

# 欧盟可持续核能技术平台发布新版核能战略研究议程草案

原创 CASEnergy 先进能源科技战略情报研究中心 今天



先进能源科技战略情报研究中心

欧盟可持续核能技术平台（SNE-TP）日前发布新版《可持续核能战略研究议程》草案，提出了欧洲核能领域未来将开展的研究和开发优先事项。SNE-TP在欧盟战略能源技术规划（SET-Plan）框架下成立，旨在整合和提升欧洲核裂变能研发能力以推动欧洲先进核能技术发展，助力欧洲实现能源系统2050年转型目标，并使欧洲在民用核能领域保持技术和行业领先地位。本次更新议程共提出了3大技术主题领域的研发事项：（1）反应堆技术，涉及：运行和建造，在役检查、资格审查和无损监测，先进反应堆和下一代反应堆，小型模块化反应堆；（2）使能技术，涉及：核电厂安全，燃料开发、燃料循环和乏燃料管理，核电厂退役，社会、环境及经济条件；（3）交叉领域技术，涉及：数字化、建模与仿真，材料。具体内容如下：

## 一、反应堆技术

### 1、运行和建造

该领域将重点关注如下主题：识别和分析金属部件老化机制，开发监测系统和预测工具以减缓其老化；增进对长期辐照条件下混凝土性能的认知，并开发监测方法；开发电缆状态监测和建模方法；基于物理建模和在线监测数据，开发反应堆主要部件的数字化模型；使用人工智能、虚拟现实、3D成像等先进技术降低反应堆的建造、维护、停机等成本，并提高其安全性。

### 2、在役检查、资格认证和无损监测

该领域将重点关注如下主题：为所有机械组件开发带风险预警功能的在役检查系统；了解阻碍国家间认证转移的技术（及其他）障碍，开发应对方法或规程；可检查性设计；验证无损检测检验模拟软件的准确性；探索新的核电厂状态无损监测方法；高质量、简单、可靠的组件接口。

### 3、先进反应堆和下一代反应堆

**(1) MYRRHA项目。** MYRRHA是欧盟正在进行的铅铋加速器驱动研究堆，用于验证双重燃料循环中高放废物的嬗变。该项目将重点进行如下研究：①燃料和材料研究，包括混合氧化物燃料与冷却剂的相互作用，瞬态过程中燃料棒失效极限，包壳腐蚀，铅铋合金冷却剂中材料的机械性能，耐腐蚀涂层等；②冷却剂化学控制，包括冷却剂自身控制（氧浓度、质量传递、杂质管理），反应堆系统中放射性物质的释放和捕捉，反应堆部件清洁；③热工水力，包括研究流形以及潜在的滞留和分层，湍流传热建模，地震的热工水力效应以及诱发晃动的潜在影响，潜在冷却剂冻结过程研究；④组件测试，包括验证所有运行条件及瞬态条件下堆芯的完整性和可冷却性，通过对流固耦合引起的压降和振动进行实验和数值评估以评估事故场景中的故障风险，异常情况（如地震）下安全棒和控制棒的插入时间和可靠性评估，反应堆主泵液压设计的原理验证测试以及叶轮和轴承防腐蚀测试，燃料处理机的原理验证和可靠性测试；⑤加速器可靠性测试，进一步提高加速器部件的可靠性并开发快速容错恢复方案；⑥仪表和反应堆控制，包括反应堆仪器测试以及反应堆控制评估；⑦仿真工具代码验证，涉及热工水力、化学、中子学、机械性能等方面；⑧安全性评估，尤其要考虑严重事故等极端情况。

**(2) 钠冷快堆 (SFR)。** 欧盟正开展的ASTRID项目为钠冷快堆原型反应堆，用于示范闭式燃料循环中的钠冷却剂技术。基于前期基础，将重点围绕如下主题研究：①设计与安全性研究，确定由ASTRID钠冷快堆设计衍生出的商用1000 MW快堆的功能描述和草图，并探索如何使钠冷快堆具备大型反应堆的成本竞争力；②仿真和代码验证，包括堆芯多尺度和多物理现象建模，严重事故中物理现象建模，反应堆化学风险评估；③燃料及材料鉴定，增加对高燃耗时燃料的认知，以及对将奥氏体不锈钢作为包壳材料时的性能评估；④仪器检查技术，开发可直接在钠冷却剂中操作的传感器和技术，尤其是用于速度测量的涡流流量计、中子测量（高温裂变室尽可能靠近堆芯）、利用声学传感器进行缺陷探测和目标可视化。

**(3) ALFRED项目。** ALFRED是欧盟正开展的铅冷却示范反应堆，用于示范闭式燃料循环中的铅冷却剂技术。该项目将重点进行如下研究：①开发解决冷却剂腐蚀的策略和技术，包括材料开发、冷却剂化学、表面处理等；②燃料处理以及在役检查和维修；③其他主题，包括燃料冷却剂相互作用、冷却剂中裂变产物研究、严重事故的进程及现象学研究等。

