附件1：

“核电安全监控技术与装备国家重点实验室”2020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，依据相关文件《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》，现面向高等院校、科研机构和其它单位发布开放课题指南，重点资助国重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。

2020年度具体资助方向如下：

1. **核电安全状态及其量化评估研究方向**
   1. **多堆厂址始发事件及厂址环境对多堆风险研究**

研究内容：针对多堆场址安全评价的重要技术要素和影响多堆安全的场址风险，完善核电厂多堆场址安全评价（PSA）的研究内容和研究范围，建立较为完整的多堆PSA分析研究框架，主要内容包括：多堆厂址始发事件分类及频率研究，包括单堆始发事件，影响多堆的始发事件，发生在单堆的但会对厂址内其他机组产生影响的事件。开展多堆PSA的人员可靠性分析方法研究，合理评估多堆事故下的人员可靠性及相关行为因子，以及开展厂址地区气候条件对多堆风险的影响研究。

考核指标：提交研究报告3份：多堆PSA始发事件分析报告、多堆PSA人员可靠性分析方法研究报告、厂址地区气候条件对多堆风险影响评估报告。提交多堆始发事件清单1份。发表SCI检索的期刊论文1篇，EI检索期刊论文1篇。

费用上限：12万。

* 1. **核电厂动态故障树评价方法研究**

研究内容：研究各种动态故障树求解技术，选取使用静态风险评价技术存在保守性的核电厂特定事故情景，对具有显著的时序性特点的系统响应进行动态故障树分析，寻求并掌握一种适用于核电站系统风险评估的动态故障树技术或改良的动态故障树技术，从而现实地量化评估核电站风险。研究工作主要包括：动态故障树求解技术研究；核电厂特定事故情景下系统响应的动态故障树分析，至少采用2种动态故障树求解技术，并与传统的静态故障树求解结果进行比较分析。

考核指标：提交研究报告2份，包括：动态故障树求解技术研究报告；核电厂特定事故情景下系统响应的动态故障树分析报告（要求至少应用2种动态故障树求解技术）。发表论文不少于2篇，其中SCI检索的期刊论文不少于1篇，EI检索的期刊论文不少于1篇。

费用上限：12万

1. **核电风险预警与事故防控研究方向**
   1. **基于一、二回路工质能量流动态耦合模型的棒位设定值补偿控制策略研究**

研究内容：针对反应堆控制中存在的功率控制大滞后响应慢和温度控制易引发闭锁的问题，对堆机调控制策略进行优化分析，建立一、二回路工质能量流动态耦合模型，提升控制系统响应能力和控制品质。主要研究内容包括：建立基于一、二回路工质能量流动态耦合分析的全通道模型；采用实测数据对模型系统加以验证，对部分敏感模型参数，建立模型参数滚动更新机制；开发调节通道实时虚拟仿真平台，实现棒位调节通道动态仿真。

考核指标：提交研究报告3份：一、二回路工质能量流动态耦合模型报告；一、二回路工质能量流动态耦合模型验证报告；控制棒棒位补偿控制算法报告。发表SCI检索的期刊论文2篇，申请发明专利1项。提交虚拟仿真软件1套（含模型）。

费用上限：20万

* 1. **基于microTCD的核电变压器故障快速诊断方法研究**

研究内容：针对核电厂大型变压器故障早期诊断与状态评估的需要，通过对变压器典型故障的机理研究，分析变压器早期故障特征气体的参数。基于MicroTCD（微型热导检测器）传感技术，研究开发出检测浓度达到5ppm的广谱、高灵敏的特征气体检测传感器，再结合复杂混合气体分离的色谱分析技术，开发出广谱、快速、灵敏度高、准确度高的变压器故障诊断方法并进行实验室验证。

考核指标：提交研究报告4份：核电厂大型变压器典型故障机理分析研究报告；MicroTCD传感技术研究报告；基于MicroTCD的核电厂变压器故障诊断方法研究报告；故障监测方法实验室验证报告。发表期刊论文不少于2篇，其中SCI/EI各不少于1篇；申请专利1项。

