

国外快堆要闻简报

—独立、全面、客观



主 办 快堆产业化技术创新战略联盟
承 办 中国核科技信息与经济研究院

目 录

重点关注

重点快堆技术季度进展情况	1
钠冷快堆.....	3
◆ 美企合作在怀俄明州推进 Natrium 示范项目建设	3
◆ 国际原子能机构发布基于 BN-1200 机组电力系统可持续性的技术文件	3
其他快堆.....	4
◆ 全球首座铅冷示范快堆正式启动建设.....	4
◆ 多机构合作在美华盛顿州推进 Xe-100 小堆部署	5
快堆燃料循环.....	5
◆ 美能源部为奥克洛提供资助 推进先进核燃料技术商业化..	5
快堆装备制造.....	6
◆ 英国海伍德泰勒为美国泰拉能源提供高温熔盐泵.....	6
◆ 美能源部资助熔盐堆材料的研究.....	7
快堆技术文献.....	7
◆ 高熵合金在先进核能方面的应用	7
快堆专利情况.....	8
◆ 钠冷快堆用不锈钢无缝管以及制备方法	8

重点关注

- 美国泰拉能源公司、PacifiCorp 公司和怀俄明州政府将合作**推进 Natrium 小型钠冷快堆-储能系统示范项目建设**。该系统拥有两个功能模块，即一个**345 兆瓦小型钠冷快堆发电模块**和一个熔盐储能模块，其输出功率可根据市场需求调整。该项目**已获能源部 8000 万美元资助**。
- 国际原子能机构发布《**基于 BN-1200 钠冷快堆拟建核能系统的有限范围可持续性评估**》技术报告（IAEA-TECDOC-1959），描述了**INPRO 可持续性评估方法在基于 BN-1200 快堆的创新核能系统中的应用**。
- 全球首座铅冷示范快堆即**俄罗斯铅冷快堆 BREST-OD-300 项目**已于**2021 年 6 月 8 日正式启动建设**。项目造价约为**1000 亿卢布**。BREST-OD-300 是一座 300 兆瓦的**铅冷快堆**，使用**混合铀钚氮化物燃料**。这一快堆是俄旨在实现闭式燃料循环的“**突破**”项目的重要组成部分。
- 美国奥克洛公司获能源部 200 万美元资助，推进电解精炼技术的研发，进而**助推先进反应堆燃料生产技术商业化**。奥克洛正在**推进 Aurora 钠热管微堆的商业化进程**。
- 英国海伍德泰勒公司为美国综合效应试验设施**供应四台高温熔盐泵**。综合效应试验设施是一种非核、外部加热的多回路系统，旨在验证**熔盐快堆**的一体化集成运行能力。

重点快堆技术季度进展情况

快堆技术	设计机构	技术状态	用途	反应堆净功率 (MWe)	燃料	最新动态
TWR-P	美国 TerraPower	设计	商用	600	铀-钍	无
FBR-1 & 2	印度 IGCAR	设计	商用	500	MOX	无
JSFR	日本 JAEA	设计	商用	750	MOX	无
BN-1200	俄罗斯 Afrikantov OKBM	可建设	商用	1140	氮化物或 MOX	无
PRISM	美国 GE-Hitachi	设计	商用	311	铀-钐-钍	无
4S	日本 Toshiba	设计	商用	10	铀-钍	无
PGSFR	韩国 KAERI	概念设计	示范	-	铀-钍和铀-TRU-钍	无
MBIR	俄罗斯 NIKIET	设计	实验	60	MOX	无
ASTRID	法国 CEA	设计	示范	600	MOX	无

>>>钠冷快堆<<<

◆ 美企合作在怀俄明州推进 Natrium 示范项目建设

美国泰拉能源公司 (TerraPower)、PacifiCorp 公司和怀俄明州政府 2021 年 6 月 2 日宣布未来将合作推进 Natrium 示范项目建设。未来将在怀俄明州一座即将关闭的燃煤电厂建设 Natrium 示范厂,目前尚未明确具体厂址。

泰拉和通用电气-日立核能公司 (GEH) 2020 年 8 月共同发布 Natrium 反应堆-储能系统。该系统拥有两个功能模块,即一个 345 兆瓦小型钠冷快堆发电模块和一个熔盐储能模块,其输出功率能够根据市场需求调整。由于配备了创新的熔盐储能模块,在必要时可以将输出功率提升至 500 兆瓦,并持续 5.5 小时。因此, Natrium 适于调峰运行,可与拥有大量可再生能源的电网实现无缝整合,帮助实现削峰填谷。

美国能源部 2020 年 10 月宣布在“先进反应堆示范计划”下为泰拉提供 8000 万美元的资助,并于 2021 年 5 月与泰拉签署合作协议,目标是推进 Natrium 反应堆-储能系统示范厂的建设。

