

附件

国家重点研发计划政府间国际科技创新 合作专项磁约束核聚变能发展研究 2017 年度第二批项目申报指南

聚变能源由于资源丰富和近无污染，成为人类社会未来的理想能源，是最有希望彻底解决能源问题的根本出路之一，对于我国经济、社会的可持续发展具有重要的战略意义，是关系长远发展的基础前沿领域。

本专项总体目标是：在“十三五”期间，以未来建堆所涉及的国际前沿科学和技术目标为努力方向，加强国内与国际热核聚变实验堆（ITER）计划相关的聚变能源技术创新，发展聚变能源开发和应用的关键技术，以参加 ITER 计划为契机，全面吸收消化关键技术；加快国内聚变发展，开展高水平的科学研究；以我为主开展中国聚变工程实验堆的详细工程设计，并结合以往的物理设计数据库在我国的“东方超环”（EAST）、“中国环流器 2 号改进型”（HL-2M）托卡马克装置上开展与中国聚变工程实验堆（CFETR）物理相关的验证性实验，为 CFETR 的建设奠定坚实科学基础。加大聚变技术在国民经济中的应用，大力提升我国聚变能发展研究的自主创新能力。建立国际一流的研发平台，初步构建聚变工业发展体系，培养并形成一支稳定的高水平聚变研

发队伍，在 2020 年前后具备自主建造聚变工程堆的能力，适时启动高效安全聚变堆研究设施建设，加快聚变能走向实际应用进程，跨入世界聚变能研究开发先进行列。

本专项重点围绕未来 ITER、CFETR 科学实验的目标，加强理论、数值模拟与实验的紧密结合，在 EAST、HL-2A、J-TEXT 上安排先行重要科学问题的相关实验，演练若干有我国特色的、能为 ITER、CFETR 提供重要实验数据的参考运行模式，为未来聚变堆的科学实验奠定基础。以 EAST、HL-2A 为核心装置，培养未来主持和参与 ITER 和 CFETR 科学实验的物理人才队伍。

本专项围绕磁约束核聚变能发展研究进行全链条设计和一体化实施，项目执行周期不多于 5 年。按照分步实施、重点突出原则，2017 年第二批启动 10 个方向，经费总概算约为 6 亿元。对于支持 1-2 项的指南方向，原则上只支持 1 项，如申报项目的评审结果前两位评价相近，且技术路线明显不同，可同时立项支持，并建立动态调整机制，结合过程管理开展中期评估，根据评估结果确定后续支持方式。所有项目均应整体申报，须覆盖相应指南方向的全部考核指标。申报指南中第 1—8 研究方向的项目下设课题数不超过 6 个，项目所含单位数不超过 20 家；申报指南中第 9—10 研究方向的项目下不设课题。

本专项 2017 年第二批项目指南如下：

1. 聚变堆相关边界局域模主动控制技术及机理研究

研究内容：以 ITER $Q=10$ 基本运行模式为目标，开展类似 ITER 未来运行类似条件的科学研究，针对未来 ITER 和 CFETR 迫切需要解决的长脉冲稳态运行条件下边界局域模造成的偏滤器上巨大瞬态热负荷的缓解这一聚变堆关键问题，结合国内托卡马克装置的研究基础和能力，利用共振磁扰动、锂粉与弹丸注入、充气和超声分子束注入等多种手段，开展长脉冲高约束模式下的第一类边界局域模（ELM）的主动控制技术与物理研究，开展小或无 ELM 的研究，在实验上模拟未来聚变堆低动量注入条件，解决边界局域模控制与避免误差场锁模的兼容性的难题，实现边界局域模的有效控制，发展三维物理诊断，结合三维磁扰动响应，理解低碰撞率条件下的共振磁扰动控制边界局域模机理，为未来 ITER 和 CFETR ELM 控制问题的解决奠定基础。

考核指标：利用已有手段和探索新方法，基本实现对第一类边界局域模的有效缓解（幅度小于未控制情况下的 20%），实现偏滤器靶板瞬态热负荷的有效缓解；ELM 控制有效率达到 95%。

拟支持项目数：1-2 项

实施年限：2018-2022 年

2. 面向聚变堆的高约束模式实验研究

研究内容：以 CFETR 未来可能的运行条件为目标，在国内大型聚变装置上开展稳定可重复的等离子体控制，获得高归一化

比压 (β_N)、密度、长时间、高性能稳定的等离子体。发展先进的控制技术,开展基本运行模式、混合运行模式研究及其机理探讨,研究 ITER-like 等多种器壁条件下台基动力学及输运机制,为 ITER 和未来我国聚变堆 (CFETR) 的先进运行奠定坚实的物理与实验基础。

