附件1：

核电安全监控技术与装备国家重点实验室

2021年度开放课题指南

本着“开放、流动、联合、竞争”的建设方针，围绕实验室重点研发方向，依据《依托企业建设国家重点实验室管理暂行办法》《企业国家重点实验室建设与运行实施方案》等相关文件，现面向高等院校、科研机构和其它单位发布开放课题指南，重点资助实验研究方向下应用基础研究和竞争前沿共性技术研究内容。本次共资助4个研究方向下21个项目。

2021年度具体资助项目如下：

1. **核电安全状态评估与事故防控研究**
   1. **严重事故应急疏散、缓解任务的模拟和可靠性分析技术研究**

研究内容：开展严重事故情形下核电厂数字空间模型研究，针对核电厂严重事故的放射性释放的可能性和途径，耦合核电厂放射性场与数字空间模型，提出一种严重事故情形下核电厂数字空间模型，以实现从时间、空间等维度模化严重事故情形下的核电厂；开展应急疏散和缓解任务算法研究，基于上述严重事故情形下核电厂数字空间模型，研究群体智能和状态空间搜索算法，以实现核应急疏散过程模拟和缓解任务规划，满足应急疏散和缓解任务方案优化需求；开展应急疏散和缓解任务可靠性分析方法研究，考虑人员极限操作时间、可用安全逃生时间等多重因素影响，提出应急疏散和缓解任务可靠性分析方法；基于严重事故情形下核电厂数字空间模型、应急疏散和缓解任务模拟，实现对应急疏散和缓解任务的可靠性分析。

考核指标：提交研究报告3份，包括：核电厂应急处置多目标路径搜索算法研究报告、核电厂应急状态下多层次环境建模研究报告、核电厂多智能体协同应急响应研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：15万。

* 1. **基于数字孪生的核电设备全生命周期状态感知关键技术研究**

研究内容：基于数字孪生的核电设备全生命周期状态感知关键技术，利用数字孪生思想，将核电设备多模态数据进行有效融合，建立核电设备一阶快速迭代选择虚拟模型，全面分析设备的设计、生产制造、运维流程数据，并研究基于深度学习的设备状态感知方法，实现核电设备异常状态的快速精准识别与预测。研究工作主要包括：研究核电设备多模态数据集成技术，建立核电设备多模态传感器数据融合模型与统一规范；研究基于数字孪生的建模关键技术，构建基于一阶快速迭代方法（FRA）的轻量化核电设备虚拟模型；研究核电设备全生命周期状态感知与高效的人工智能决策方法的系统测试与验证。

考核指标：提交研究报告1份，基于数字孪生的核电设备全生命周期状态感知建模算法技术报告。提供基于数字孪生的核电设备全生命周期状态感知模型算法（软件）。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。申请专利1项。

费用上限：15万。

* 1. **先进堆型换热设备流致振动分析研究**

研究内容：基于国内外相应准则给出的关于流致振动计算方法，对钠冷快堆换热设备的流致振动固有特性进行分析，同时通过对比CFD流速分布分析得出可靠性最高的最大横流速度计算方法。通过建立程序化模块判定是否会发生流致振动，并开展响应预测。研究工作主要包括：换热管束固有振动特性研究，对固有频率以及阻尼的计算和分析；开展换热管束流致振动分析，主要包括对漩涡脱落、湍流抖振及流弹失稳的计算和判定。

考核指标：提交研究报告1份，先进堆型换热设备流致振动分析研究。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：15万。

* 1. **适用于核电厂应急撤离量化评估方法研究**

研究内容：通过对应急撤离行为的研究，建立适用于核电厂的应急撤离量化评估方法，该方法可根据区域人口分布、路网结构信息等输入，对应急计划区内核电厂人员及场外公众事故工况下应急疏散时间进行量化分析，并且可实现不同场景（不利天气、不同疏散方案）下的撤离过程分析，最终实现核事故状态下应急撤离时间的估算。研究工作主要包括：确定核电厂应急撤离计算适用原则；开发核应急撤离量化评估方法，并建立疏散时间计算模型。

考核指标：提交研究报告1份，适用于核设施的应急撤离时间计算方法。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

