

## 附件 2

# 国家自然科学基金企业创新发展联合基金 2020 年度项目指南（第二批）

### 能源领域（中国广核集团有限公司）

本年度拟在以下研究方向以重点支持项目形式予以资助，直接费用平均资助强度约为 260 万元/项。

重点支持项目研究方向：

1、快堆包壳材料辐照及铅铋腐蚀性能机理研究（申请代码 1 选择 A05、E01、E04 或 E13 的下属代码）

针对先进奥氏体不锈钢包壳材料，研究不同成分和工艺的包壳材料在离子辐照条件下的辐照肿胀、辐照析出相等影响材料辐照后性能的机理，以及材料在高温铅铋环境中的腐蚀机理，获得提高材料抗辐照和铅铋腐蚀性能的方法。

2、超常环境用新型纳米相增强抗辐照超高强度钢研究（申请代码 1 选择 E01、E04 或 E13 的下属代码）

针对强辐照及高承载耦合等超常应用环境，开展新型纳米有序第二相增强抗辐照超高强度钢研究，深入探究极小尺寸纳米析出在强辐照/热力交互作用下稳态存在机制，以及析出相动态行为、共格有序无序结构本身与抗辐照性能的关联，建立采用内生共格析出方法获得优异抗高温辐照性能的物理机制，实现钢材强

韧性和抗辐照性能的大幅提升，为提升结构材料高温下的高强度和耐辐照性能提供解决方案。

3、镍基合金超声电弧焊缝组织演化和性能影响机理研究（申请代码 1 选择 E05 的下属代码）

针对核级镍基合金焊接技术需求，研究镍基合金超声电弧焊（电超声）不同焊接条件下焊接接头的机械性能，探索焊接接头的微观组织对机械性能的影响机理，研究不同焊接条件下所获得的焊接接头的微观组织演化规律，建立镍基合金超声电弧复合工艺-焊接接头微观组织演变-焊接接头力学性能之间的内在关联体系。

4、惰性基体包覆颗粒弥散燃料辐照-热力耦合行为研究（申请代码 1 选择 A05、E01、E04、E05 或 E13 的下属代码）

研究包覆燃料颗粒、惰性基体辐照-热力耦合行为及其相互作用机制；研究裂变产物在燃料颗粒及惰性基体中的扩散机理及行为；探索辐照损伤效应对惰性基体包覆颗粒弥散燃料堆内行为的影响规律；分析多场耦合条件下燃料元件的失效机理。

5、核用碳化硅复合包壳材料中子辐照损伤行为及机理研究（申请代码 1 选择 A02、A05、E02 或 E13 的下属代码）

碳化硅纤维、界面和基体在中子辐照条件下的损伤行为和包壳性能退化机制；碳化硅包壳连接接头的抗中子辐照性能评估及失效分析；元素组分和微纳尺度结构与中子辐照性能的相关性及作用机制。

6、锆合金表面涂层的辐照及氧化性能研究（申请代码 1 选择 E01、E04、E05 或 E13 的下属代码）

锆合金表面涂层制备技术和工艺优化及界面表征；中子辐照条件下（辐照剂量 0.1~3dpa），微量元素和界面设计对涂层服役性能的影响机制；1000℃-1400℃高温蒸汽条件下的涂层氧化、扩散和失效机理；涂层锆合金的涂层开裂、点腐蚀、涂层脆裂、共熔涂层和过度变形等新失效模式研究。

7、高铀密度燃料制备与服役环境下的物质迁移与性能影响机理研究（申请代码 1 选择 B06 的下属代码）

UN 与  $U_3Si_2$  材料化学转化合成或制备机理研究；UN、 $U_3Si_2$  及其复合燃料在温度、应力、电场、辐照等环境下的物质迁移行为以及对宏观性能影响机理。

8、基于材料-热工-中子行为的堆芯多物理耦合机理研究（申请代码 1 选择 A05、E01、E04、E06 或 E13 的下属代码）

针对现有水冷反应堆包壳材料氧化、腐蚀条件下的堆芯中子物理行为；揭示包壳材料表面形貌及组份对流动传热的影响规律；阐明材料腐蚀-流动传热-中子物理耦合机制，并开发相应的耦合分析模型。

9、高压水与液态铅铋合金作用机理实验研究（申请代码 1 选择 A05、E04、E05 或 E06 的下属代码）

高压水在熔融铅基合金中的传热传质过程、熔融铅基合金-水相互作用现象及机理、蒸汽泡在流动铅基合金中的迁移规律、

蒸汽泡对换热性能影响，以及该事故引起的液态重金属晃动及其对堆内构造物冲击载荷等方面的机理实验，开发相应的分析技术与评估模型，揭示破口事故现象的特征及其机理。

10、螺旋管内高温差、高过热度流体传热和流动特性研究（申请代码 1 选择 A02 或 E06 的下属代码）

研究高温差、高过热度螺旋管式直流蒸汽发生器螺旋管内核态沸腾两相流摩擦压降与传热特性，获得通用的传热关系式；研究高温差、高过热度对螺旋管流动不稳定性的影响，获得流动不稳定性谱图。