(美国泰拉能源公司)

◆ 国际原子能机构发布基于 BN-1200 机组电力系统可持续性的 技术文件

国际原子能机构近日发布《基于 BN-1200 钠冷快堆拟建核能系统的有限范围可持续性评估》技术报告(IAEA-TECDOC-1959)。该技术报告描述了在反应堆经济和安全领域, INPRO 可持续性评估方法在基于 BN-1200 快堆的创新核能系统中的应用。该案例研究旨在验证最新的 INPRO 评估方法在评估钠冷快堆技术的成熟度,并就进一步改进 INPRO 评估方法提出建议。

(国际原子能机构)

>>>其他快堆<<<

◆ 全球首座铅冷示范快堆正式启动建设

全球首座铅冷示范快堆即俄罗斯铅冷快堆 BREST-OD-300 项目已于 2021 年 6 月 8 日正式启动建设。项目造价约为 1000 亿卢布，预计 2026 年投入运行。

BREST-OD-300 是一座 300 兆瓦的铅冷快堆，使用俄罗斯混合铀钚氮化物燃料。这一快堆是俄旨在实现闭式燃料循环的“突破”项目的重要组成部分。

“突破”项目 2011 年启动，目标是在西伯利亚化学联合体建设一个中间示范电力综合体。该综合体将由位于同一场区的三个模块组成：BREST-OD-300 反应堆模块、乏燃料后处理模块和快堆燃料制造/再加工模块。设施建成后，将成为全球首个在同场址拥有快堆核电厂和闭式燃料循环设施的综合体。燃料制造模块已于 2014 年 8 月启动建设，预计 2023

年建成。乏燃料后处理模块预计 2024 年启动建设。

2021 年 2 月 10 日，俄罗斯联邦生态、技术与核能监督局（Rostekhnadzor）局长阿列克谢·阿列申签署 BREST-OD-300 建设许可证。

2 月 17 日，西伯利亚化学联合体签署多份 BREST-OD-300 设备供应合同，包括换料设备制造和供应合同以及蒸汽发生器制造、供应、安装等合同。根据 2019 年 12 月签署的总价值 263 亿卢布（3.6 亿美元）的合同，Titan-2 公司将建设反应堆厂房、汽轮机大厅以及相关基础设施，所有工作将在 2026 年底前完成。Titan-2 是俄多家工程企业的合资公司，是俄列宁格勒二期核电建设项目的总承包商，并且是芬兰汉希基维建设项目和土耳其阿库尤建设项目的分包商。

（俄罗斯国家原子能集团网站）

◆ 多机构合作在美华盛顿州推进 Xe-100 小堆部署

美国西北能源公司（Energy Northwest）、格兰特县公用事业区（GCPUD）和 X 能源公司（X-energy）2021 年 4 月 1 日签署备忘录，未来将合作在西北能源位于华盛顿州哥伦比亚县的一个现有厂址建设美国首座 Xe-100 小堆电厂。

根据备忘录，三方将合作评价建设由 4 座 Xe-100 反应堆组成、总装机容量为 320 兆瓦电厂的可行性。

Xe-100 是一种 80 兆瓦小型高温气冷堆，使用铀-235 丰度为 10% 的三元结构各向同性（TRISO）燃料。美国能源部 2020 年 10 月宣布将在先进反应堆示范计划（ARDP）下为 X 能源公司提供 8000 万美元资助，帮助推进 Xe-100 的商业化。

X 能源目前正在积极向加拿大推销 Xe-100，并取得一定成果：加拿大核安全委员会（CNSC）已启动对 Xe-100 的预许可设计评

审；安大略电力公司（OPG）已将 X 能源设定为开展小堆建设合作的三家供应商之一，安大略电力计划最早于 2028 年在现有的达灵顿厂址建设一座小堆电厂；已与加拿大哈奇公司（Hatch）签署工程和项目管理合作协议，将共同推进加拿大及其他国家的 Xe-100 模块化小堆建设项目。

（世界核新闻网）

>>>快堆燃料循环<<<

◆ 美能源部为奥克洛提供资助推进先进核燃料技术商业化

美国奥克洛公司（Oklo）2021 年 6 月宣布获得能源部 200 万美元资助，以推进电解精炼技术的研发，进而助推先进反应堆燃料生产技术商业化。奥克洛也将提供 100 万美元资金，采用公私合作的方式，与能源部和阿贡国家实验室（ANL）共同推进这项研究。

