

# 国家核电厂安全及可靠性工程技术研究中心 2026 年 开放课题指南

## 1. 核电厂冷却塔及其热质释放对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释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）建立冷却塔及其热质对气溶胶核素迁移、沉降的环境影响评价模型，通过行业专家评审。
- （2）技术报告 2 份（风洞实验报告、数值模拟报告各 1 份）。
- （3）发表或录用核心期刊论文 $\geq 2$  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. 核电厂反应堆压力容器辐照监督试验数据可靠性评价与应用

### ● 研究内容：

开展核电厂反应堆压力容器（RPV）辐照监督试验数据的分析处理、关联转换、可靠性检验与不确定度分析研究，分析关键影响因素，构建 RPV 材料辐照脆化评价核心指标（韧脆转变温度增量及安全裕度）的获取方法并评价数据的可靠性；探究 RPV 辐照监督试验数据与脆化评价指标之间的量化关系，提出 RPV 辐照监督试验数据的“收集-检验-应用”标准化建议，为群厂 RPV 辐照监督评价

提供数据分析技术支撑。

● 预期成果：

- (1) 建立 RPV 辐照监督试验数据统一规范处理方法和数据库。
- (2) 开发 RPV 辐照监督试验数据的量化处理与可靠性评价方法。
- (3) 构建 RPV 材料辐照脆化预测及数据关联转换模型。
- (4) 形成 RPV 辐照监督试验数据评价方法报告和应用标准化建议。

● 考核指标：

- (1) 建立基于 RPV 辐照监督试验数据库的数据关联转换量化模型，计算值偏差 $\leq 15\%$ ，通过行业专家评审。
- (2) 项目研究总结报告及标准建议草案各 1 份。
- (3) 发表或录用 SCI/EI 论文 $\geq 2$  篇。
- (4) 登记软件著作权 $\geq 1$  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。

### 3. 基于化学控制效能指标的压水堆核电站水化学控制策略优化研究

● 研究内容：

研究钠离子对蒸汽发生器（SG）二次侧材料腐蚀的影响，论证提高排污水钠限值的可行性。基于化学效能指标体系，运用人工智能（AI）、机器学习等先进方法，分析 pH 值、溶解氧等关键水化学参数对二回路关键材料腐蚀作用机制及腐蚀产物迁移沉积行为的影响，研究关键水化学参数与材料低腐蚀、运行经济性等多目标之间的量化关系建模可行性，为压水堆核电站水化学控制策略优化提供技术支撑。

● 预期成果：

- (1) 建立 SG 排污水钠与主给水铁含量的最优控制数学模型。
- (2) 厘清二回路关键水化学参数与 SG 传热管二次侧积污的量化关系。
- (3) 提出腐蚀预测与化学控制优化的 AI 建模逻辑链及语料库建议，为 SG 安全运行提供技术支撑。

● 考核指标：

- (1) 基于关键指标的 SG 多目标优化二回路水化学控制模型 1 套，通过行业专

家评审。

(2) SG 排污水化学关键参数阈值优化分析报告 1 份，通过行业专家评审。

(3) 基于化学控制效能指标的 SG 多目标优化建模可行性研究报告 1 份。

(4) 二回路水化学 AI 逻辑链与语料库研究建议报告 1 份。

(5) 发表或录用核心期刊论文 $\geq 2$  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。

#### 4. 多因素耦合作用下钢筋混凝土氯离子传输行为和寿命预测模型研究

● 研究内容：

研究海工钢筋混凝土结构服役环境中干湿循环-碳化多因素耦合作用下氯离子传输行为，分析水胶比、矿渣掺量、粉煤灰掺量、碳化程度对氯离子扩散系数的影响，结合室内试验和现场检测，揭示干湿循环作用下混凝土内氯离子浓度分布特征，量化多因素的影响规律，探索可准确描述干湿循环效应的自由氯离子传输数值求解路径。研究多环境-荷载因素共同作用下海工钢筋混凝土材料开裂损伤的动态演变特征，分析该开裂损伤对氯离子传输及钢筋锈蚀的影响机制。研究干湿循环-碳化-荷载耦合作用下海工钢筋混凝土结构耐久性评价方法，开发相应的寿命预测模型。

● 预期成果：

(1) 提出水分传输与氯离子传输耦合非线性方程求解的数值方法。

(2) 建立核电站海工钢筋混凝土结构干湿循环-碳化-荷载多因素耦合作用下寿命预测模型。

(3) 开发核电站海工钢筋混凝土结构耐久性评估软件。

● 考核指标：

(1) 寿命预测模型与试验结果的相关系数 $>0.9$ ，通过行业专家评审。

(2) 项目研究总结报告 1 份。

(3) 发表或录用核心期刊论文 $\geq 2$  篇。

(4) 登记软件著作权 $\geq 1$  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. 国产核级电动阀执行机构选型设计方法及可靠性评价

### ● 研究内容：

研究国产核级电动阀与进口核级电动阀设计制造的差异，开发国产核级电动阀执行机构选型设计算法，提出选型改进方案。研究轴承、密封面等的摩擦系数阻力特性。研究阀杆螺母磨损、润滑不足、防转结构对执行机构传递效率的影响，建立基于老化退化机理的国产电动阀执行机构可靠性评价方法。

### ● 预期成果：

- (1) 建立国产核级电动阀执行机构选型设计方法并明确适用范围。
- (2) 阐明轴承、密封面等的摩擦系数对执行机构选型设计的影响。
- (3) 建立执行机构在阀杆螺母磨损、润滑不足等条件下的可靠性评价方法。

