



中国核能行业协会  
CHINA NUCLEAR ENERGY ASSOCIATION

# 先进核能系统专业委员会 月报

2025年12月4日 2025年第16期 总第047期

## 本期要目

1 专题研究 .....	1
《中国电力展望2060》执行摘要在联合国COP30大会发布	1
美聚变产业协会发布《2025年全球聚变产业报告》 .....	2
俄罗斯小堆发展及海外市场开拓 .....	4
欧洲小堆产业联盟发布首份战略行动计划，加速小堆本土部署 .....	9
荷兰Allseas公司研究报告：到2050年，公司小型堆市场规模或超900台 .....	15
研究报告评估小型模块化反应堆在工业领域的市场潜力	16
2 行业动态 .....	18
2.1 小堆 .....	18
俄罗斯计划推进小型堆批量化建设 .....	18
英国首座小型堆核电厂将于2020年代末启动建设 .....	19

中国核能行业协会  
先进核能系统专业委员会

地址：北京市西城区南礼士路21号六层  
网址：<https://xjhn.china-nea.cn/>  
电话：010-56971736 邮箱：su-zf@org-cnea.cn

南非重启球床模块堆项目 .....	20
2.2第四代核能系统 .....	21
我国钍基熔盐实验堆首次实现堆内钍铀转换 .....	21
美国通用原子公司完成新型快堆概念设计 .....	21
俄罗斯研究机构完成BN-800机组蒸汽发生器管道监测研究 .....	22
法国数据中心运营商签署熔盐堆电力预购协议 .....	23
2.3聚变 .....	24
ITER朗缪尔探针完成最终设计评审 .....	24
2.4先进核燃料与材料 .....	25
美国光桥燃料样品启动辐照测试 .....	25
美国X-energy启动田纳西州Triso燃料制造厂建设 .....	26
法国法马通与美国泰拉能源实现先进核燃料技术突破 ..	26
法马通将在法国建设TRISO燃料试点工厂 .....	27

## 1 专题研究

### ❖ [《中国电力展望2060》执行摘要在联合国COP30大会发布](#) (点击查看来源)

近期，《联合国气候变化框架公约》第三十次缔约方大会（COP30）在巴西贝伦召开，总院—IAEA在大会上向全球联合发布《中国电力展望2060》研究成果，引起国际关注。该研究是在IAEA“Atoms4NetZero”倡议框架下，由总院与IAEA合作开展的重大项目，是我国核能领域首次开展的系统性电力中长期预测研究，填补了国内核能战略规划研究的空白。此次发布由IAEA核能部能源计划、信息与知识管理司司长黄玮带队。总院以视频形式向国际发布了主旨报告，系统阐述了该研究的核心观点。

《中国电力展望2060》研究覆盖中国大陆31个省、自治区及直辖市，围绕“能源不可能三角”理论，创新性地构建了均衡发展、低碳跃迁与韧性优先三大情景。研究采用了国际通用的MESSAGE（能源供应战略备选方案及其一般环境影响）模型，对我国电力行业的未来发展趋势进行了系统模拟与预测。研究成果认为，在低碳转型与能源安全双重目标驱动下，核电将在我国未来电力结构中扮演关键角色。以韧性为核心的发展路径，将核能明确为稳定的低碳基荷能源，凸显其在能源系统中的压舱石作用。

作为全球可持续能源领域的引领者，IAEA对本次研究给予高度支持，通过提供MESSAGE模型及专项培训、深度参与项目研究全过程、开展成果质量监督与审核等多维度举措，为研究

的顺利推进筑牢坚实基础，也为成果的科学性与有效性提供了重要保障。

本次发布的执行摘要是完整研究报告的核心提炼。预计2026年，总院将与IAEA继续深化合作研究，为全球能源转型与中国双碳目标实现贡献中核智库方案。

❖ [美聚变产业协会发布《2025年全球聚变产业报告》](#)（点击查看来源）

近期，美国聚变产业协会（FIA）发布《2025年全球聚变产业报告》。该报告基于对全球53家聚变企业的调研结果，围绕年度关键数据、行业发展趋势、产业布局以及企业概况等方面展开，内容全面且翔实，为行业从业者、投资者和政策制定者提供了权威参考。