这一技术有助于降低先进反应堆燃料费用，并可以将乏燃料中提取的有用材料制成供先进

反应堆使用的燃料，从而降低废物的产生量。

奥克洛正在推进微堆 Aurora 的商业化。Aurora 装机容量为 1.5 兆瓦，利用热管将热量从堆芯传导至超临界二氧化碳动力转换系统，使用高丰度低浓铀金属燃料。2019 年 12 月，能源部授予奥克洛在爱达荷国家实验室建设 Aurora 首堆的许可。奥克洛是第一家获得此类厂址许可的非轻水型反应堆开发商。2020 年 2 月，爱达荷国家实验室宣布将向奥克洛提供利用后处理工艺从乏燃料中回收的材料，用于 Aurora 的开发和示范。2020 年 6 月，美国核管会宣布接收奥克洛公司提交的在爱达荷国家实验室建设和运营 Aurora 首堆的联合许可证申请，即将启动对该申请的评审。这是核管会首次启动对非轻水型先进裂变堆联合许可证申请的评审。

（美国商业资讯）

>>>快堆装备制造<<<

◆ 英国海伍德泰勒为美国泰拉能源提供高温熔盐泵

英国海伍德泰勒公司 2021 年 6 月 15 日表示，该公司已为美国综合效应试验设施（IET）供应四台高温熔盐泵。

综合效应试验设施位于美国泰拉能源的埃弗雷特工厂，由泰拉能源与南方公司共同开发，是一种非核、外部加热的多回路系统，旨在验证熔盐快堆的一体化集成运行能力。

海伍德泰勒提供的综合效应试验设施用泵符合反应堆技术开发商提出的需求，将研究试验设施中的工作情景，包括启动、关停以及各种非正常工况，可处理温度高达 750℃ 的熔盐。综合效应试验设施的试验、运行结果将作为下一阶段熔盐快堆用泵研发和全球高温熔盐项目的基础。

（海伍德泰勒公司网站）

◆ 美能源部资助熔盐堆材料的研究

2021年5月17日，美国 QuesTek 创新公司（QuesTek Innovations）宣布，已获得美国能源部“小型企业创新研究”（SBIR）计划第二期资助 110 万美元，用于设计、开发和认证下一代熔盐堆的新型材料方案和工艺，主要涉及双金属结构高效、经济的冷喷涂处理，用耐火合金（如钼合金）在基材表面形成涂层，提高材料的耐腐蚀性和高温稳定性。

在一期项目中，QuesTek 使用“集成计算材料工程”（ICME）技术设计了新的钼合金组分，改进了冷喷涂工艺性能，使得表面涂层具有较高的耐熔盐腐蚀性，并能够与基材形成牢固接连。最初的冷喷涂试验成功将这些组分附着在 316 不锈钢上。QuesTek 将进一步研究除钼以外其他耐火合金（例如铌、钨、钽等）设计。

QuesTek 表示，冷喷涂是最有效、最经济的涂层技术之一，可以大幅延长下一代核反应堆的寿期。

（国际核工程网）

>>>快堆技术文献<<<

◆ 高熵合金在先进核能方面的应用

作者所属机构：英国曼彻斯特大学

关注的领域或重点：快堆材料

文章主要综述了迄今为止高熵合金在核能领域所做的研究工作，对各项工作进行了评估，并研讨了高熵合金在核能领域未来的可能性及挑战。

可能的应用领域包含聚变堆、第四代反应堆以及耐事故燃料材料等。当前尚未得到充分研究的领域包括但不限于材料的辐射活化问题、中子吸收截面问题、耐辐照性问题以及结构问题等。

>>>快堆专利情况<<<

◆ 钠冷快堆用不锈钢无缝管以及制备方法

专利号：CN112795847A

专利权人：江苏武进不锈钢股份有限公司

关注的领域或重点：快堆装备

本发明公开了一种钠冷快堆用不锈钢无缝管，基于 316H 不锈钢基材进行微合金化成分细调，成分组成以质量 % 计含有：
C:0.04-0.05% ， Si:≤0.6% ，
Mn:1.00-2.00% ， P:≤0.030% ，
S:≤0.003% ， Cr:17.0-18.0% ，

Ni:11.5-12.5% ， Mo:2.50-2.70% ，
Cu:≤0.10% ， N:0.05-0.07% ，
B:≤0.0015% ， O:≤30ppm ，
H≤5.0ppm，其余为 Fe 和杂质，
控制铁素体含量≤1%。

此外，本发明公开了一种钠冷快堆用不锈钢无缝管制备方法，即通过高纯度冶炼工艺、微合金化成分细调、不锈钢铸造工艺、热穿孔处理工艺和成品冷加工制造。通过上述方式，本发明的钠冷快堆用不锈钢无缝管（以及制备方法），能够满足核安全高温纳管道使用标准，具有强韧性、耐腐蚀性、持久性。