费用上限：15万。

* 1. **反应堆堆芯燃料装载方案对堆芯出口温度波动的影响分析**

研究内容：研究反应堆堆芯出口温度波动的产生机制；基于现有典型的堆芯设计方案，用蒙卡方法进行堆芯建模，分析堆芯功率分布的情况；基于上述模型研究燃料装载方案中温度反应性系数的稳定性，进一步分析其对堆芯出口温度波动的影响机理；通过调整堆芯燃料装载方案来缓解堆芯出口温度波动。

考核指标：提交报告2份，内容包括反应堆堆芯出口温度波动产生机制的研究以及针对堆芯出口温度波动产生机制给出合理的缓解措施及方案。提交内部不同材料不同温度下的专用中子截面数据库一套。发表SCI检索的期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于1篇。

费用上限：15万

* 1. **核电系统反应堆功率自学习最优控制方法研究**

研究内容：研究核电机组反应堆功率自学习最优控制方法，解决系统动态模型构建、功率稳定跟踪、机组经济安全、系统抗扰动等难题。通过构建基于运行机理和数据的核电反应堆模型，设计基于自适应动态规划的自学习功率跟踪控制方法，对核电机组反应堆的底层控制进行协调优化，系统分析迭代自适应动态规划的稳定性和自学习最优控制系统的时间响应性能，并对受到扰动情况下的自学习鲁棒最优控制方法开展研究。

考核指标：提交研究报告3份：核电机组反应堆功率自学习最优控制研究报告；核电机组反应堆功率稳定迭代自学习最优控制性能分析报告；带有扰动的核电系统反应堆功率自学习最优控制研究报告。发表SCI检索期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于1篇。

费用上限：15万。

* 1. **多源异构数据融合的核电厂关键参数状态监测方法研究**

研究内容：研究多源异构数据融合的核电厂关键安全参数运行状态监测技术，基于数据驱动方法，将核电厂运行机组数据、模拟机数据、气象监测数据、环境监测数据和设备管理数据等多源异构数据进行有效融合，采用边缘计算和大数据分析等技术，建立能够覆盖全国在运核电厂机组实时数据集成的技术框架；研究新型径向基主元神经网络方法，建立核电设备运行状态实时检测与故障分析模型，并采用智能优化算法调整神经网络模型参数，提高模型准确度，实现核电运行状态的实时检测。

考核指标：融合多源异构数据不低于10种，运行状态监测模型准确性度达到90%。提交研究报告3份，包括：影响核电厂运行状态的关键参数调研及分析报告、核电厂多源异构数据融合管理规范与技术框架、基于新型径向基主元神经网络方法的核电设备运行状态实时检测与故障分析研究报告。发表SCI检索的期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于1篇，申请发明专利1项。提交包含多源异构数据融合的核电厂关键参数状态监测算法模块的核电厂大数据管理平台实验系统一套。

费用上限：15万

* 1. **基于贝叶斯智能预测算法的核电厂设备健康评估策略**

研究内容：探讨基于贝叶斯估计与先验分布的参数确定方法；研究采用贝叶斯统计假设检验求解后验机会比进行异常信号识及基于贝叶斯机器学习算法的核电厂设备健康评估策略研究报告别及故障预警的策略，以及基于贝叶斯因子与故障置信度计算的设备故障程度定量化分析方法；利用故障历史数据与故障仿真系统建立故障数据库，开发基于贝叶斯网络原理与聚类算法的设备最大可能性故障评估诊断方法；研究基于生命周期与故障波形匹配算法的设备剩余使用寿命定量化评价模型；针对开发的评估策略，搭建线下建模程序与线上评估系统，并以比例阀、转子、发电机等设备为案例，与阈值法、滑动窗口法等方法对比，进行系统可靠性验证。

考核指标：提交基于贝叶斯机器学习算法的核电厂设备健康评估策略研究报告；核电设备故障辨识策略的Python程序及系统使用手册。 发表SCI检索的期刊论文不少于2篇；软件著作权1项。

费用上限：20万

* 1. **核电厂弹性控制技术研究**

研究内容：基于运行数据和机理模型，研究核电厂主要过程和设备的自抗扰控制方法，增强核电厂对过程和测控设备故障等破坏性扰动的抵御能力；针对重要的破坏性扰动，研究机组的主动容错控制方法，抑制破坏性扰动的影响范围、维持机组稳定运行；研究建立核电站弹性控制性能指标以及弹性控制性能指标的在线估计方法；针对核电厂自抗扰控制方法、主动容错控制方法和弹性控制性能评估方法可行性验证研究。