**(4) 气冷快堆 (GFR)。** 将重点围绕如下主题进行研究：①燃料系统开发，尤其关注正常和意外条件下燃料的材料特性和性能研究；②陶瓷或难熔包壳材料的选取、开

发和测试；③现有计算工具和核数据库用于气冷快堆设计验证；④极端条件下余热排出系统的电气保障；⑤制定应对严重事故的策略。

**(5) 高温反应堆 (HTR)**。高温反应堆的技术成熟度相对较高，将重点围绕如下主题研究：①冷却剂出口温度为750-850°C的高温反应堆示范和许可；②高温反应堆与热电联产及其他终端应用的结合；③燃料制造的高性能、低成本质量控制，以及用于替代燃料循环或超高温反应堆的新型结构和功能材料（尤其是难熔金属和陶瓷复合材料）的开发和测试；④完善最大限度减少核废料的技术，如对被辐射的石墨进行净化和再循环，或将基质石墨中的三结构同向性型 (TRISO) 颗粒分离或再循环。

**(6) 熔盐堆 (MSR)**。将重点围绕如下主题研究：①熔融盐成分的物理和化学表征；②液体燃料行为分析与开发；③结构材料鉴定；④系统仪表和控制；⑤用于熔盐堆原型的组件设计规则修改建议；⑥开发现场燃料处理概念；⑦堆外和堆内模型开发；⑧熔盐示范堆开发。

#### 4、小型模块化反应堆 (SMR)

**(1) 轻水堆 (LWR)**。将重点围绕如下主题研究：①堆芯，其重点是在无可溶硼设计中使用可燃毒物；②容器及其内部零件，开发紧凑型热交换器及相关制造工艺；③使用被动安全系统应对各种意外情况；④严重事故处理策略，尤其将注意堆芯保留策略以及堆芯老化和熔化的应对；⑤缩短现场施工时间；⑥研究由于采用一个监控室监控多个模块的方式引起的人为因素问题；⑦概率安全分析；⑧许可方面，开发通用的水冷 SMR 安全分析方法以及设计评估方案。

**(2) 先进模块化反应堆。**该领域将主要围绕如下方面进行研究：①实现SMR批量制造的相关研究，包括简化设计、紧凑型设计、更适合制造的设计、尽量使用商业化元件；②与工业应用结合的相关研究，包括确保工业过程与反应堆运行中的事故不会互相影响，以及通过开发负荷跟踪模式、储热技术和改变热量和电力生产比例使反应堆能够满足工业应用中波动的电力需求。

## 二、使能技术

### 1、核电厂安全

该领域将重点关注如下主题：开发扩展现有概率安全评估范围的方法；研究长期和多单元的安全功能丧失；开发和验证确定性和概率性安全分析的高级工具和方法；在电厂中集成新设备（变频器、真空断路器等），评估其影响并降低其可能产生的压力；设计事故和停机条件，用于欧洲其余反应堆实验装置；被动安全系统执行指定功能能力的安全性和可靠性评估；数字仪器和控制系统可靠性评估方法及其与概率安全评估的集成；容器内和容器外熔体/碎片的可冷却性；缓解安全壳内气体爆炸的风险；事故源项评估和缓解；乏燃料池事故缓解工具。

### 2、燃料开发、燃料循环和乏燃料管理

该领域将重点关注如下主题：开发安全经济的新燃料；改进装配设计和制造；改进和验证燃料预测性能和安全工具；改进辐照后检验方法；确保关键实验设施的可用性；

开式循环的乏燃料管理和处置的集成。

### **3、核电厂退役**

该领域将重点关注如下主题：通过设计、材料选择、操作措施、有效的拆除技术以及开发先进的废物处理和调节技术，最大限度地减少核废料的产生。

### **4、社会、环境及经济方面**

该领域将重点关注如下主题：通过确定性和概率性安全评估以提高可用因子并优化安全裕度和功率提升；改进被动安全功能以提高运营经济性；通过泛欧交流使民众增进对核电的了解；分析包括电网干扰在内的间歇性外部负载对现有和新核电站安全功能的影响；分析新型危害（如无人机袭击、网络病毒等）对核电厂安全功能的影响；气候变化对核电厂运行的影响。

## **三、交叉领域技术**

### **1、数字化、建模与仿真**

该领域将重点关注如下主题：开发和验证多尺度、多物理场和多阶段分析工具，包括不确定性量化方法；开发确保整个生命周期内的数字连续性的方法；数字化过程与网络安全的整合；数字化模型。

### **2、材料**

该领域将重点关注如下主题：先进制造方法的更广泛应用；物理机理研究和相关模型开发；开发辐照后具有更好的耐高温和耐腐蚀性能的材料；材料性能鉴定的相关方法，尤其是焊缝和接头、内部应力评估和在线监测；核材料测试基础设施的使用和维护。

