸腾临界与流动失稳热工安全边界关键理论模型、程序开发和验证试验方面均做出贡献。（2）授权发明专利 18 项，获 3 项软件著作权，参与出版专著 1 部，发表 SCI 论文 28 篇。（3）佐证材料：发明专利 CN112880967B、US12087457B2 等。			

姓 名	张魁	排 名	2
行政职务	核科学与技术学院院长助理		
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：			
（2）该项目的重要规划及贡献人，对创新点 1、2、4 做出贡献。研制了全尺寸非均匀热流极低流速堆芯环形窄缝流道临界热流密度试验装置，开发了海洋核动力系统热工安全关键现象模拟分析集成模型和软件平台；研制了热流异形窄缝通道临界热流密度试验装置，揭示了海洋条件对异形窄缝流道临界热流密度的影响机理。（2）授权发明专利 8 项，获 2 项软件著作权，参与出版专著 1 部，发表 SCI 论文 14 篇。（3）佐证材料：发明专利 CN112881386B、US11894153B2 等。			

姓 名	严锦泉	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	研高		
工作单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
完成单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
（1）对发明点 2、3 均有贡献。解决了自然循环系统堆芯冷却剂流向反转燃料元件沸腾临界发生位置精确预测瓶颈难题，研发了摇摆条件下封头熔池对流传热模拟技术，解决了海洋条件严重事故高温熔池多组分多相态传热安全评价难题。（2）授权发明专利 2 项，获 2 项软件著作权。 （3）佐证材料：发明专利 CN119979968B、CN116130123B。			

姓 名	张亚培	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： （1）对发明点 3 做出贡献。研制了首个海洋条件双层熔池对流搅浑二维可视化试验装置、首个海洋条件三维高温熔池传热特性试验装置，揭示了摇摆运动减弱熔池热分层并强化熔池对流传热的机制。（2）授权发明专利 3 项，获 1 项软件著作权，发表 SCI 论文 2 篇。（3）佐证材料：发明专利 CN109473187B、CN109211969B。			

姓 名	刘展	排 名	5
行政职务	所长助理		
技术职称	正高		
工作单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
完成单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
对本项目主要学术贡献： 对创新点 2 做出贡献，研制了等温等压全尺寸双面非均匀热流矩形窄缝通道沸腾临界测试装置，研制了正常服役与极端事故工况全尺寸双面真实热流分布下板状燃料元件临界热流密度试验数据库。（2）授权发明专利 6 项。（3）佐证材料：发明专利 CN111430050B、CN114121313B。			

姓 名	王明军	排 名	6
行政职务	核科学与技术学院党委副书记		
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： 对创新点 1 做出贡献，建立了海洋条件过冷沸腾蒸汽冷凝相界面复杂传热传质模型，实现了海洋条件沸腾过程中汽泡脱离、冷凝、溃灭等大变形演变行为进程的模拟。（2）授权发明专利 7 项，获 1 项软件著作权，发表 SCI 论文 5 篇。（3）佐证材料：发明专利 CN113447401B、CN112880967B。			

姓 名	刘镒	排 名	7
行政职务	无		
技术职称	高工		
工作单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
完成单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
对本项目主要学术贡献： 对创新点 4 做出贡献，建立了海洋附加力模型、自然循环系统模型、子通道模型、并联多通道流动失稳求解模型，开发了海洋核动力系统并联棒束/矩形多通道流动失稳分析软件。（2）授权发明专利 3 项。（3）佐证材料：发明专利 CN111430050B、CN112820425B。			

姓 名	章 静	排 名	8
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： 对创新点 1 做出贡献，研制了海洋条件汽泡动力学行为验证装置，揭示了摇摆条件大密度比汽泡运动速度-尺寸-形状的交互作用机理。（2）授权发明专利 7 项，发表 SCI 论文 1 篇。（3）佐证材料：发明专利 CN112880967B、CN112881386B。			

姓 名	王煦嘉	排 名	9
行政职务	院总工程师		
技术职称	正高		
工作单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
完成单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
对创新点 4 做出贡献，研发了复杂运动条件多模型多因素跨尺度耦合分析技术，开发了具有完全自主知识产权的海洋核动力系统并联棒束/矩形多通道沸腾临界分析软件。（2）授权发明专利 1 项，牵头制定并发布标准 1 项。（3）佐证材料：发明专利 CN118184196B、标准 T/CNEA270-2025。			

姓 名	丁阳	排 名	10
行政职务	无		
技术职称	高工		
工作单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
完成单位	上海核工院研究设计院股份有限公司		
对本项目主要学术贡献： 对创新点 2 做出贡献，建立了首个考虑极低流速堆芯出口回流冷凝效应的异形窄缝流道沸腾临界理论模型。（2）授权发明专利 1 项。（3）佐证材料：发明专利 CN119979968B。			

