

现偏滤器靶板热负荷降低 50%以上的控制手段；在偏滤器热负荷有效控制条件下，芯部等离子体约束性能下降小于 20%。

4. 氘氘聚变等离子体中 alpha 粒子过程对等离子体约束性能影响的理论模拟研究

研究内容：针对 ITER 氘氘运行和 CFETR 物理设计需要，开发用于模拟 alpha 粒子物理及相关能量、粒子输运过程的数值模拟程序，开展燃烧等离子体氘氘聚变条件下 alpha 粒子物理过程的理论、模拟研究，计算能量增益 $Q \geq 5$ 条件下 alpha 粒子密度空间分布剖面和能谱分布，分析 alpha 粒子物理过程对等离子体约束性能的影响。

考核指标：开发出可模拟 ITER/CFETR 氘氘聚变等离子体的混杂数值模拟程序，模拟 alpha 粒子激发的本征模和慢化、热化等能量输运过程，并计算出能量增益 $Q \geq 5$ 条件下 alpha 粒子密度空间剖面和能谱分布；根据 ITER/CFETR 设计参数，计算、评估 $Q \geq 5$ 条件下燃烧等离子体中 alpha 粒子对等离子体约束性能的影响。

5. 长脉冲高功率速调管关键技术研究

研究内容：在消化吸收 ITER 0.5 MW 长脉冲速调管技术的基础上，开展国产大功率速调管的设计、关键技术预研、集成和整管调试研究，研制长脉冲高功率速调管，并能用于国内托卡马克

实验。

考核指标：建立长脉冲 MW 级速调管的生产工艺规范，提供两只样管；样管工作频率 4.6 GHz，输出功率不小于 0.5 MW，脉冲长度大于 100 秒。

6. 聚变堆新型结构类材料的高效制备及性能测试

研究内容：根据 CFETR 对关键材料服役性能的要求，开展高洁净度熔炼和热机械加工技术研究，并优化合金成分及界面设计，实现材料强度与韧性、高温和抗辐照性能的同步提高，研发出新型抗辐照熔炼 ODS 低活化钢（兼顾其它可大规模生产的弥散强化低活化钢）、铜合金材料等。针对上述材料进行系统的力学、热学、磁学及焊接、重离子辐照、氢同位素渗透滞留等性能测试。

考核指标：结构钢：氧化物颗粒尺度不大于 10 nm，数密度不小于 $10^{24}/\text{m}^3$ ，热力耦合作用下不发生聚集长大； $400^\circ\text{C}\sim 500^\circ\text{C}/200\text{ dpa}$ 重离子辐照后，辐照肿胀率小于 0.1%；室温冲击功 $\geq 250\text{J}$ 、延伸率 $\geq 22\%$ ，韧脆转变温度 $\leq -90^\circ\text{C}$ ； $650^\circ\text{C}/120\text{ MPa}$ 蠕变断裂时间不小于 5000 小时。单件铸锭重量不小于 200 公斤。首批材料 2020 年基本满足入堆中子辐照的要求。热沉铜合金：室温热导率 $\geq 300\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ，室温抗拉强度 $\geq 500\text{ MPa}$ ，屈服强度 $\geq 400\text{ MPa}$ ，延伸率 $\geq 18\%$ ； 450°C 抗拉强度 $\geq 300\text{ MPa}$ ，屈服强度 $\geq 260\text{ MPa}$ ， $450^\circ\text{C}/50\text{ MPa}$ 蠕变速率不大于 10^{-9}s^{-1} ； $400^\circ\text{C}\sim 500$