报告总结了过去五年的五大关键发展趋势，分别是：资本加速涌入、公私合作不断扩大、企业推动聚变电厂建设、投资者构成日趋多元化，以及聚变人才队伍持续加强。同时，针对未来的技术挑战、发展时间线等议题，报告也做了调研和预测，并认为聚变产业发展路径已逐渐清晰，将在不久的将来实现突破。

资本加速涌入。聚变产业投资额的快速增长是其发展轨迹加速的最显著标志。报告指出，全球总投资额已从2021年的19亿美元激增至2025年的97亿美元以上，其中仅2024年就新增了26亿美元。这不仅意味着在五年内实现了超过四倍增长，更凸显投资者信心日益增强，技术研发正在取得实质性进展，以及一个完整的产业供应链正在迅速形成。即使在全球技术投资普

遍收紧的几年里，聚变产业依然展现出独特的吸引力，被视为解决世界能源需求的可靠、可扩展和清洁的方案。

公私合作不断扩展。公私合作伙伴关系正在持续扩展，特别是在美国、英国、德国、日本和中国。这些国家政府正在积极与聚变公司合作，通过共担风险加速商业化进程。该模式不仅为行业提供了关键资金支持，也在推动稳健的监管与政策框架构建，有力促进了聚变技术从实验室研究向工程化应用的推进。

部分聚变公司积极推动聚变电厂建设。当前，聚变产业正处于转型关键期。聚变企业正从早期的原型研发和小型团队运作，迈向致力于解决工程化与规模化制造挑战的新阶段。以Helion能源公司（Helion Energy）、联邦聚变系统公司（CFS）、Type One能源公司（Type One Energy）为首的多家公司已启动系统集成开发，选定首批聚变电厂场址，并与早期用户签署电力采购协议。

投资者构成多元化。聚变领域的投资者群体正持续壮大，显示出资本市场对这一前沿技术的信心日益增强。报告指出，资金支持不仅来自DCVC、突破能源基金（BEV）等专注科技的风险投资机构，还包括雪佛龙（Chevron）、西门子能源（Siemens Energy）等工业巨头，以及In-Q-Tel、欧洲创新委员会基金（EIC Fund）等主权财富与准公共基金，乃至壳牌创投（Shell Ventures）等更广泛的能源领域战略投资者。多元化的资本参与不仅带来关键资金支持，还助力聚变企业拓展商业合作、应对监管挑战，并为全球化部署奠定基础。

聚变人才队伍持续加强。聚变产业的加速发展带来了人才队伍的快速增长。自2021年以来，私营聚变公司的直接雇员人数增长了四倍多，达到4600多人。若加上建设试点电厂所需的预估劳动力，这一数字将攀升至1.8万人以上。此外，供应链相关岗位数量也在过去两年内增加了两倍，达到至少9300个。聚变公司总部已遍布北美、欧洲、亚洲和大洋洲的十多个国家，显示出聚变技术已从跨国界科学努力，演变为一个真正国际化商业运动。

待突破的挑战与机遇。报告显示，业界普遍将21世纪30年代视为商业化部署的关键时期。在参与相关预测的45家企业中，大多数预计将在2030—2035年间建成并运营可实现净能量增益的示范电厂。然而，企业普遍认为，要实现这一目标，需在2030年前攻克一系列技术难题，包括获得足够高的聚变能量增益、实现氦燃料自持、突破耐中子辐照材料以及解决聚变特有工程问题。

#### ❖ [俄罗斯小堆发展及海外市场开拓](#)（点击查看来源）

全球核电在经历二十余年的发展停滞期后，即将迎来新一轮快速增长期。以小型模块化反应堆为代表的先进核能技术，拓宽了核能应用领域，为核能在全球能源绿色低碳转型中发挥更大作用提供了新契机。俄罗斯历经80年的核能发展，形成了大堆小堆相互衔接、军民两用技术融合发展的思路，在小堆发展方面形成了深厚的历史积淀，并逐渐衍生出一系列具有代表性的小堆技术品牌，助力俄罗斯塑造全球核能发展范式。本文重



