

# 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

## 目 录

### 重点关注

|                                    |   |
|------------------------------------|---|
| 重点快堆技术季度进展情况.....                  | 1 |
| 钠冷快堆.....                          | 3 |
| ◆ BN-800全堆芯装填MOX燃料后首次实现满功率运行 ..... | 3 |
| ◆ BN-1200纳冷快堆初步确定厂址.....           | 3 |
| ◆ BN-600快堆将延进行延寿 .....             | 3 |
| 其他快堆.....                          | 4 |
| ◆ 俄BREST-300铅冷快堆基底运至安装现场 .....     | 4 |
| ◆ 俄开始测试致密铀钚氮化物燃料制造模块.....          | 4 |
| ◆ 俄建设BREST-OD-300快堆冷却塔.....        | 5 |
| 快堆燃料循环.....                        | 5 |
| ◆ 俄罗斯BN-800成为世界上首座全堆芯MOX燃料快堆 ..... | 5 |
| 快堆技术文献.....                        | 6 |
| ◆ 铅冷快堆在远征基地作战环境中制氢的分析研究计 .....     | 6 |
| 快堆专利情况.....                        | 7 |
| ◆ 一种铅冷快堆反应堆系统设计.....               | 7 |
| 国际核电动态.....                        | 8 |
| ◆ 德国延长核电站运营期限.....                 | 8 |



## 重点关注

- **俄BN-800全堆芯装填MOX燃料后首次实现满功率运行**，通过使用MOX燃料，俄罗斯整个核工业向“基于闭式核燃料循环的新技术平台”的目标又迈进了一步，进一步减少了放射性废物的产生。
- **俄BREST-300铅冷快堆基底运至安装现场**，该快堆属于能源实验和示范联合体（ODEK）项目的一部分，ODEK的目标是示范在同一场址集成燃料制造与再循环的快堆闭式燃料循环的可行性。
- **俄开始测试致密铀钚氮化物燃料制造模块**，该燃料是俄为BREST-300铅冷快堆开发，根据计划，燃料生产设施将于2023年建成，乏燃料后处理模块计划于2024年开始建造。

### 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-钼         | 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-钷-钼       | 无       |
| 4S        | 日本 Toshiba          | 设计   | 商用 | 10           | 铀-钼         | 无       |
| PGSFR     | 韩国 KAERI            | 概念设计 | 示范 | -            | 铀-钼和铀-TRU-钼 | 无       |
| MBIR      | 俄罗斯 NIKIET          | 建设   | 实验 | 60           | MOX         | 竖井设备已安装 |
| ASTRID    | 法国 CEA              | 设计   | 示范 | 600          | MOX         | 无       |

## >>>钠冷快堆<<<

### ◆ 俄BN-800全堆芯装填MOX燃料后首次实现满功率运行

2022年9月22日，俄罗斯别洛雅尔斯克核电厂4号机组BN-800快堆在全堆芯装填铀钚混合氧化物（MOX）燃料后，首次实现满功率运行。此前不久，该机组进行了一次换料，成为世界上有史以来首个全堆芯装填MOX燃料的反应堆。

该核电厂负责人伊万西多罗夫表示，根据许可协议，在装入新燃料后，4号机组必须以85%的功率水平运行300个小时。在此期间，该机组运行一切正常。创新的MOX燃料正按预期工作，反应堆现在可以实现可靠、安全、满功率运行。

BN-800是一座装机容量约为82万千瓦的钠冷快堆，2016年投运。MOX燃料组件由俄罗斯矿业与化学联合体（MCC）生产。通过使用MOX燃料，俄罗斯整个核工业向“基于闭式核燃料循环的新技术平台”的目标又迈进了一步，进一步减少了放射性废物的产生。

（俄罗斯卫星通讯社网站）

### ◆ 俄BN-1200钠冷快堆初步确定场址

俄罗斯别洛雅尔斯克核电厂负责人西多罗夫近日表示，计划在1号和2号退役机组的场址上建设5号BN-1200钠冷快堆机组。西多罗夫还表示，该核电厂计划2022年开始建设一座用于处理1号和2号机组乏燃料的放射性废物处理设施，目前正在进行许可申请，预计年底前可以获得建设许可证。