°C/50 dpa 重离子辐照后，辐照肿胀率低于 0.1%。

7. CFETR 国产先进材料小样品高剂量中子辐照及结构性能测评

研究内容：根据 CFETR 的要求，针对包层结构、第一壁、偏滤器、热沉及阻氙涂层等五种先进国产材料，利用国内外现有条件，进行小样品的高剂量中子辐照及结构与性能测评。测试分析 10~50 dpa 反应堆中子辐照条件下各种候选材料的微观结构及系统宏观力学性能，并结合反应堆中子辐照过程中氦、氢含量的影响及小样品与标准宏观样品的对应关系，评价面向 CFETR 的候选国产先进材料在 10~50 dpa 中子辐照条件下的微观与宏观性能及服役行为。

考核指标：获得五种以上国产先进材料在中子辐照条件下（其中结构类材料不低于 30 dpa、第一壁材料不低于 10 dpa）的下述实验数据：不同温度下的材料微观结构、力学性能（至少包括硬度、拉伸性能、断裂韧性及韧脆转变温度等）、辐照肿胀率、热导率（对于钨合金和热沉等材料），以及蠕变与阻氙（氢同位素）性能等；建立小样品中子辐照的实验结果与标准宏观样品的对应关系；初步建立我国聚变堆材料小样品的标准实验体系。

8. 聚变堆金属材料中子辐照计算模拟

研究内容：基于 CFETR 对材料中子辐照损伤评价预测与高

研究方面获得重要进展；在杂质影响方面取得重要实验或理论研究成果；强场条件下 I 模形成机制的实验或理论研究方面取得突破性进展；在芯部输运垒形成机制的实验或理论研究方面有新的突破。

12. 20 MW/m² 条件下聚变堆部件探索研究

研究内容：针对未来聚变堆 20 MW/m² 高热负荷的运行条件，探索降低高热负荷、延缓高热负荷部件寿命的方法，设计新的移除高热负荷的部件、研制快速移能的材料和部件，开展相关的工程实验，掌握有效控制杂质、快速移能的方法；研究长脉冲、高参数条件下杂质输运及等离子体与壁强相互作用过程。

考核指标（完成下列之一）：提出长脉冲、高参数、20 MW/m² 热负荷条件下降低等离子体与壁相互作用强度的方法，并做出详细工程计算和设计；提出可承受 20 MW/m² 热负荷的新材料设计，研制出该设计所需的样品材料，并给出材料性能测试结果；提出可承受 20 MW/m² 热负荷的工程结构设计，研制出该设计所需的单元部件，并完成设计所需测试实验；在高参数条件下杂质输运及等离子体与壁强相互作用过程研究方面有重要进展。

13. 部件级阻氚涂层制备技术及服役性能评价

研究内容：发展聚变堆结构包层或氚工厂系统管道（或容器）内壁阻氚涂层制备工艺技术，研究部件级、特别是异形部件阻氚

功能涂层服役工况下综合性能变化规律，建立相关实验模拟与可靠性评价方法，提出改善阻氙涂层综合性能的技术措施。

考核指标（完成下列之一）：部件级阻氙涂层 500℃下氢同位素渗透率阻滞因子 >1000 ；获取含氙分压（大于 50 kPa）氢同位素环境下阻氙涂层结构及性能在 1~2 年期间内变化规律及相关数据；获得部件级阻氙功能涂层在 1~2 年期间综合性能变化规律和相关实验模拟方法；提出部件级阻氙涂层服役可靠性评价方法。

**国家磁约束核聚变能发展研究专项 2018 年度
项目申报指南编制专家组名单**

序号	姓名	工作单位	职称
1	李建刚	中国科学院 合肥物质科学研究院	研究员
2	万宝年	中国科学院 合肥物质科学研究院	研究员
3	田佳树	中国核工业集团公司	研究员 高工
4	刘 永	核工业西南物理研究院	研究员
5	冯开明	核工业西南物理研究院	研究员
6	陈长安	中国工程物理研究院	研究员
7	王宇钢	北京大学	教 授
8	王晓钢	哈尔滨工业大学	教 授
9	王 龙	中国科学院物理研究所	教 授
10	胡希伟	华中科技大学	教 授
11	庄 革	中国科学技术大学	教 授