

国家核电厂安全及可靠性工程技术研究中心

2025 年开放课题指南

1. 微 CT 试样技术与主曲线法联合精确评估反应堆压力容器材料断裂韧性研究

● 研究内容：

开展反应堆压力容器（RPV）材料不同尺寸试样（1/6T、1/4T、1/2T、Mini-SEB 等）的断裂韧性试验，探讨微 CT 试样形状、尺寸等几何约束和试验参数对测试结果的影响规律。对特定尺寸微 CT 试样进行断裂韧性试验，研究温度（-80℃至 350℃，至少涵盖 8 个温度点）对 RPV 材料断裂性能的影响。基于拘束理论，运用主曲线方法，评估 RPV 材料断裂韧性。

● 预期成果：

（1）研发微 CT 试样的设计方法及断裂韧性的测试技术，构建微 CT 试样断裂韧性测试与表征技术的理论框架。

（2）开发一套微 CT 试样测试与主曲线法联合的 RPV 材料断裂韧性评估系统，实现微 CT 试样在冷态下的工程验证。

● 考核指标：

（1）微 CT 试样测试的 RPV 材料断裂韧性准确性相对误差 $\leq 5\%$ 。

（2）基于微 CT 试样的断裂韧性测试规范一套，并通过专家评审。

（3）基于微 CT 试样测试与主曲线法联合的 RPV 材料断裂韧性评估系统一套。

(4) 发表或录用 SCI 论文 ≥ 2 篇。

● 研究经费及周期：

研究经费不超过 50 万元，研究周期不超过 2 年。

2. 核电厂冷却塔热质释放对电厂气溶胶核素排放的影响研究

● 研究内容：

采用数值模拟和风洞试验相结合的方法，研究核电厂冷却塔及其热质（飘滴、盐雾、水汽粒子等）对气态流出物排放的气溶胶核素粒子迁移扩散及沉降影响的规律。分析冷却塔及其热质排放对气溶胶核素的沉降影响程度及对环境辐射剂量贡献程度。

● 预期成果：

(1) 明确冷却塔及其热质对气溶胶核素迁移、沉降的环境影响因子及方式。

(2) 厘清冷却塔及其热质影响下气溶胶核素对环境辐射剂量贡献的具体行为方式、范围及程度。

(3) 给出冷却塔及其热质影响下气溶胶核素剂量评价的修正建议。

● 考核指标：

(1) 利用风洞试验开展核电厂冷却塔及其热质释放对气溶胶核素迁移扩散规律研究报告 1 份。

(2) 利用数值模拟试验开展核电厂冷却塔及其热质释放对气溶胶核素迁移扩散规律研究报告 1 份。

(3) 项目研究总结报告 1 份。

(4) 发表或录用中文核心以上论文 ≥ 2 篇。

- 研究经费及周期：

研究经费不超过 45 万元，研究周期不超过 2 年。

3. 核电群厂反应堆压力容器辐照监督管理策略优化研究

- 研究内容：

研究并制订国内核电同类型机组（二代及二代加）群厂反应堆压力容器（RPV）辐照监督管统筹使用优化方案，实现群厂在役机组长寿命期（60 年+）运行条件下辐照监督管理策略优化，提出降低 RPV 中子辐照注量的措施建议。

- 预期成果：

（1）优化后的群厂辐照监督方案，辐照监督数据覆盖核电厂 80 年寿命期。

（2）优化辐照监督数据的分布，60-80 年数据占比相对原有方案提升 20%以上。

- 考核指标：

（1）国内外核电机组辐照监督管理策略研究报告 1 份。

（2）降低 RPV 中子辐照注量策略研究报告 1 份。

（3）群厂辐照监督协同大纲及实施方案（建议稿）1 份，通过行业专家审评。

- 研究经费及周期：

研究经费不超过 50 万元，研究周期不超过 2 年。

4. 辐照环境光纤通信中磁光材料与器件失效机制及保障技术

- 研究内容：

模拟分析辐照条件下光纤通信中光隔离器法拉第旋光片的损伤程度，建立辐照损伤模型；开展质子、电子辐照实验，厘清插入损耗及隔离度的失效机制，完善辐照诱导缺陷模型，健全服役行为的分析方法；根据结果优化液相外延熔体配方等，提高辐照损伤的阈值。