点梳理俄罗斯小堆的发展及海外市场开拓情况，以期为我国小堆发展提供参考借鉴。

## 一、全球小堆开发前景

全球对去中心化、可靠低碳能源的需求，正以爆炸式速度增长。与大堆相比，小堆（国际原子能机构称为小型模块化反应堆，功率上限30万千瓦，本文统称为小堆）更适用于能源基础设施薄弱地区，能够满足离网居民区、矿山、数据中心等场景需求，且与大堆、其他能源类型形成互补，越来越受到相关各方青睐。根据国际能源署统计，电力终端用户与技术供应商迄今已达成建设3000万千瓦小堆装机容量的合作意向，主要用于数字中心供电。

国际能源署2025年《迈向核能新时代之路》报告显示，在当前政策环境下，到2050年全球小堆总装机容量将达到4000万千瓦，但实际潜力远不止如此，在技术研发能力提升、成本不断优化、各类配套政策加持下，到本世纪中叶，该数字或将达到1.2亿千瓦。在此情景下，到2030年，小堆领域的所需投资将由目前的不足50亿美元增至250亿美元，到2050年或将达9000亿美元。

## 二、国际小堆发展现状

随着福岛核事故影响逐渐消弭、全球南方国家工业化进程加快、人工智能等新兴数字化能源密集型产业扩张，全球能源电力需求激增。与此同时，碳中和目标对能源结构转型提出了巨大挑战，迫使各国加快低碳电力布局，并将核能纳入能源发展规划。国际原子能机构已连续五年上调核能增长预期，在乐

观情景下，到2050年，全球核电装机容量将达到2024年水平的2.5倍。

国际原子能机构预测，未来数十年内，虽然大堆仍将保持核心地位，但小堆凭借独特优势，已展现出巨大发展潜力，到2050年，小堆将贡献全球核电新增容量的四分之一。根据国际原子能机构和经合组织核能机构有关小堆发展专题报告，除在运和在建的小堆外，全球还有68种小堆设计方案处于不同研发阶段，包括水冷、气冷、液态金属冷却、熔盐冷却等堆型，其中非水冷堆占比高达三分之二，有51种小堆进入预许可或正式许可审查流程，许多国家也将小堆纳入技术考量范畴，全球对小堆的兴趣和关注度持续攀升。

### 三、俄罗斯小堆发展状况

俄罗斯小堆研发应用历史悠久。早在20世纪50年代中叶，苏联便开始研发建设小堆（尚非小型模块化反应堆），并先后在陆上固定式核电站、陆上移动式核电站（布置在履带运输车和轮式载具上）、核潜艇、空间核动力装置、核动力破冰船、浮动式核电站等多种应用场景进行部署，用于供电、供热、动力输出等。俄罗斯小型模块化反应堆研发历史可追溯至20世纪90年代，1993年俄罗斯OKBM设计局基于陆上台架完成了“防波堤-3”浮动式核电站（配备2台ABV-6M模块化反应堆）技术设计，1994年启动施工图设计和建造，后由于缺乏资金支持导致项目中断。

近年来，俄罗斯小堆发展迅猛，技术持续更新迭代，应用场景也日趋多元。除在运的搭载KLT-40压水堆的老式破冰船、



KLT-40S压水堆的浮动式核电站、RITM-200压水堆的22220型破冰船外，还正在积极筹建并示范部署包括RITM-200S（N）压水堆、RITM-400压水堆、“Shelf-M”压水堆、BREST-OD-300铅冷快堆等在内的多个型号，功率在1万~30万千瓦不等，适用于陆上和海上不同功能场景。根据规划，自2028年起俄罗斯将陆续共计投运11台小堆机组，其中各类小型压水堆将为北极开发、偏远地区发展、矿产资源开采、数据中心建设等提供能源动力，BREST-OD-300铅冷快堆将成为构建闭式燃料循环的关键一环。

#### **四、俄罗斯小堆海外市场开拓**

核电出口对俄罗斯经济的倍增效应显著。根据俄罗斯国家原子能集团公司（以下简称俄原集团）测算，其海外核电站建设项目，每投入1卢布，在建设阶段可为俄罗斯GDP额外贡献1.9卢布，在运营阶段至少贡献1.7卢布。在当前俄罗斯经济发展面临西方制裁的情势下，俄罗斯政府已要求俄原集团加大海外核能市场开发力度，后者也关注到国际小堆市场的巨大红利，在输出大堆的同时，已将小堆出口列为未来十年的战略方向，力争2030年在不断形成的全球小堆市场中占据20%份额；RITM-200系列小堆电站和浮动机组被列为出口主打产品；降低建造成本（目标是每千瓦装机容量约3500—4000美元）、加快建设周期、适应不同国家地区的监管要求，已成为俄原集团小堆发展的重点任务。