考核指标: 实现稳定可重复的等离子体控制,获得归一化比压 (β_N) >3, 归一化等离子体密度 $n_e/n_G \sim 0.7$, 等离子体维持时间 $\tau > 5$ 倍电流扩散时间 τ_R , 高性能稳定的等离子体; 在国内聚变装置上实现 2-3 种运行模式, 建立运行模式数据库。

拟支持项目数: 1-2 项

实施年限: 2018-2022 年

3. 面向 ITER 的边缘杂质输运和壁材料腐蚀研究

研究内容: 针对 ITER 运行模式, 研究长脉冲、高参数条件下的杂质输运和等离子体与壁相互作用。在国内大中型托卡马克装置上, 研究杂质粒子输运、粒子再循环的物理机制; 研究杂质对长脉冲等离子体的污染, 掌握有效控制杂质的方法; 对杂质循环的过程进行在线的动态分析, 探索减少杂质和材料腐蚀的优化方法; 开展杂质与等离子体不稳定性相互作用, 以及杂质极向不对称与边缘流的关系研究。

考核指标: 研究杂质对托卡马克装置放电过程中等离子体的污染, 实现有效 Z 值低于 2; 发展出 1-2 种第一壁材料在线原位

清洗和处理的新技术，探索适合未来 ITER 第一壁处理和杂质清除的新途径；实现 10MW 条件下 100 秒量级粒子再循环的稳定控制；实现 10MW 条件下无刻蚀的运行控制。

拟支持项目数：1-2 项

实施年限：2018-2022 年

4. 面向高场应用的新型高性能 CICC 超导导体研制

研究内容：针对 CFETR 先进超导磁体的需求，在高性能 Nb₃Sn、Nb₃Al 材料方面，以大幅度提升超导性能为核心，完善长线材制备技术，形成这两种材料批量化生产能力；在 Bi-2212 材料方面，以实现千米级长线制备为核心，结合相关超导材料和导体综合性能测试、低温绝缘材料、低温高强度不锈钢铠甲材料和管材制备技术研发，实现新型性能优于 ITER 的 Nb₃Sn、Nb₃Al、Bi-2212 全尺寸 CFETR CICC 超导导体制造，为未来研制 CFETR 15T 甚至更高磁体系统奠定坚实基础。

考核指标：获得包括前驱粉末制备、塑性加工和热处理在内的全套制备技术，形成高性能 Nb₃Sn、Nb₃Al、Bi-2212 批量化生产能力，建立自主工艺及技术标准；研制出可用于 CFETR CS (60kA)、极向场线圈 (PF) (50kA)、纵向场线圈 (TF) (80kA) 的原型全尺寸高性能 CICC 新型超导导体，并开展相关低温实验，其综合性能要全面超越现有 ITER 技术指标。

拟支持项目数：1-2 项

实施年限：2018-2022 年

5. CFETR 等离子体排灰气中氙回收与再循环技术研究

研究内容：建立放大规模的工艺实验系统，以氢氙及氦模拟的冷实验预研方式，开展 CFETR 等离子体排灰气中氙快速回收和纯化、氙燃料贮存与快速供给、氢同位素分离技术等工艺技术研究，掌握 $2\text{m}^3/\text{h}$ 级氙高效 ($>99\%$ 效率) 回收以及尾气除氢因子达 10^8 的“排灰气处理”、 $5\text{m}^3/\text{h}$ 级“氙同位素富集及分离”、 $5\text{m}^3/\text{h}$ 级“氙贮存以及定比例氙燃料配制并向加注系统快速供给”等三大主工艺技术，完成关键设备及工艺演示装置集成、氢氙及氦的模拟实验考核与适量级氙的验证性实验，评估 CFETR 氙燃料内循环系统设计的工程可行性。

考核指标：建立集成的、1:1 或同量级缩比工艺规模的 CFETR 排灰气氙回收、氢同位素分离、氙贮存与供给三大主工艺演示系统，通过较大规模氢氙及氦的模拟实验考核并结合适量氙的验证性实验，掌握 CFETR “氙燃料内循环系统”工艺技术；完成 CFETR “氙燃料内循环系统”详细工程概念设计的可行性评估。