● 预期成果：

（1）完成法拉第旋光片辐照模拟，厘清光隔离器件插入损耗及隔离度等的失效机制。

（2）建立辐照损伤模型，阐明辐照过程中法拉第旋光片的性能演化机制。

（3）实现法拉第旋光片辐照模拟及损伤、辐照后性能演化及核心元器件防护等关键技术的突破，确保核电厂中关键信号的可靠传输。

● 考核指标：

（1）法拉第旋光片辐照老化损伤模型，模型计算值（法拉第旋光片旋角和透光度、光隔离器件隔离度）偏差 $\leq 20\%$ 。

（2）项目研究总结报告 1 份。

（3）发表或录用 SCI/EI 论文 ≥ 2 篇。

（4）受理国家发明专利 ≥ 1 项。

● 研究经费及周期：

研究经费不超过 50 万元，研究周期不超过 2 年。

5. 核电厂一回路典型焊接接头应力状态分析及调控技术研究

● 研究内容：

构建超声波冲击调控残余应力场的理论模型，分析冲击速度、针

头直径、冲击时间等参数对一回路典型焊缝残余应力场分布影响的规律；探索超声波冲击对焊接接头强度、硬度、冲击韧性等性能的影响规律；建立超声波冲击工艺和接头残余应力的关联机制。

● 预期成果：

(1) 揭示超声波冲击对核电厂一回路典型焊接接头组织结构及性能的影响规律。

(2) 建立核电厂一回路典型焊接接头应力调控方法。

● 考核指标：

(1) 建立一回路典型焊接接头应力调控处理规范，应力调控有效深度不小于 5mm 且表面为压应力。

(2) 项目研究总结报告 1 份。

(3) 发表或录用 SCI/EI 论文 ≥ 2 篇。

(4) 受理发明专利 ≥ 1 项。

● 研究经费及周期：

研究经费不超过 50 万元，研究周期不超过 2 年。

6. 反应堆压力容器外侧中子注量测量技术

● 研究内容：

研究新型中子监测器设计和性能评估方法，分析监测器损伤机理和性能退化规律。研究高温及强辐照场下中子监测器响应变化规律以及长期服役条件下中子通量测量新方法。

● 预期成果：

(1) 掌握带电粒子探测器几何结构和物理性能参数对监测器响应

特性的影响规律。

(2) 设计面向反应堆压力容器外侧强中子场中子通量在线测量的监测器。

(3) 掌握不同功率条件下辐射场对测量结果的影响，建立长期服役条件下监测器性能预测模型，并与中子源实验测量结果对比。

● 考核指标：

(1) 中子注量测量不确定度 $\leq 20\%$ ，中子能量响应范围 1MeV-10MeV。

(2) 项目研究总结报告 1 份。

(3) 发表或录用 SCI/EI 论文 ≥ 2 篇。

(4) 受理发明专利 ≥ 1 项。

● 研究经费及周期：

研究经费不超过 50 万元，研究周期不超过 2 年。

7. 高氮奥氏体不锈钢热塑性与材料服役性能影响研究

● 研究内容：

以高氮奥氏体不锈钢 N50 为研究对象，分析变形温度、变形量、析出相等对材料热塑性和晶粒度的影响规律；研究材料在一回路环境下的服役性能，包含热老化试验后的应力腐蚀敏感性和裂纹扩展速率，为核电厂关键部件材料优化和材料服役安全评价提供技术支撑。