在俄罗斯政府、企业的协同攻关下，目前俄原集团已在国际小堆市场开发中取得实质性成效，相关堆型也已成功落地乌兹别克斯坦，并正在与中东（如伊朗）、中亚（如吉尔吉斯斯

坦）、东南亚（如印度尼西亚、缅甸、马来西亚）、南亚（如印度）、非洲（如埃及、布基纳法索）、南美（如巴西）、东欧（如塞尔维亚）等区域国家积极开展小堆合作意向对接，部分意向也接近落地。

## **五、相关启示**

全球核能发展正迎来全面复兴，小堆的广泛应用潜力，将成为大堆的有益补充，受到的关注度与日俱增，发展预期持续向好。主要核能国家正加力加速布局小堆发展，新兴核能国家也在不断释放小堆市场需求，该领域国际市场空间广阔。俄罗斯作为核能发展大国，深耕小堆发展多年，技术路线多样，应用场景多元，相关堆型已获国内示范应用，现正持续发力布局国际小堆市场，并已成功拿下海外首个小堆订单。

我国在小堆领域的技术研发、工程示范、国际合作等方面已具备一定先发优势，宜在做好国内小堆工程应用、技术经济性指标提升的同时，加大小堆国际科技产业合作生态培育。进一步加强与国际原子能机构、国际标准化组织、世界核电运营者协会等国际组织的合作，打造小堆国际合作示范中心，参与甚至引领小堆国际标准的制定发布，输出小堆发展理念和技术标准，分享小堆建设和运行经验，全面提升我在小堆领域的全球话语权。同时，要精准定位新兴核能市场需求，努力挖掘国外小堆应用场景潜力，采取差异化产品推广战略，加大与目标国政府、企业、公共层面的沟通力度，加强海外小堆市场的开发布局。

## ❖ [欧洲小堆产业联盟发布首份战略行动计划，加速小堆本土部署](#)（点击查看来源）

2025年9月12日，欧洲小型模块化反应堆产业联盟（以下简称“联盟”）发布首份《战略行动计划（2025-2029年）》，以21世纪30年代实现小堆研发、示范及商业化部署为目标，规划了未来五年关键行动。

### 一、欧盟小堆发展基本情况

欧盟将发展小堆视为提升工业竞争力、实现能源自主、2050年碳中和目标的关键手段。近年来，欧盟发布多份政策文件并成立小堆产业联盟，支持小堆的研发、示范与部署，目前已选定首批小堆项目并制定相关计划。然而，小堆发展仍面临市场、融资、供应链、标准化等方面挑战，需进一步解决以推动规模化应用。

（一）欧盟将核能视为提升工业竞争力、实现能源自主、降低碳排放的关键方案，并将小堆作为重点发展对象

欧盟重视小堆发展，将其作为提升工业竞争力、加速能源转型、实现气候目标的关键。工业方面，小堆可为欧盟大型工业设施供电供热，适用于海水淡化、氢气生产等场景；小堆研发还将带动先进材料制造等技术发展，为欧盟航空航天、汽车等领域带来效益。能源方面，小堆能够灵活部署，与可再生能源形成互补，增强欧盟电网整体稳定性，构建更具韧性的能源体系。气候方面，小堆等核能将推动能源转型，助力欧盟实现2050年碳中和目标。目前，欧盟已有多个成员国启动核电计划，并将小堆发展纳入计划之中。

（二）欧盟已发布多份政策文件并成立小堆产业联盟，谋求以小堆助力核能扩张

一是欧盟发布多份政策文件，敦促成员国加大投资发展小堆。欧盟委员会2025年6月发布《核能示范计划》，明确核能在提供清洁电力、作为基荷能源等方面的作用；同月，公布第8版《欧洲共同利益重要项目》，建议成员国加大对小堆的投资。此外，欧盟理事会2024年5月通过《净零工业法》，支持净零工业发展、加强核供应链建设。二是欧盟成立小堆产业联盟，推动小堆本土部署。欧盟委员会2024年2月成立欧洲小型模块化反应堆产业联盟，遴选重要项目并提供长期专项支持，促进小堆在欧部署应用。截至2024年底，联盟已设立8个技术工作组，负责制定小堆开发与部署的行动方案；已选定首批9个小堆项目，并成立项目工作组推进相关工作。2025年9月，该联盟发布首份战略行动计划，指导联盟未来五年的工作方向，推动小堆研发、示范与部署进程，为2026年欧盟委员会发布《欧盟小型模块化反应堆提案》提供参考。