* 1. **基于贝叶斯网络的核电系统和设备可靠性指标分配方法**

研究内容：研究安全要求指标与可靠性指标分配相结合的方法，即建立系统的贝叶斯网络作为可靠性分配的基础，结合考虑多种因素的层次分析法，得到核电厂各子系统和设备的可靠性指标。研究工作主要包括：研究不同维度的系统和设备可靠性信息；建立可靠性指标分配原则和分配流程；建立核电系统贝叶斯网络并给出可靠性指标分配方法。

考核指标：提交研究报告2份，包括基于贝叶斯网络的核电系统和设备可靠性指标分配方法、基于贝叶斯网络的核电系统和设备可靠性指标分配方法研究报告。提供用于可靠性指标分配的贝叶斯网络模型（软件）。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

* 1. **面向核电站数字孪生的堆芯时序大数据长时预测理论研究**

研究内容：开展核反应堆堆芯状态的三维时序长期预测方法相关关键技术研究，主要包括：（1）初始状态观测方法研究，研究具有GAN结构特征的堆芯初始状态观测方法，实现堆芯状态时序预测初始条件的精确重构，预期技术指标为：堆芯活性区内最大预测偏差<10%；（2）状态三维时序预测方法研究，基于堆芯三维初始状态重构数据，结合编码器-解码器网络结构，开展基于深度网络的堆芯状态三维长时间预测方法研究，预期技术指标为：最大预测时长>5min（无外部自动控制作用或人为因素干预）；（3）嵌套网络训练Loos函数的构造研究，将上述GAN与编码-解码网络融合嵌套，研究该嵌套网络训练过程中的Loss函数构造方式，以实现网络训练的快速收敛，满足堆芯状态时序预测的快速性与精确性要求，预期技术指标为：完成一次预测所需时间代价<30sec。

考核指标：提交研究报告3份，包括：基于超分重构的堆芯三维重构状态观测方法研究报告、基于编码-解码架构的堆芯三维时序预测方法研究报告、基于KNS与在线强化学习的堆芯三维状态预测实验研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。申请专利1项。

费用上限：18万。

* 1. **核电厂反应堆堆芯温度变化稳态模式挖掘与异常检测方法研究**

研究内容：综合利用多源信息融合、特征提取、协整分析、慢特征提取、动静协同等方法，开展核电厂反应堆堆芯温度测点的异常检测和定位关键技术研究，主要包括：开展反应堆运行的功率变化趋势与过程特性分析，建立条件驱动的稳态模式分析理念，实现精准划分典型稳态运行工况方法；基于各个稳态运行工况，开展发掘、提取反应堆堆芯多个热电偶探头测量值间的耦合规律分析；通过融合多测点测量值方式研究动静协同分析关键技术，从静态层面对比检测温度测点缓变漂移故障，从动态层面检测温度测点短时瞬变故障；结合采用变量贡献图、关联搜索、因果推理等方法开展异常测点定位、故障演变趋势追踪研究。

考核指标：提交研究报告3份，包括：反应堆运行的功率变化趋势条件驱动的稳态模式分析方法研究报告、反应堆堆芯多个热电偶探头测量值间的耦合规律分析研究报告、反应堆异常测点定位的变量贡献及因果推理方法研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

* 1. **基于微气泡的注氢工艺强化传质方法研究**

研究内容：针对气体注入方式对溶解速率的影响开展实验研究，旨在研发适用于压水堆直接注氢过程的注入装置，为反应堆注氢系统的安全运行提供技术支撑。包括：开展气泡破碎过程的动力学研究，研究气泡破碎过程的动力学机制，掌握流动参数以及物性参数对气泡破碎尺寸的影响规律；开展气泡溶解传质过程的机理实验研究，获得气泡尺寸以及流动参数对气泡溶解过程的影响规律，并建立气泡溶解模型；开展直接注氢过程的数值模拟研究，获得气泡初始尺寸以及注氢管道参数对气泡完全溶解所需传质长度的影响规律。

考核指标：提交研究报告3份，包括：注氢过程强化技术调研报告、微气泡传质机理实验报告、氢气泡溶解过程传质数值模拟报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