考核指标：提交研究报告4份，主要涉及自抗扰控制方法、主动容错控制方法、弹性控制性能的评估方法和核电厂弹性控制的仿真验证等方面。发表SCI检索的期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于2篇。

费用上限：15万

1. **人因可靠性与人机交互研究方向**
   1. **核电厂操纵员态势感知方法研究与应用**

研究内容：研究信息呈现方式与操纵员态势感知理论关系，提出增强操纵员态势感知能力的信息表达方法；研究报警信息与关联信息之间的对应关系，将报警原因和传播过程可视化，辅助操纵员理解电厂当前状态的报警根本原因和次要原因；研究操纵员作业所需功能要素与电厂人机界面功能完备性表达关系，使操纵员能快速获取必要信息，制定应对策略，提升态势感知能力。

考核指标：提交完整的研究成果报告1份，包括：信息呈现方式与操纵员态势感知理论关系分析；报警信息与关联信息之间的对应关系分析；操纵员作业所需功能要素与电厂人机界面功能完备性表达关系分析。发表SCI检索的期刊论文1篇，EI检索期刊论文1篇。发明专利受理1项或软件著作权1项。

费用上限：15万

* 1. **基于故障机理与大数据融合的核电站汽轮机状态演变机制的研究**

研究内容：研究核电汽轮发电机组机械和热力动态对象特性，以及影响汽轮机发电机故障的因素，构建时空多尺度特性的故障机理模型；利用大数据统计特性开展汽轮机参数识别及汽轮机状态阈值分析，建立准确的汽轮机状态模型；研究多种扰动的核电站汽轮机自适应状态演变趋势预测理论。内容包括：核电站汽轮机时间多尺度特性的状态空间故障机理研究，故障机理与大数据融合的汽轮机状态模型构建方法研究，基于多种扰动的核电站汽轮机自适应状态演变趋势预测理论研究。

考核指标：提交研究报告3份，含核电站汽轮机时间多尺度特性的空间状态的故障机理研究报告；故障机理与大数据融合的汽轮机状态模型构建方法的研究报告；基于多种扰动的核电站汽轮机自适应状态演变趋势预测的理论研究报告。发表SCI检索的期刊论文不少于2篇，EI检索期刊论文不少于1篇。提交汽轮机状态模型1套。

费用上限：15万

* 1. **基于数据驱动的蒸汽发生器液位控制系统高效优化方法研究**

研究内容：面向液位控制系统性能优化，研究蒸汽发生器液位控制性能的量化评价方法，建立一种能客观、有效表征蒸汽发生器液位控制系统性能的量化指标，并应用该指标进行控制系统性能评价；研究无模型优化方法，解决传统液位控制性能优化方法存在的成本高、效率低、过度依赖仿真模型准确度和调试工作经验等问题，利用有限试验数据和运行数据实现液位控制系统高效性能优化，实现优化搜索方向与步长的自适应调整和有效应对测量噪声及干扰；通过模拟典型的应用场景和工况，对优化方法的有效性进行系统性测试与验证。

考核指标：提交研究报告3份：一种蒸汽发生器液位控制性能的量化评价方法研究报告；基于数据驱动的蒸汽发生器液位控制优化方法研究报告；基于仿真模型的蒸汽发生器液位控制优化方法的模拟验证研究报告。发表论文不少于2篇，其中SCI检索的期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于1篇。发明专利受理1项或软件著作权1项。

费用上限：15万

* 1. **基于模糊智能诊断的关键功能组异常实时检测方法研究**

研究内容：基于核电站关键工艺过程分析影响电站运行功能的设备，确定影响功能的关键设备组，研究核电站关键设备组异常实时智能检测方法，主要包括：关键设备组的功能或性能异常的统计特征量定义方法；定义表征关键设备组异常的特征统计量，以实现系统异常的检测与诊断；系统异常的检测方法，建模方法；系统异常的故障预测方法及异常源的监测方法；通过故障的预测，定位相互关联和相互耦合后的异常源。

考核指标：提交研究报告2份：包括相关内容的国内外文献综述、电厂关键设备组异常的实时检测方法报告和关键设备组异常源诊断方法研究报告。发表SCI检索的期刊论文不少于2篇。