（三）欧盟小堆发展虽获顶层支持，但仍面临跨领域挑战

尽管欧盟通过发布多份文件、成立小堆产业联盟等措施推动小堆发展，但在市场开发、融资、供应链、标准化等跨领域协同方面仍面临挑战。一是培育强劲市场需求，完善小堆商业案例论证以吸引投资；二是简化小堆获取国家援助的流程，提升政策支持效率；三是巩固欧盟在小堆研发与创新方面的领先地位；四是建立统一规范与标准体系，在小堆的设计、制造及燃料供应等全流程中推行；五是简化出口管制法规，促进欧盟

成员国间技术与数据交流；六是构建由成熟企业、创新型中小企业、专业型初创企业共同支撑的供应链；七是加强欧盟劳动力专业知识与技能培训；八是提高公众参与度与认知度；九是将安全监管、核查机制与可持续发展作为核心基础，推动欧盟在核能及非核能领域的监管框架与监管实践逐步统一；十是依托废物最少化与循环利用技术，建立稳健的燃料循环体系；十一是消除投资壁垒，提供适配的融资方案。

## 二、欧盟小堆未来发展行动与方针

《战略行动计划（2025-2029年）》提出十项关键行动与四项实施方针，推动欧盟小堆稳步发展。

（一）计划提出十项关键行动，指明联盟未来五年工作方向

一是与终端用户共建试点小堆项目框架。2026年6月前，联合数据中心、能源密集型企业等潜在小堆终端用户，共同制定示范试点项目框架。该框架将明确小堆项目从确立、评估到实施的全流程方案，并探索由公共部门、开发商及能源消耗产业三方共同参与的合作模式。

二是明确小堆研发设施需求与建设计划。2026年12月前，完成对小堆研发所需试验与测试设施的确定、评估及优先级排序；同步制定包含资金安排的工作计划，以指导未来对相关设施的升级、互联或新建工作。

三是为促进小堆标准统一与技术流通制定提案。2028年6月前，拟定用于推动小堆规范与标准应用的技术提案，促进欧盟内技术交流与数据流通。



四是建立小堆专项支持平台。2026年12月前，设立专项支持平台，为各小堆项目工作组提供定向服务，协助其对接欧盟范围内符合资质且经验丰富的供应商及其他合作伙伴。

五是提出强化欧盟小堆供应链的政策建议。2026年6月前，完成对欧盟小堆供应链的评估，并基于评估结果，结合《净零工业法》和《欧洲共同利益重要项目》的相关政策文件，提出强化小堆供应链的具体建议。

六是提出欧洲小堆净零学院建设方案。2027年1月前，完成“欧洲小堆净零学院”概念设计。该方案将基于项目工作组需求，系统评估欧盟小堆劳动力必备技能并规划培养路径，旨在为小堆研发与部署提供坚实的人才保障。

七是制定公众参与小堆示范项目的指导方案。2026年12月前，制定一套适用于公众与利益相关方参与小堆示范项目场地规划初期阶段的指导方案，提供标准化方法、行动指南及相关资源。

八是常态化发布行业白皮书，协助欧盟公共安全评估。自2025年起，依托项目工作组每年围绕关键安全议题发布行业白皮书，为监管机构的安全评估工作提供业内观点与参考依据。

九是编制小堆燃料设计标准。2027年10月前，依托项目工作组，制定适用于小堆的标准化燃料设计规范。

十是制定小堆项目金融支持与风险缓解方案。2026年3月前，针对欧盟首批小堆项目的投资障碍、运营风险及财务不确定性，定制金融支持与风险缓解方案。该方案将系统梳理欧盟现有资金渠道（含拟议的多年期预算），识别资金缺口与特定需求，