* 1. **双活塞腔室快速先导排放机理的阀门启闭过程流固动态特性研究**

研究内容：研究建立针对具有双活塞腔室结构的快速先导式隔离阀的流-固耦合计算模型和快速求解方法，揭示高温高压环境下快速先导式隔离阀的启闭特性，分析阀内双活塞、阻尼孔等对启闭特性的影响规律，提出主蒸汽释放隔离阀的最优化设计方法，实现关键参数的快速分析与最优设计，为快速先导式隔离阀的设计和安全稳定运行提供理论基础。

考核指标：提交研究报告3份，包括：核电主蒸汽释放隔离阀建模报告、核电主蒸汽释放隔离阀动态仿真分析报告、核电主蒸汽释放隔离阀参数优化设计报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：15万。

* 1. **容控箱内氮气对流扩散传质研究**

研究内容：研究容控箱内气体在液相内的对流-扩散传质过程。通过实验研究获得容控箱内气体溶解速率数据，建立此过程数学模型并开展数值模拟并与实验结果进行验证，分析气体在液相内的对流-扩散传质机制，得到能够适用于工程应用的容控箱内气体溶解速率关系式，从而为容控箱的设计提供指导。

考核指标：提交研究报告3份，包括：容控箱内气体对流扩散传质研究报告、容控箱内气体对流扩散传质数值模拟研究报告、容控箱内气体溶解速率工程分析报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

* 1. **核电厂冷源致灾水母的声学散射特性研究**

研究内容：针对核电厂冷源水母侵袭监测预警“卡脖子”问题，研究水母多种尺寸密度的声学散射特性，提出利用宽带声学监测系统和可控水母密度为研究平台，分析不同尺寸水母个体及集群的声学散射回波特性与频率响应，建立水母集群状态下的声学散射评估模型，形成水母声学原位监测预警的理论方法。研究工作主要包括：分析影响水母体声学散射的因素组织、尺寸及形状等；研究水母集群的声学散射特性，确定模型参数；用实测数据验证声散射模型。

考核指标：提交研究报告2份，包括：水母组织结构对宽带声学响应及特征频率分析报告、水母集群声学散射分析及散射模型构建方法研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。申请专利1项。

费用上限：15万。

1. **核电装备及其材料服役安全研究**
   1. **基于DIC技术的核电站大体积混凝土微裂缝无损监测方法与长期使用性能预测模型研究**

研究内容：开展DIC技术在核电站大型混凝土施工过程的适用研究，解决表面微裂缝时空演化规律及其在长期使用过程中的发展模型等关键科学问题，构建微裂缝影响下大体积混凝土长期使用性能预测模型。项目研究成果可为核电站大型混凝土施工质量和长期使用性能提供评判依据。

考核指标：提交研究报告3份，包括：DIC技术核电领域应用技术调研报告、基于DIC技术的混凝土表面微裂缝演化规律与模型研究报告、微裂缝影响下大体积混凝土长期使用性能评价报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

1. **核电人因可靠性与人机交互研究**
   1. **安全壳机械贯穿件泄漏率多工况计算模型研究**

研究内容：研究典型贯穿件密封接触界面微观细致结构的分形研究和数值重构；建立基于多孔渗流力学理论和方法构建密封界面泄漏率理论模型；结合有限元力学分析方法，对贯穿件密封结构的微观和宏观力学变形特性进行数值研究；在此基础上，构建包括温度、湿度、压力和密封材料等多参数的贯穿件泄漏率计算模型并进行实验验证；开发泄漏率多工况计算软件。

考核指标：提交研究报告3份，包括：安全壳机械贯穿件泄漏率预测方法及影响因素研究、大气温度和湿度对安全壳机械贯穿件泄漏率测量结果影响的研究、安全壳机械贯穿件泄漏率多工况计算模型研究。开发软件一套。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

* 1. **基于多源不确定性信息融合的核电厂人因关联关系建模及其在事故应急响应规程优化中的应用**

研究内容：以核电厂严重事故（如蒸汽发生器传热管断裂、主管道大小破口等）为对象展开研究，从现有的堆型中分析提取人因相关的融合信息，并对这一系列人因事件进行深入剖析，对其中的不确定性信息进行表达、对事件间的相关性进行建模、对各种影响因素随时间变化的特性进行分析，建立起一套基于多源不确定性信息融合的核电厂人因相关性模型，并基于模型研究优化核电厂严重事故缓解措施；通过建立优化后的严重事故缓解措施的人因模型进行人因可靠性的评估，实现不断反馈指导严重事故缓解措施的进一步优化。