● 预期成果：

(1) 形成高氮奥氏体不锈钢热锻专有技术，指导大型不锈钢锻件的生产制造。

(2) 掌握成分-工艺-服役性能的影响规律，为核电厂高氮不锈钢

长期服役安全评价提供技术支撑。

● 考核指标：

(1) 建立高氮奥氏体不锈钢的热加工图，确定最佳锻造参数（晶粒度 ≥ 3 级，级差 ≤ 2 级）。

(2) 项目研究总结报告 1 份。

(3) 发表或录用中文核心以上论文 ≥ 1 篇。

● 研究经费及周期：

研究经费不超过 50 万元，研究周期不超过 2 年。

8. 纯钨表面多元难熔合金涂层构筑及抗氦离子辐照性能研究

● 研究内容：

利用表面合金化技术，在纯钨表面开展多元难熔合金涂层制备。研究工艺参数对涂层材料学特性及力学性能的影响，开发适用于纯钨表面多元难熔合金涂层的工艺方案。开展纯钨及涂层氦离子辐照损伤试验，探讨涂层的抗辐照性能，研究抗氦离子辐照机理。

● 预期成果：

(1) 厘清工艺参数对多元合金化行为的影响，揭示纯钨表面多元难熔合金涂层的形成机制。

(2) 明确多元难熔合金涂层组织结构、力学特性与辐照行为的关联性。

(3) 构筑具有优异抗氦离子辐照性能的多元难熔合金涂层，实现纯钨表面的抗辐照性能调控。

● 考核指标：

(1) 涂层制备工艺方案 1 套并通过专家评审。

(2) 项目研究总结报告 1 份。

(3) 发表或录用 SCI 论文 ≥ 2 篇。

(4) 受理发明专利 ≥ 1 项。

● 研究经费及周期：

研究经费不超过 45 万元，研究周期不超过 2 年。

9. 核电厂堆坑混凝土力学性能退化规律及辐照损伤机理研究

● 研究内容：

开展堆坑混凝土辐照环境力学性能退化的跨尺度仿真研究，模拟快中子及 γ 射线联合作用下混凝土裂纹扩展全过程；研究堆坑普通及重骨料混凝土力学性能退化规律并建立评价模型；研究辐照与混凝土力学性能退化的本构关系。

● 预期成果：

(1) 获得辐照诱发混凝土力学性能退化的多尺度建模方法及高效数值模拟算法。

(2) 揭示辐照损伤机理，明确辐照长期作用下堆坑混凝土力学性能退化规律。

(3) 建立快中子及 γ 射线辐照与混凝土力学性能退化的本构关系。

● 考核指标：

(1) 强辐照作用下的混凝土力学性能评价方法 1 套，不确定度 $\leq 10\%$ ，通过专家评审。

(2) 长期强辐照作用下堆坑混凝土力学性能退化数据库 1 套。

(3) 强辐照作用的堆坑混凝土非线性力学行为的本构关系 1 套。

(4) 项目研究总结报告 1 份。

(5) 发表或录用 SCI/EI 论文 ≥ 2 篇。

● 研究经费及周期：

研究经费不超过 50 万元，研究周期不超过 2 年。

10. 超高强钢超音频脉冲电流电弧焊接头组织与性能协同调控

● 研究内容：

开展高强韧双相不锈钢超音频脉冲电流电弧焊接头组织与性能协同调控技术研究，探究超音频脉冲电弧能场作用下熔池动态行为和焊接过程非均匀组织演化机制，研究超音频脉冲电流对高强韧双相不锈钢接头组织与性能协同调控作用机理。

● 预期成果：

(1) 揭示超音频脉冲电流作用下高强韧双相不锈钢接头组织与性能调控作用机理。

(2) 建立超音频脉冲电流超声电弧焊接工艺规范。

(3) 建立高强韧双相不锈钢超音频脉冲电流焊接“工艺参数-焊缝形貌-微观组织-服役性能”，解决接头塑韧性不足和耐蚀性降低的问题。

● 考核指标：

(1) 接头塑韧性与耐蚀性优于常规电弧焊，性能提升 20%以上。

(2) 超音频脉冲电弧焊接工艺规范 1 份，并通过专家评审。

(3) 项目研究报告 1 份。

(4) 发表或录用 SCI/EI 论文 ≥ 2 篇。

● 研究经费及周期：

研究经费不超过 50 万元，研究周期不超过 2 年。