并依据《净零工业法》和《清洁工业协议国家援助框架》调整国家援助规则，以加速审批流程、提高扶持效率。

## （二）计划提出四项实施方针，确保关键行动有效落实

一是工作组协同合作，为联盟吸纳资金与伙伴。两类工作组协调合作，以深化并拓展联盟与外界的伙伴关系，就特定问题提供指导说明与政策建议，参与制定《欧洲原子能共同体研究与培训计划》为小堆争取资金，并孵化新项目吸引投资等。

二是开展常态化评估，高效精准分配资源。联盟理事会将对首批设立的9个项目工作组开展定期复核。2025年下半年，联盟将从中遴选“先行”工作组予以优先支持，同时为其他项目制定关键行动方案以充分挖掘潜力。若其余工作组在技术成熟度、应用前景或成员国利益协同方面存在显著差距，联盟将考虑在2025年内启动第二批项目工作组的征集工作。

三是联盟与欧洲核安全监管机构协调，确保小堆项目开发与运行安全。2025年初，欧洲核安全监管机构小组设立小堆工作分组，负责收集并分析监管机构与小堆项目工作组的交流互动信息，以期将最高安全标准融入小堆项目开发与许可证预审流程中。小堆工作分组将与联盟保持沟通，共同识别必须解决的技术性与组织性监管问题，优化小堆在欧盟国家的许可流程。

四是联盟与外部利益相关方共享信息。联盟及其技术工作组将持续协同相关国家机构、民间力量及国际组织等，推动参与小堆政策与倡议制定的各方开展深化合作，促进信息、观点及成果的交流共享。

## 三、思考与启示

### （一）联盟以全方位战略协同推动小堆发展

《战略行动计划（2025-2029年）》并非孤立的技术规划，而是深度嵌入欧盟现有政策框架之中，与《净零工业法》《欧洲共同利益重要项目》等形成合力，旨在从立法、资金和市场等层面为小堆项目提供坚实支撑。联盟通过技术工作组与项目工作组联动机制，系统整合研发、供应链、融资、安全等关键环节，展现出“技术—政策—社会”多维推进的顶层设计思维。

### （二）联盟将标准化与安全性作为小堆规模化发展的抓手

《战略行动计划（2025-2029年）》表明，欧盟将建立统一规范与最高安全标准视为小堆实现规模化部署应用的抓手。为应对成员国监管要求差异对批量生产与跨国部署构成的挑战，联盟将“为促进小堆标准统一与技术流通制定提案”列为关键行动，并计划通过发布《行业白皮书》协助监管机构开展安全评估等方式，主动促进监管协调与安全要求的趋同。此举不仅旨在降低项目开发的成本与不确定性，更是为了在项目初期便嵌入最高安全理念，从而建立公众信任、保障环境安全，为小堆在欧安全高效地广泛应用奠定基础。

### （三）联盟注重构建可持续的创新生态与人才基础

欧盟深刻认识到，小堆的长期竞争力不仅取决于技术的突破，更依赖于健全的创新生态系统和雄厚的人才储备。为此，《战略行动计划（2025-2029年）》将“提出欧洲小堆净零学院建设方案”作为十项关键行动之一，提出“评估欧盟小堆项目劳动力必备技能并规划培养路径”，旨在为未来小堆设计、建造、运营及监管环节提供人才保障。同时，联盟致力于联动各

型企业、机构，以构建强大且有韧性的创新生态圈。这种对人才培养和创新生态的前瞻性布局，体现了欧盟谋求在小堆领域获得长期战略自主权与全球竞争力的深远考量。

❖ [荷兰Allseas公司研究报告：到2050年，公司小型堆市场规模或超900台（点击查看来源）](#)

2025年11月17日，荷兰海工企业Allseas公司发布研究报告称，到2050年，其25MWe级氦冷小型堆（SMR）的潜在市场规模可能超过900台。

报告指出，超700台小型堆机组可应用于海上船舶领域，包括现有船舶改造和新造船舶项目。另有200台可部署于陆地，其中约100座陆基反应堆可用于为荷兰工业集群供电、供热。45台或可用于氢能和可持续航空燃料生产，40台用于为数据中心供电，10台用于国防领域（例如为军事基地提供独立电源）。

针对海事市场，研究报告称，最大的潜在市场是集装箱船舶，需配置350台小型堆机组；其次是散货船舶，需170台；油轮需100台；其余80台需求或来自其他船型。其中，大部分需求（400台）将来自新造船舶，另有300台机组将在船舶改造过程中安装。