别洛雅尔斯克核电厂2022年1月14日宣布，计划在2035年底前建成一座BN-1200钠冷快堆，这将是俄首座BN-1200反应堆。别洛雅尔斯克核电厂拥有4台机组：1号和2号机组均已永久关闭；3号机组是一座BN-600钠冷快堆，1980年投运；4号机组是一座BN-800钠冷快堆，2015年投运。

（英国《国际核工程》网站）

### ◆ 俄BN-600快堆将延进行延寿

俄罗斯别洛雅尔斯克核电厂（Beloyarsk）3号机组BN-600钠冷快堆计划2025年后进行延寿，准备



工作包括将在今后三年内更换24个蒸汽发生器模块。2022年，3号机组前8个蒸汽发生器模块将在预防性维护停机期间进行更换。

2022年7月8日，俄罗斯原子能工业公司（Rosenergoatom）负责人讨论了别洛雅尔斯克核电厂的重点工作，主要包括：3号机组BN-600延寿、4号机组BN-800全部装填混合氧化物（MOX）燃料和5号机组BN-1200建设准备措施。与此同时，俄罗斯波奇瓦尔无机材料研究（VNIINM）已经开发了独特的辐照组件，用于在别洛雅尔斯克核电厂测试铀钚混合氮化物（MNUP）燃料。

（中核智库）

## >>>其他快堆<<<

### ◆ 俄BREST-300铅冷快堆基底运至安装现场

俄罗斯BREST-OD-300铅冷快堆基底钢板已运至西伯利亚化学联合体（SCC）谢韦尔斯克（Seversk）施工现场。圆形基底分成两半交付，安装前将组装成一个整体。该基底直径超过21米，壁

厚300毫米，总重176吨。

BREST-OD-300铅冷快堆属于能源实验和示范联合体（ODEK）项目的一部分。该项目在俄“突破”计划支持下开展。除了铅冷快堆，ODEK还包括一个燃料制造-再加工模块（MFR）和一个乏燃料后处理模块。ODEK的目标是示范在同一场址集成燃料制造与再循环的快堆闭式燃料循环的可行性。该快堆将使用专门研发的混合铀钚氮化物（MNUP）燃料。

（世界核新闻网站）

### ◆ 俄开始测试致密铀钚氮化物燃料制造模块

俄罗斯核燃料产供集团（TVEL）2022年8月23日表示，已在试点示范能源综合体（ODEK）对致密铀钚氮化物燃料（MNUP）生产/再制造模块设备进行全面测试，以检查已安装的设备 and 系统在特定条件下的可操作性。此前已对单独设备进行了测试，此次将对生产线进行测试。

MNUP燃料是俄为BREST-OD-300铅冷快堆开发的。燃料制

造模块由4条生产线组成：MNUP 碳热合成生产线、燃料芯块制造生产线、燃料元件组装生产线和燃料组件制造生产线。根据计划，BREST-OD-300反应堆将于2026年开始运行，燃料生产设施将于2023年建成，乏燃料后处理模块计划于2024年开始建造。这些项目是俄罗斯突破（Proryv）项目的一部分。

（俄罗斯核燃料产供集团网站）

### ◆ 俄建设 BREST-OD-300 快堆冷却塔

俄罗斯西伯利亚化学联合体（SCC）正在建设BREST-OD-300铅冷快堆的冷却塔，目前已完成第一层钢架的安装。

该冷却塔高80米，底部直径79.5米，钢架总重约1000吨。第一层已安装在基底上，焊接接头正在用防腐漆处理，随后将使用双层波纹铝板包覆。冷却塔第二层将直接安装经加工、喷漆和铝板包覆的钢架。冷却塔淋水面积达4000平方米，利用定向流动的空气实现冷却。水经过循环泵冷却、清洁后将会被送入核电机组的汽轮机厂房。冷却塔

的建设工作计划于2023年9月完成，并于2025年6月投入使用。

（中核智库）

## >>>快堆燃料循环<<<

### ◆ 俄罗斯BN-800成为世界上首座全堆芯MOX燃料快堆

在完成定期大修后，俄罗斯别洛雅尔斯克核电厂4号机组BN-800快堆现已恢复运行。在最近一次换料后，BN-800快堆有史以来首次全堆芯装填铀钚混合氧化物（MOX）燃料，这对核工业来说是一个期待已久的里程碑。