考核指标：提交研究报告3份，包括：核电厂严重事故缓解措施中人因事件分析的多种不确定性信息建模方法研究报告、基于多源不确定性信息融合的核电厂人因相关性建模方法研究报告、基于多源不确定性信息融合的核电厂人因相关性建模方法优化严重事故缓解措施评估研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

* 1. **核电监控系统界面信息呈现的注意捕获机制及优化设计**

研究内容：面向核电数字化监控信息系统，研究核电厂操纵员注意捕获机制的认知规律，操纵员注意捕获机制和信息呈现之间的关系，建立核电厂操纵员的注意捕获机制模型；研究不同类别图符的色彩特征对操纵员注意捕获效应的影响，研究界面的信息层级的色彩呈现对认知绩效的影响；以信息突显方式作为变量, 围绕核电安注系统中弹窗的显示方式对警示线路的遮掩问题、警示线路的突显方式及其呈现位置等方面展开视觉搜索实验；探究核电信息特征对视觉搜索效率的影响，以预搜索实验范式开展实验，以信息特征作为实验变量，探究最优的信息呈现形式，获得信息特征、空间范畴等视觉标记的抑制效应；优化核电监控系统界面的信息呈现方式，包括核电图符与数据符的信息块呈现方式、信息特征色彩编码及界面的层级化色彩设定、界面布局等。

考核指标：提交研究报告3份，包括：核电监控系统视觉信息搜索的注意捕获机制研究、面向信息图符的色彩编码及层级化信息呈现注意捕获模型研究、面向监控任务的警示信息突显方式及信息视觉标记的抑制研究。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。申请专利1项。

费用上限：20万。

* 1. **基于工作重塑理论的核电厂调试团队绩效提升技术研究**

研究内容：以核电厂调试人员及团队为研究对象，研究工作重塑行为提升作业绩效的作用途径，研究个体因素、任务特征、领导风格等因素对工作重塑水平的影响机制，开发适用于核电厂作业团队工作重塑练习方法、干预和测量工具。主要包括：人员工作重塑水平测量和分析研究，分析不同团队及个体工作重塑水平的特点和差异；开展人员工作重塑干预研究，探索不同人格特质、不同工作经验、不同工作特征、不同领导风格对人员工作重塑水平及作业绩效的影响机制；探索适用于核电厂团队工作重塑练习和干预方法；研发适用于核电厂团队工作重塑水平和作业绩效测量和评估工具。

考核指标：提交研究报告3份，包括：员工工作重塑水平及作业绩效的影响机制研究报告、基于厂调试团队的团队工作重塑测量与干预技术研究报告、基于工作重塑视角的团队绩效评估工具开发研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：20万。

1. **核电先进测控及其可靠性研究**
   1. **蒸汽发生器瞬态工况下水位安全裕度评估关键技术研究**

研究内容：针对核电站蒸汽发生器水位控制系统在瞬态工况下控制品质普遍不高的现实问题，开展影响蒸汽发生器水位因素相关机理分析，建立瞬态工况下和全因素影响下的蒸汽发生器水位机理模型，完成机理模型验证；开发水位计算和预报实时仿真平台；建立基于水位短期预报开发水位控制安全裕度评估方法，为SG水位控制系统优化改进提供技术和理论支撑。

考核指标：提交研究报告3份，包括：蒸汽发生器瞬态工况下水位建模方法研究报告、蒸汽发生器水位模型实时仿真平台研究报告、水位预报及水位控制安全裕度评估方法研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。申请专利1项。

费用上限：20万。

* 1. **面向核电站二冷却回路流量的非侵入高精度光纤检测方法研究**

研究内容：以核电站二冷却回路为对象，研究管道声学传输模式以及环境噪声特性，基于声表面波和声学传播时间的原理，结合光纤光栅和光纤法布里珀罗谐振腔等光纤传感结构，提出一种基于光纤主动声发射的非侵入式高精度流量测量方法，并通过理论对该测量方法进行仿真分析，建立流量测量传感模型，并搭建实验模型进行验证。主要包括：（1）建立核电站二冷却回路的管道声学特性模型，研究管道的声学传输模式以及环境噪声特性，构建流量和声学模型之间的物理联系；（2）以光纤光栅和光纤法布里珀罗谐振腔为基础，研究并设计一种面向核电站二冷却回路流量的基于光纤主动声发射的非侵入式高精度传感系统，并进行理论仿真分析；（3）搭建实验系统模型，研究面向核电站二冷却回路流量的非侵入式高精度测量系统的传感特性，分析实验结果，逐步验证理论模型，并优化测量系统的参数。