依托成熟的反应堆及燃料技术，荷兰首台小型堆机组有望在2030年前投运，但需政府开通快速审批通道。

研究同时警告，若无法建立快速审批机制，荷兰企业或将转而采用国外开发的小型堆技术。报告补充称，在本地工厂建成前，首批小型堆所需的三层各向同性包覆颗粒（Triso）燃料

可通过国外采购获取。此外，在确定乏燃料长期处置方案前，可对其实施临时贮存措施。

Allseas于2025年6月5日宣布其小型堆部署计划，其建造设施将于2030年前完工，初期产能为每年生产4台小型堆机组。

### ❖ [研究报告评估小型模块化反应堆在工业领域的市场潜力](#) (点击查看来源)

近日，能源咨询机构LucidCatalyst发布《全新核能世界：小型堆如何驱动工业发展》（A new nuclear world: How small modular reactors can power industry）研究报告称，到2050年，小型堆（SMR）市场将能够支持北美和欧洲至少11个主要工业领域的脱碳需求，这些领域构成了工业能源消费的主体，潜在市场规模可达700GW。

该研究深入分析了占工业能耗80%的11个行业需求，突破数据中心范畴，重点考察了小型堆对工业能源供给的实际影响，并量化了交付模式变革与市场驱动因素如何扩大小型堆市场准入。报告指出，数据中心、化工以及煤电改造（即煤转核过渡）预计将推动近期需求，而合成航空燃料领域则代表着最大的长期机遇。研究强调，若无小型堆，这些工业领域可能面临发展瓶颈，或因缺乏清洁可靠能源而被迫选择碳密集型方案。尽管市场潜力巨大，但按当前部署趋势，到2050年实际装机容量仅能达到7GW。

研究提出了四种供应情境：

①当前情境（基于现有供应能力，部署有限）；

②规划情境（通过持续的政府支持与强化的项目管理实现适度增长）；

③突破情境（通过船厂制造实现可扩展、可预测的低成本交付）；

④转型情境（将核技术全面重构为大规模制造产品，相当于约2300台300MWe级机组，整个项目交付流程均按制造与装配理念设计）。

此外，针对每种供应情境，研究还评估了反映不同政策环境与客户核能价值认知程度的四种需求情境，包括长期天然气价格波动（能源成本情境）、能源安全溢价（安全情境），以及不同程度的政策支持与脱碳承诺（承诺目标与净零情境）对可开发小型堆市场规模的影响。

研究发现，小型堆与技术需求高度契合，可满足所考察工业领域约1.5万TWh或2200GW的能源需求。研究还发现，制造业创新是释放小型堆市场全部潜力的关键——改进现有建造方法（规划情境）可使2050年装机容量达120GWe，若能实现全面规模化制造（转型情境），则有望部署近700GW，对应着0.5万亿~1.5万亿美元的投资机遇。

报告强调，700GW的可开发小型堆市场规模接近当前全球核电装机容量的两倍，并将推动核电容量超越“到2050年实现传统核电部署规模三倍增长”的既定目标。前五大部署领域，占700GW机遇的75%以上，分别是：合成航空燃料（203GW）、煤电改造（110GW）、合成船用燃料（90GW）、数据中心（75GW）和化工（55GW）。食品饮料（43GW）、钢铁



（33GW）、上游油气（33GW）及区域能源（33GW）同样蕴含重大机遇，其中区域能源在欧洲市场潜力尤为显著。

研究补充道，开拓700GW潜在市场需推动核电交付模式从定制化建设项目向标准化建设或制造化交付转型。这种变革将同步提升核电项目的有效需求与供应能力。

研究指出，六大关键驱动因素的协同进步将推动核电交付模式转型并扩大小型堆的市场渗透，包括基于产品化制造的交付创新、转向产品化许可的监管演进、通过政策支持实现经济可行性、通过厂址预审计划保障厂址供应、吸引主流融资拓宽资本渠道，以及成熟的拥有已验证交付记录的开发商生态系统。

研究总结称，从当前7GW到未来700GW的鸿沟完全可以跨越。成熟技术已就位，工业需求迫在眉睫，政策支持力度持续增强，创新交付模式不断涌现……发展前景广阔，实施路径明确，产业转型势在必行，行动时机稍纵即逝。