### ● 考核指标：

(1) 国产核级电动阀执行机构选型设计算法 1 套、选型方案报告 1 份，通过行业专家评审。

(2) 国产核级电动阀执行机构可靠性评价方法（模型、算法各 1 套，报告 1 份），通过行业专家评审。

(3) 发表或录用核心期刊论文 $\geq 2$  篇。

(4) 登记软件著作权 $\geq 1$  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. 核电厂立式循环水泵关键支撑轴承非线性运动特性研究

### ● 研究内容：

采用数值模拟和试验验证，研究核电厂立式循环水泵关键支撑轴承的非线性运动特性，探究关键支撑轴承刚度、阻尼与关键安装参数的相互作用机理及规律。针对轴系多支承轴承结构特性，分析瞬态和稳态工况下轴系的非线性运动规律，探究关键轴承的受力状态及载荷分布特性。

### ● 预期成果：

(1) 明确关键安装参数对轴承刚度、阻尼的影响机制。

(2) 构建轴承非线性刚度、阻尼与关键参数的影响模型。

(3) 建立轴系非线性运动特性的分析方法，实现轴系运动轨迹及轴承载荷分布规律的快速计算。

● 考核指标：

(1) 建立轴承非线性刚度、阻尼与关键安装参数的关联模型，开发相关软件，关键响应参数的趋势预测值与实测结果的偏差 $\leq 8\%$ ，通过行业专家评审。

(2) 建立核电立式循环水泵非线性运动特性模型，实现轴心轨迹及载荷分布规律的快速计算，关键频率幅值预测与试验对比误差 $\leq 15\%$ 。

(3) 发表或录用 SCI/EI 论文 $\geq 2$  篇。

(4) 登记软件著作权 $\geq 1$  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. 激光冲击处理抑制不锈钢氦脆行为的工艺与机理

● 研究内容：

研究激光冲击强化引入的微观缺陷（位错、孪晶、晶界）对不锈钢中氦原子偏聚行为的调控机理，揭示其抑制氦在晶界处富集、延缓沿晶氦泡形成的物理本质，获得激光冲击处理关键工艺参数范围；基于小尺度辐照模拟与力学测试，评估激光冲击强化对不锈钢抗氦脆性能的提升效果；制定激光冲击调控不锈钢氦脆行为的工艺规范，为核电厂工程应用提供技术依据。

● 预期成果：

(1) 获得小尺度辐照模拟不锈钢氦脆行为建模方法。

(2) 建立激光冲击强化引入的微观组织演变与不锈钢抗氦脆性能之间的关联关系。

(3) 建立辐照损伤—冲击强化—性能演变本构关系，为堆内辐照后不锈钢的氦行为主动调控及服役性能提升提供关键理论支撑与工艺研究。

● 考核指标：

(1) 激光冲击抑制氦脆的机理与模型 1 套。

(2) 开发调控不锈钢氦脆行为的激光冲击工艺参数库 1 套，通过行业专家评审。

(3) 激光冲击处理后不锈钢塑韧性较未处理氩脆试样提高 30%。

(4) 发表或录用 SCI/EI 论文  $\geq 2$  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。

## 8. 抗热老化纳米颗粒强化 X6CrNiCu17.04 沉淀硬化马氏体不锈钢研制

● 研究内容：

针对 X6CrNiCu17.04 沉淀硬化马氏体不锈钢阀杆热老化致韧性下降、应力腐蚀敏感性上升的问题，开发新型微量纳米颗粒强化体系及适配工艺，制备新型强化 X6CrNiCu17.04 钢，研究其纳米颗粒强化机理，提升核电厂核级阀门阀杆服役寿命。

● 预期成果：

(1) 开发适配 X6CrNiCu17.04 钢的微量纳米颗粒强化工艺，制备颗粒均匀弥散分布的纳米强化 X6CrNiCu17.04 钢。

(2) 阐明微量纳米颗粒强化 X6CrNiCu17.04 钢抗热老化性能的核心机制。

● 考核指标：

(1) 纳米颗粒强化 X6CrNiCu17.04 钢在 350℃ 下热老化 8000 小时后室温 KV<sub>2</sub>  $\geq 80J$ ，抗拉强度、屈服强度、断面收缩率、延伸率等均满足 RCC-M M5110 要求。

(2) 8000 小时热老化后：R=0.1，450MPa 室温条件下，疲劳循环次数  $\geq 1500$  万次；25℃，3.5%NaCl 溶液应力腐蚀敏感指数  $\leq 35\%$ 。

(3) 发表或录用 SCI/EI 论文  $\geq 2$  篇。

(4) 受理发明专利  $\geq 1$  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。

## 9. 核电厂主蒸汽安全阀负载弹簧性能退化机理及其智能监测技术研究

● 研究内容：

针对核电厂主蒸汽安全阀负载弹簧长期承受高温 ( $>300$  °C)、高压 ( $>8.0MPa$ ) 及动态载荷的多场耦合作用下定值漂移问题，研究多场耦合作用下弹簧刚度的影响因素、弹簧刚度对安全阀定值影响规律、弹簧刚度退化机理。开发弹

簧刚度智能监测关键技术。

● 预期成果：

- (1) 获得多场耦合环境下主蒸汽安全阀负载弹簧刚度与定值漂移的关联曲线。
- (2) 开发多参数弹簧刚度智能监测系统原理样机 1 套。

● 考核指标：

- (1) 主蒸汽安全阀负载弹簧刚度与定值漂移的关联曲线，误差 $\pm 0.1\text{MPa}$ 。
- (2) 多参数弹簧刚度智能监测系统原理样机 1 套，监测参数 $\geq 3$ 项，通过行业专家评审。
- (3) 发表或录用核心期刊论文 $\geq 1$ 篇。
- (4) 受理发明专利 $\geq 1$ 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。