这些MOX燃料组件由俄罗斯矿业与化学联合体（MCC）生产。2020年1月，首批共计18个MOX燃料组件装入别洛雅尔斯克4号机组。2021年2月，BN-800再次装填了160个新的MOX燃料组件，MOX燃料的装填量达到三分之一。2022年1月，BN-800又进行了一次换料，MOX燃料的占比达到60%。BN-800是一座装机容量约为82万千瓦的钠冷快堆，2016年投运。

（俄罗斯国家原子能集团公司网站）

## >>>快堆技术文献<<<

### ◆ 铅冷快堆在远征基地作战环境中制氢的分析研究

作者：Patrick Weston

作者所属机构：美国海军研究生院

关注的领域或重点：铅冷快堆、制氢

远征基地作战（EABO）将需要多个分支机构之间的有效协调，以确保足够的保障能力，尤其是满足这些行动的高能量需求。满足EABO高能源需求的一种解决方案是通过小型安全可移动式自主控制铅冷反应堆系统生产氢气。然后氢气可以用作原料来生产合成碳氢化合物，这些碳氢化合物可以通过费托（Fischer-Tropsch）工艺补充传统燃料。

小型安全可移动式自主控制铅冷反应堆系统设计为具有大约30年的堆芯寿命，因此不需要换料。该反应堆系统使用铅冷却的超铀氮化物燃料，可提供强烈的反应性温度反馈，从而实现自主负载跟踪并最大限度地减少控制

棒的移动。该系统允许自然循环以满足所有运行和停堆后的冷却需求。

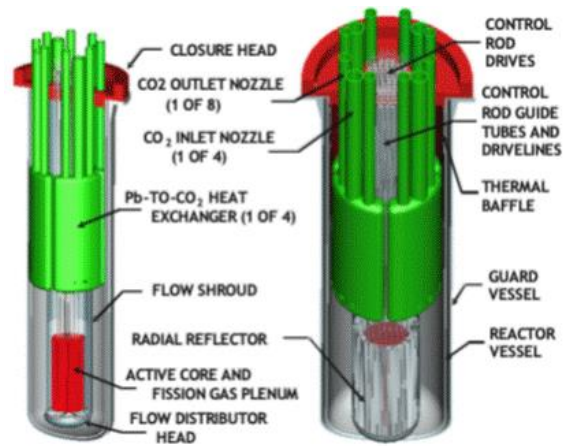


图1 小型安全可移动式自主控制铅冷反应堆

论文探讨了在远征基地作战环境中与铅冷快堆匹配兼容的各种制氢方法。对每种方法进行了分析，以确定基于参考铅冷快堆的典型操作范围的最有效运行条件。通过分析确定，当与铅冷快堆配对并使用超临界二氧化碳（S-CO<sub>2</sub>）布雷顿循环进行能量转换时，混合热化学电解工艺是最有效的制氢方法。调研发现，由于缺乏对混合工艺必要的测试，因此不太可能迅速实施该技术。此外，聚合物电解质膜（PEM）电解技术也是一种非常有效的制氢方法，并且是一种成熟的技术，已经具备商业化条件，并可以满足美国国内需求。



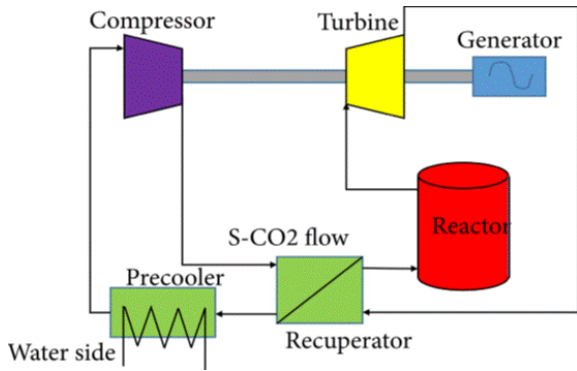


图2 反应堆与超临界二氧化碳布雷顿循环耦合系统方案

## >>>快堆专利情况<<<

### ◆ 一种铅冷快堆反应堆系统设计

专利号：EP3101658A1

专利权人：俄罗斯国家原子能公司

关注的重点领域：铅冷快堆、液态金属反应堆

核能的长期可持续发展取决于如何解决核燃料闭式循环、安全使用核燃料和保证环境安全等关键问题。目前，正在研发采用金属燃料的新一代铅冷快堆，与水堆和钠冷快堆相比，此类反应堆显示出根本优势，并且可以为发展具有高度可靠性、安全性和可持续的燃料供应的核电站奠定基础。