考核指标：提交研究报告3份，包括：核电站二冷却回路的管道声学特性模型研究报告、面向核电站二冷却回路流量的非侵入式高精度光纤检测方法研究报告、面向核电站二冷却回路流量的非侵入式高精度光纤检测方法的测试研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。申请专利1项。

费用上限：20万。

* 1. **核电厂关键管线腐蚀失效规律及先进监测技术研究**

研究内容：本项目开展核电厂关键管线的腐蚀关键技术相关研究，主要内容包括：（1）核电厂关键管线及仪器仪表设备的腐蚀状态分析；（2）借助微电极、微生物检测探头等技术获得管道腐蚀介质环境特征，研究管道微生物腐蚀行为和规律，明确关键影响因素；（3）提出基于微生物细胞和生物膜活性的管道微生物腐蚀的监检测方法，开发微生物腐蚀监测探头；（4）基于核电厂关键管道的腐蚀现状调查和室内加速试验，探索腐蚀挂片、微生物检测探头、电阻探针、电感探针等先进探测技术用于核电厂关键管线腐蚀在线监测的可行性及可靠性；（5）形成针对核电厂复杂工艺环境条件下管线在线腐蚀监测新技术及预警新方法。

考核指标：提交研究报告3份，包括：核电厂关键管线及部件设备的腐蚀现状分析报告、核电厂工艺管道微生物腐蚀规律及关键影响因素分析报告、核电厂管线的在线腐蚀监测新技术研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：10万。

* 1. **动力电缆对仪控电缆的电磁干扰影响研究**

研究内容：针对核电站典型的动力电缆、仪控电缆敷设环境中电磁兼容特性，用实验的方式开展动力电缆对仪控电缆的电磁干扰影响分析研究，主要包括：核电厂易存在电磁干扰问题的动力电缆、仪控电缆的典型设计情况分析；研究论证当前标准中的最小隔离距离10cm的有效性和正确性；研究符合电磁兼容性要求的最小隔离距离；研究能够降低电磁干扰影响或提高电磁兼容性能的电缆隔离设计方法。

考核指标：提交研究报告3份，包括：间隔10cm电缆托盘隔离距离的有效性论证报告、电磁兼容性要求的最小隔离距离确定因素符合性分析报告、降低电磁干扰影响或提高电磁兼容性能的电缆隔离设计方法研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：15万。

* 1. **高效率位置灵敏中子探测用6LiInSe2晶体生长及器件制备**

研究内容：研究VB法生长直径30 mm的中子探测用6LiInSe2晶体及器件制备，为发展中子探测效率高、位置灵敏半导体中子探测器奠定技术基础。主要包括：（1）大尺寸6LiInSe2晶体生长条件的优化研究，完善多晶料的合成、坩埚材质和结构设计，控制6LiInSe2晶体化学计量比；基于垂直布里奇曼法，结合坩埚加速旋转技术（ACRT）获得大尺寸单晶。（2）6LiInSe2晶体中结构缺陷的表征及调控，本征点缺陷会严重影响晶体电阻率、载流子迁移率和寿命等电学特性，通过归纳各缺陷间的耦合关系，探索气氛退火处理工艺，调控6LiInSe2晶体中的结构缺陷。（3）6LiInSe2探测器的制备及对α粒子和中子的响应，提出探测器的电极结构设计与制备方法，建立晶体物理性能与α粒子和中子响应的关系，揭示影响探测器效率、时间响应和能量分辨率的主要因素。

考核指标：提交研究报告3份，包括：中子探测用6LiInSe2晶体生长方法的研究报告、6LiInSe2晶体掺杂方法研究报告、 6LiInSe2半导体探测器制备技术的研究报告。发表SCI/EI检索的期刊论文2篇，其中SCI不少于1篇。

费用上限：15万。