11、Po 在铅铋和惰性气体环境中的化学形态及迁移研究（申请代码 1 选择 B06 的下属代码）

Po 在铅铋和惰性气体环境下的化学形态研究；Po 在气液界面的转化过程研究；熔融 LBE 合金中，Po 在水蒸气、氢气等不同载带气氛下的化学形态研究；不同形态 Po 的迁移能力研究。

12、超临界二氧化碳与铅铋合金双向耦合传热特性研究（申请代码 1 选择 A05、B08 或 E06 的下属代码）

针对在微孔道换热器中重金属与超临界二氧化碳的耦合传热机理不明确现状，开展液态重金属与超临界二氧化碳双向耦合的传热和流动机理研究，获得微孔道换热中超临界二氧化碳与液态重金属的传热和流动关系式，同时研发微孔道换热器的换热强化方法。

13、熔盐体系中铜系元素组分离方法研究（申请代码 1 选择

A05、B06 或 E04 的下属代码)

探索氯化物、氟化物或其他新型熔盐体系中乏燃料中锕系元素的组分离方法；锕系元素、镧系元素以及其他裂变产物在熔盐中的配位结构、光谱性质以及分离行为研究；利用新方法进行模拟乏燃料的锕系组分离实验研究。

14、固体堆芯瞬态过程多物理场响应特性研究（申请代码 1 选择 A05 的下属代码）

针对固态反应堆堆芯开展强瞬态条件下系统响应特性研究，探究事故工况和运行条件瞬变对堆芯运行状态的影响机制；探索强瞬态效应对堆芯基体非均匀形变的影响机理；研究固体堆芯非均匀形变和动态几何条件下反应堆中子物理行为、传热特性、蠕变行为等多物理耦合特性，开发一体化高保真耦合模拟方法。

15、表面污垢对核燃料临界传热的影响机理及特定污垢水平对反应堆热工水力设计基准的影响研究（申请代码 1 选择 A05 或 E06 的下属代码）

表面污垢对核燃料临界传热的影响机理；考虑污垢效应的临界热流密度关系式开发；特定燃料污垢水平对反应堆热工水力设计基准的影响研究。

16、典型致灾藻类微生物溶藻机理及应用研究（申请代码 1 选择 B08 或 E10 的下属代码）

针对浮游藻类在核电厂取水海域、湖泊和河流中大规模爆发严重影响核电厂取水安全和其他日常生产活动问题，构建海水特

定环境下溶藻菌库，评价对典型致灾藻类的溶藻性能和生物安全性，优化发酵工艺，并研发高效溶藻菌生物制剂；解析溶藻菌溶藻机制和机理，最终获得高效、安全、绿色的溶藻菌生物制剂，调控有害藻生物量及水生态系统，以生态手段治理典型致灾浮游藻类爆发对核电厂冷源取水及相关生产活动影响，减少经济损失。

17、新型固相吸附材料对放射性气体 H-3/C-14 以及惰性气体 Xe/Kr 的吸附浓缩分离纯化及其机理研究（申请代码 1 选择 B05、B06 和 B08 的下属代码）

设计及制备具有纳米孔道的新型固相吸附材料；研究材料的孔径和含有极性基团的数目和类别对 H-3/C-14 以及惰性气体 Xe/Kr 吸附的亨利系数和同位素分离比；研究材料对放射性气体选择性吸附分离机理；评价材料的稳定性及重复利用性；建立新型放射性气体吸附浓缩纯化流程并获得关键参数。开发放射性气体的力场参数；发展适用于放射性气体吸附的多尺度理论模型。

18、新型辐射探测与防护前沿材料与技术（申请代码 1 选择 A05、B06、E03 或 E13 的下属代码）

获得新型可用于 X/ $\gamma$  射线及中子探测的有机无机杂化材料；发展可编织穿戴的柔性辐射探测材料与器件等；探索裂变-闪烁双信号读取闪烁体材料。设计制备面向核电的新型柔性中子/ $\gamma$  射线复合防护/屏蔽材料；获得基于高分子材料的高温高辐照场下的中子防护材料；发展铀基辐射防护新材料。基于宏（微）观

多种辐射环境，研发新型高分子辐射剂量测量材料，开发适用于辐射监测的人工智能评估新技术，通过人工智能、大数据分析和统计分析方法精准重建辐射环境剂量分布，最终实现构筑辐射剂量测量-评估-重筑一体化大平台。

19、新型乏燃料后处理核素分离方法研究（申请代码 1 选择 B05、B06 或 B08 的下属代码）

系统研究铜系元素在复杂无机盐固体化合物体系中的晶体结构和成键性质周期性化学行为规律；探索铜系非常规价态化合物的制备方法；发展新型组分离结晶系统。