本发明解决的问题在于减少反应堆每单位功率的铅冷却剂的比

容（即减小反应堆体积）和提高反应堆安全性。该系统包括具有上盖（2）的反应堆主容器（1）、布置在主容器（1）内的具有活性区（4）的反应堆、蒸汽发生器（5）、主泵（7）、循环管道（8）和（9）、用于启动、运行和关闭反应堆系统的控制棒机构，其中蒸汽发生器是管状热交换器的形式，其中一次侧冷却剂（10）在管内流动，当水蒸汽在管道之间的空间中流动时，蒸汽发生器设置在单独的箱体（6）中，并通过冷却剂液态铅的上升和下降的循环管道与反应堆主容器相通。蒸汽发生器和大部分循环管道布置在高于反应堆主容器内冷却剂铅的水平面上，主泵设置在反应堆主容器内的循环管道和上，用于驱动被加热的铅冷却剂，并且提供在主泵关闭时提供惰转以确保冷却剂铅以自然循环方式通过堆芯活性区。

本发明的铅冷反应堆系统的实际应用将显著减少铅冷却剂的装量，并提高反应堆系统在正常运行条件下和紧急情况下的可靠性和安全性。

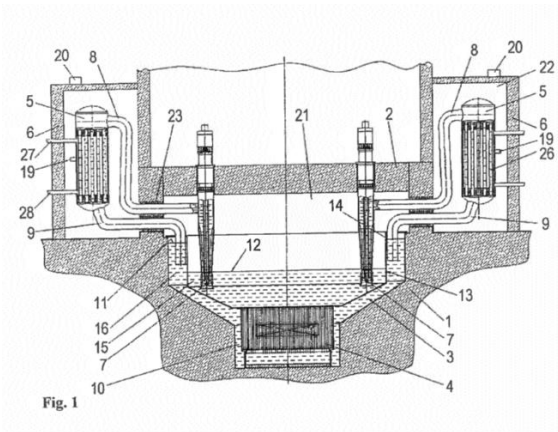


图3 本发明铅冷快堆系统布置图

## >>>国际核电动态<<<

### ◆ 德国延长核电站运营期限

联邦经济部长哈贝克对冬季可能面临能源危机做出反应。他在接受媒体采访时明确表示：“我们必须预期出现最坏情况”，因此，考虑改变原定终止核电时间表，暂时保留德国南部两座核电站。

德国剩下的3座核电站中，有两座将作为紧急储备至2023年春季。联邦经济部长哈贝克（Robert Habeck）在公布第二次电网压力测试结果时作此表示。这两座核电站是分别位于巴伐利亚州和巴登符腾堡州的伊萨二号（Isar 2）和内卡韦斯特海姆（Neckarwestheim）核电站。哈贝克称，计划让这两座核电站处于待命状态至2023年4月中旬，以在必要时并入2022/23年

冬季德国南部电网。

根据第二次电网压力测试结果，“电力系统在2022/23年冬季出现以小时计算的危机情况的可能性很小，但不能完全排除”。就此，哈贝克对媒体表示：“我们不能寄希望于出现最好的局面，而必须准备好应对最遭情况。”

数月来，因俄罗斯减少供应天然气，以及能源价格急剧上升，德国国内就是否应延长剩下的3座核电站运行期出现激烈争议。根据原定终止核电时间表，位于下巴伐利亚州的伊萨尔2号、下萨克森州（Niedersachsen）的埃姆斯兰（Emsland）核电站和巴-符州的内卡韦斯特海姆2号应于今年年底不可逆转地退出电网。

（德国之声中文网）