八、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： 项目牵头和组织单位，授权发明专利 18 项，获软件著作权 7 项，出版国家基金专著 1 部，发表 SCI 论文 26 篇。研发了海洋条件大变形汽泡动力学与复杂汽液流动沸腾分析技术、海洋条件极低流速全尺寸异形通道安全限值精准判定技术、海洋条件下封头熔池多组分多相场动态演变行为分析技术，形成了完全自主产权的海洋核动力系统热工水力安全分析先进理论模型与软件平台，实现了海洋条件堆芯沸腾临界、流动失稳与压力容器失效边界等热工安全限值的精确预测。	

单位名称	上海核工程研究设计院股份有限公司
对本项目主要学术贡献： 项目参与单位，授权发明专利 9 项，获软件著作权 2 项，牵头制定并发布标准 2 项。主要研制了六自由度运动条件单元部件机理现象、核心设备关键行为与复杂系统集成效应系列测试平台，实现了海洋核动力系统热工水力安全分析先进理论模型与软件平台的精确验证，成果应用于海洋核动力装置 CAP50T 与天红堆等国防军工型号和重大核电工程的设计和安全审评，为海洋核动力系统设计与安全分析提供重要支持，形成了重要的国防、经济与社会效益。	

完成人合作关系说明

本项目由西安交通大学（第一完成单位）与上海核工程研究设计院有限公司（第二完成单位）联合攻关完成，项目研究周期为 2015 年 1 月-2025 年 12 月。双方签订了共建“核电先进数值模拟技术联合研究中心”协议，依托国家核电技术有限公司科研课题等科研项目开展联合攻关。西安交通大学负责项目总体策划、核心理论与软件开发，上海核工程研究设计院股份有限公司负责软件的试验验证与成果应用推广。

第一完成人田文喜教授作为项目总负责人，提出整个项目的主要学术思想，规划研究计划与实施方案。对所有主要创新点均做出重要贡献。第二、第四、第六、第八完成人与田文喜教授为西安交通大学核反应堆热工水力研究室团队同事，共同开展项目研究。第三、第五、第七、第九、第十完成人隶属于上海核工程研究设计院股份有限公司，五位完成人与西安交通大学田文喜教授团队依托国家核电技术有限公司科研合作课题，共同攻克了海洋核动力系统极端工况关键热工水力特性分析技术，并将技术成果应用于某核动力装置、CAP50T 等海洋核动力系统设计与安全分析。

项目实施期间，两家单位通过定期技术研讨、联合试验测试等方式开展深度协作，项目形成的发明专利、学术论文等成果均为双方团队共同合作产出。两家单位及全体完成人已就本项目知识产权归属、完成人排序达成一致意见，成果权属清晰，不存在任何知识产权纠纷，所有完成人均实质性参与项目研究，不存在虚构合作、有偿挂名等情况。特此说明。

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	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同知识产权	田文喜(1)、张魁(2)	2016-01-01	2025-12-31	海洋条件反应堆自然循环棒束通道沸腾临界试验装置及方法	发明专利 CN117079845B
2	共同立项	张魁(2)、刘展(5)、刘镒(7)	2022-09-01	2024-08-31	极低流量及运动条件临界热流密度试验	合同等材料 202209188
3	共同知识产权	田文喜(1)、张亚培(4)	2019-01-01	2025-12-31	海洋条件下两层流体搅浑过程及传热特性可视化实验系统及方法	发明专利 CN109473187B
4	共同知识产权	田文喜(1)、王明军(6)	2020-01-01	2025-12-31	一种六自由度运动条件下多环路自然循环实验装置及方法	发明专利 CN112880967B
5	共同知识产权	田文喜(1)、章静(8)	2021-01-01	2025-12-31	一种六自由度运动条件下窄缝通道可视化实验装置及方法	发明专利 CN112881386B
6	共同知识产权	刘展(5)、刘镒(7)	2020-01-01	2025-12-31	一种适用于多用途反应堆的系统化非能动专设安全系统	发明专利 CN112820425B
7	共同知识产权	严锦泉(3)、丁阳(10)	2022-01-01	2025-12-31	适用于反应堆的抗弯曲锆合金及制造方法	发明专利 CN119979968B
8	共同参与制定标准规范	刘展(5)、王煦嘉(9)	2025-01-01	2025-12-31	采用统计学方法确定偏离泡核沸腾比设计限值	团体标准 T/CNEA270-2025