费用上限：20万

1. **核电装备服役安全研究方向**
   1. **核用不锈钢构件表面超高速激光熔覆无钴耐磨耐蚀高性能涂层研究**

研究内容：研究核电设备奥氏体不锈钢构件磨损腐蚀复合失效损伤机制与超高速激光熔覆表面改性前处理技术，揭示典型构件(蒸汽发生器排污系统截止阀密封面)核电服役工况条件下，失效损伤机理。基于核电典型构件(蒸汽发生器排污系统截止阀密封面)服役工况，设计核用奥氏体不锈钢表面改性专用无钴合金材料，同时研制雾化制粉装备及制粉工艺，为构件表面改性提供超洁净、高致密度、高球形度的高性能合金材料粉末。开展构件表面超高速激光熔覆涂层工艺及控形控性机理研究，开发自适应加工、热处理等后处理工艺，形成核电设备奥氏体不锈钢构件(蒸汽发生器排污系统截止阀密封面)表面超高速激光熔覆无钴耐磨耐蚀合金涂层工艺设计技术规范。开展超高速激光熔覆涂层内部损伤的无损检测方法研究，完成零件缺陷的表征与可用性评价。

考核指标：提交核电用不锈钢构件表面超高速激光熔覆无钴耐磨耐蚀涂层研究报告一份，工艺设计技术规范1份。发表SCI检索期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于1篇。

费用上限：20万

* 1. **基于超低部署的核电安全人员跟踪技术研究**

研究内容：利用行人的运动模式、物理规律、磁场信号、以及单兵辅助信号等摆脱惯性导航对于外界信号的依赖和干扰，构建独立自主导航系统，解决自主惯性导航系统的实用化问题；结合核电厂区的地图，智能提取及融合地图墙体和楼梯等信息，研究惯性跟踪导航技术长期累积误差修正技术。主要内容包括：）自主修正的人员惯性跟踪技术研究；轻量级智能地图融合修正技术研究。

考核指标：提交技术报告3份：包括核电厂无线定位技术及法规标准调研报告；自主修正的人员惯性跟踪技术报告；轻量级智能地图融合修正技术报告。室内定位精度不少于0.5米。发表SCI检索的期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于1篇。

费用上限：15万

* 1. **新型钙钛矿材料在gamma射线探测研究**

研究内容：研究和开发具有高灵敏度、高能谱分辨率、低探测限域、抗辐照性能好，并且成本低的金属卤化物钙钛矿辐射探测新材料。建立材料晶体生长的新方法，有效的降低晶体材料的缺陷态密度；提出最优化的器件结构设计方案，有效地降低器件中的损耗，提升器件探测的灵敏度。内容包括：金属卤化物钙钛矿单晶的生长机制研究，钙钛矿单晶的缺陷调控机理研究，以及器件的结构优化研究。

考核指标：提供探测材料样品，辐射探测材料参数如下：材料的缺陷态密度< 109 cm-3, 灵敏度>50000 uC⋅Gyair-1 ⋅cm-2，能谱分辨率< 6%, 光电转换效率>6000 e/Kev, 暗电流密度 <10-10 A⋅cm-2。至少提交研究报告两份：金属卤化物钙钛矿晶体材料制备方法的研究报告；探测伽玛射线的指标参数报告。发表SCI检索的期刊论文1篇，EI检索的期刊论文1篇。

费用上限：15万

* 1. **光纤流量测量技术研究**

研究内容：提出并设计适用于管道外安装的非接触式光纤流量传感系统，并研究高灵敏度的光纤超声波探头，通过超声波穿过管道流体后的信号变化，建立流量变化与超声波频率及强度间的物理联系，获取管道内流量的精确值。主要内容包括：通过仿真分析管道内特定流体的流量和流速对超声波频率和强度的作用规律，确定超声波的工作频率范围及光纤超声波探头的安装方式及位置；以膜片式光纤Fabry-Perot干涉仪结构为基础，结合理论建模和实验分析手段，设计并研究高灵敏光纤超声波探头的结构及工作机理；搭建差分式超声分析的光纤流量探测的实验系统，基于多普勒效应和时域特点分析不同流量条件下的超声波频率及强度的变化规律，对传感系统进行优化；在实验参数优化基础上，探明传感系统工作的具体原理和传感性能影响因素。