拟支持项目数：1-2 项

实施年限：2018-2022 年

6. CFETR 增殖包层氙提取与测量工程技术研究

研究内容：以氢氙模拟的冷实验方式，研究氦冷及水冷两种概念固态氙增殖剂包层中 300 克量级/批次增殖氙的在线、高效提

取与氢同位素分离技术；研究百居里级反应堆在线产氙、缩比尺寸氙增殖包层模块在裂变或聚变中子环境下的产氙性能、增殖剂材料及包层模块中氙浓度、产氙率及氙提取效率在线测试与评估技术；掌握全氙增殖包层中氙提取与测量工艺技术并研制出 1:1 工艺流程的样机系统。

考核指标：建立集成的 CFETR 氦冷及水冷两种概念固态氙增殖剂包层中增殖氙的在线提取与氢同位素分离演示系统，通过氘氙及氦模拟实验，掌握 300 克量级/批次增殖包层氙提取技术，动态提取效率>96%，停堆提取效率>99.9%；通过百居里级反应堆在线产氙、缩比尺寸氙增殖包层模块在裂变或聚变中子环境下百居里级的产氙实验，掌握增殖剂材料及包层模块中氙浓度、产氙率及氙提取效率的在线测试与评估技术。

拟支持项目数：1-2 项

实施年限：2018-2022 年

7. 聚变等离子体三维物理及边界磁场主动控制技术研究

研究内容：依托反场箍缩磁约束聚变实验装置（KTX）先进反场箍缩装置，利用其产生的等离子体比压高、不稳定性模式丰富、三维效应显著等特点，发展新方法、探索新现象，发展三维边界磁场主动控制技术，有效抑制等离子体不稳定性，开展边界磁场主动控制下的电阻壁模稳定、锁模及破裂的控制、随机磁场效应、环向动量驱动、三维平衡等重要物理问题的实验研究，研

究与等离子体特性耦合的高维控制算法，探索和研究各种新的实验物理现象，培养高水平实验物理人才。

考核指标：等离子体电流 0.5-1 兆安，放电时间 100 毫秒，反场维持时间 40 毫秒。

拟支持项目数：1-2 项

实施年限：2018-2022 年

8. 磁阱型磁压缩聚变装置的概念设计与关键技术预研

研究内容：开展基于大压缩比绝热磁压缩场反位型等离子体方法的磁阱型磁压缩聚变装置方案概念设计，并对高性能场反位型等离子体发生器的关键技术部件如快速脉冲送气阀、锥形喷枪等展开预研。

考核指标：建立自洽的能够反映场反等离子体形成、对撞和压缩过程的解析模型与数值模拟方法并给出等离子体参数的时空演化，完成磁阱型磁压缩聚变装置的物理概念设计；给出磁阱型磁压缩聚变装置的工程设计，建成关键技术预研平台，获得可重复的分界面半径达到 30 厘米、寿命达到 500 微秒的场反位形等离子体。

拟支持项目数：1-2 项

实施年限：2018-2021 年

9. 聚变实验/工程堆前沿物理问题研究

研究内容：针对磁约束聚变实验/工程堆前沿物理问题及未来

ITER/CFETR 运行阶段物理实验的重要内容，开展物理理论、实验测量、数值模拟、诊断手段等方面的研究。鼓励探索新思想、新概念、新方法，以国内主要装置为实验平台开展联合实验。

重点支持燃烧等离子体的主要物理过程的前沿问题研究、粒子循环过程研究、先进诊断技术、先进计算方法在聚变模拟中的应用、强磁场约束的特殊物理问题研究等。

拟支持项目数：5 项

实施年限：2018-2021 年

特别说明：申报本方向的项目负责人与所有参与人员均应为 1977 年 7 月 1 日以后出生。

10. 聚变工程/实验堆关键技术问题研究

研究内容：针对未来聚变实验/工程堆的关键技术、方法、工艺和部件，发展具有自主知识产权的关键技术和部件预研。重点发展聚变堆所需的涉氚器件、新型聚变堆材料及制备方法、聚变堆材料模拟、材料辐照损伤机理及实验研究，长寿命复合阻氚材料涂层和工艺、聚变电源关键技术与部件、聚变堆诊断关键探测器件等。鼓励以国内主要装置为实验平台开展联合实验。

拟支持项目数：6-8 项

实施年限：2018-2021 年

特别说明：申报本方向的项目负责人与所有参与人员均应为 1977 年 7 月 1 日以后出生。