考核指标：提交研究报告1份，包括相关研究进展的国内外文献综述，光纤流量测量关键技术、问题及建议总结。发表SCI检索期刊论文2篇。

费用上限：15万

* 1. **核电厂辐射探测器的辐照损伤修复及屏蔽技术研究**

研究内容：研究高能粒子辐照对碲锌镉核辐射探测器深能级缺陷的影响机理，获得深能级缺陷的有效调控机制，提高核辐射探测器工作寿命；研究损伤修复手段对碲锌镉核辐射探测器性能提升的影响，屏蔽体材料对碲锌镉核辐射探测器寿命影响分析和可靠性检验。

考核指标：提交技术报告2份，包括核电厂辐射探测器的辐照损伤机理分析报告；核电厂辐射探测器的辐照损伤修复及屏蔽技术报告。发表SCI检索期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于1篇。

费用上限：15万

* 1. **焊接残余应力对破前漏技术应用的影响研究**

研究内容：以核反应堆典型的奥氏体不锈钢和碳钢高能管道为研究对象，通过文献调研系统归纳总结焊接残余应力的简化确定方法。通过有限元数值模拟计算，研究焊接残余应力对LBB裂纹张开位移和裂纹稳定性的影响机理和影响效果，建立合理的分析模型或者标准化计算流程。研究焊接残余应力对LBB泄漏监测系统灵敏度设计要求的影响。

考核指标：提交研究报告4份：核反应堆高能管道焊接残余应力的简化确定方法研究报告；焊接残余应力对LBB裂纹稳定性的影响研究报告；焊接残余应力对LBB裂纹张开位移的影响研究报告；焊接残余应力对LBB泄漏监测系统设计灵敏度要求的影响分析报告。发表SCI检索的期刊论文1篇，EI检索期刊论文1篇。提交考虑焊接残余应力的LBB断裂力学分析模型或标准化计算流程。

费用上限：15万

* 1. **基于SLM不锈钢特征组织的离子辐照损伤影响机制研究**

研究内容：以选区激光熔化（SLM）技术制备的核用304L不锈钢为研究对象，系统研究SLM核用304L不锈钢的组织结构特征。对比研究SLM打印沉积态、热处理态和传统锻造三种组织结构样品的H+离子和He+离子辐照行为，探索材料性能优化的策略和机制。具体研究内容包括：开展材料微观组织结构特征研究，对SLM沉积态和热处理态的304L样品进行显微组织分析表征，通过与传统锻造不锈钢对比，全面掌握SLM 304L不锈钢的微观组织结构特点。开展辐照损伤行为研究，对样品进行H+和He+高温离子辐照，分析表征辐照后材料的位错环密度、成分偏析、辐照硬化行为，阐明胞状亚晶和氧化物颗粒影响辐照损伤的行为和机理。

考核指标：提交研究报告4份，包括组织结构特征研究报告，热处理研究报告，H+辐照损伤研究报告以及He+辐照损伤研究报告。发表SCI检索期刊论文不少于1篇，EI检索期刊论文不少于2篇。

费用上限：15万

* 1. **室内电磁辐射环境分析、监测与辨识技术研究**

研究内容：针对智慧核电建设中对日趋复杂和恶劣的室内电磁环境，利用基于少阵元天线阵列的多源、多场区环境信号辨识方法和抑制方法开展室内电磁环境分析和测试，辨识主要辐射源；基于腔体理论和混响室理论，开展辐射源引入对厂房内电磁环境影响的分析。主要研究内容包括：基于少阵元天线阵列的多源、多场区环境信号辨识和抑制方法、基于少阵元天线阵列的核电站厂房内电磁环境测试与辐射源辨识技术、核电站电磁敏感区域的场分布特征分析、室内移动终端的数量、分布与工作状态对室内电磁场分布的影响。

考核指标：提交研究报告3份：含基于少阵元天线阵列的电磁环境辨识和抑制方法分析报告，核电站厂房内电磁环境测试与辐射源辨识技术研究报告，移动终端对电磁敏感区域场分布的影响分析报告。发表SCI检索的期刊论文1篇，EI检索期刊论文1篇。

费用上限：15万