## 2 行业动态

### 2.1 小堆

#### ❖ [俄罗斯计划推进小型堆批量化建设](#)（点击查看来源）

2025年11月19日，俄罗斯总统普京在莫斯科举行的“AIJourney-2025”会议上宣布，为满足人工智能技术发展带来的电力需求，俄罗斯将启动小型堆（SMR）批量化建设计划。

普京指出，能源基础设施是俄罗斯战略资产，为国家提供了重要的竞争优势。在谈及未来小型堆建设规划时，普京表示，



俄罗斯已开发出为数据中心供电的创新解决方案，并将继续依托大型核电厂推进数据中心建设。

普京援引2024年12月通过的俄罗斯核工业长期发展规划称，俄罗斯计划新建38台核电机组，主要选址于西伯利亚、乌拉尔和远东地区。俄罗斯国家原子能公司（Rosatom）表示，初步规划中包含分布在4处厂址的11台小型堆机组。

普京强调，新建机组的总装机容量将接近俄罗斯现有核电装机总量。数据处理需要消耗巨大能源，仅2030年前，数据中心的用电需求预计将增长两倍以上。

2018年，Rosatom在加里宁（Kalinin）核电厂附近投运了首个数据处理中心——卡林斯基（Kalininsky）数据中心。该公司表示，毗邻核电厂的区位优势确保了电力供应的稳定性和安全性，核电机组能够持续稳定运行，并配备严格的访问控制系统。

#### ❖ [英国首座小型堆核电厂将于21世纪20年代末启动建设](#)（[点击查看来源](#)）

2025年10月23日，大英能源-核能机构（GBE-N，前身为大英核能机构（GBN））首席技术官布莱恩·罗宾逊（Brian Robinson）在威斯敏斯特能源、环境与交通论坛组织的英国核能行业网络研讨会上表示，该国首座小型堆电厂的最终投资决定将于21世纪20年代末做出，随后将立即启动工程建设。

罗宾逊透露，该小型堆电厂总装机容量1400MWe，将采用罗尔斯·罗伊斯小型堆公司（Rolls-Royce SMR Ltd.，以下简称“罗罗小型堆公司”）的470MWe级小型堆设计，厂址将选定于英国政府拥有的两处厂址之一：位于英格兰西部的奥尔德伯

里（Oldbury），或威尔士的威尔法（Wylfa）。这两处厂址均曾建设过镁诺克斯（Magnox）核电厂。

2025年6月10日，大英核能机构与罗罗小型堆公司分别发表声明确认，英国政府已选定罗罗小型堆技术作为其组织的技术竞赛首选方案，计划在21世纪30年代实现小型堆技术部署。尽管英国能源安全与净零排放部（DESNZ）官员此前多次公开表示力争在21世纪30年代初完成部署，但6月10日的声明指出，大英核能机构将在2025年完成首座1400MWe级小型堆核电厂的选址工作，并在21世纪30年代中期实现项目并网。

#### ❖ [南非重启球床模块堆项目](#)（点击查看来源）

南非核能公司（Necsa）正寻求投资商与合作伙伴，计划依托球床模块堆（PBMR）技术开发小型堆，以取代燃煤电厂为非洲地区提供离网电力解决方案。

南非政府已正式批准重启PBMR项目。该项目于20世纪90年代启动，后于2010年中断并进入封存状态。目前，PBMR项目仍保有近300项专利和完整的测试设施。

Necsa首席执行官Loyiso Tyabashe指出，首要任务是重启燃料开发实验室和氦气测试设施。不过，PBMR小型堆项目面临着全球80多种小型堆设计的激烈竞争，且仍需约17.5亿美元的额外资金投入。

## 2.2 第四代核能系统

### ❖ [我国钍基熔盐实验堆首次实现堆内钍铀转换](#)（[点击查看来源](#)）

11月1日，我国第四代先进裂变核能系统——钍基熔盐实验堆，首次实现了钍铀核燃料转换，初步证明了熔盐堆核能系统利用钍资源的技术可行性，成为目前国际上唯一运行的熔盐堆。该系统将我国储量丰富的钍元素作为核燃料，有望打破我国核电对铀燃料的依赖。

### ❖ [美国通用原子公司完成新型快堆概念设计](#)（[点击查看来源](#)）

近日，美国通用原子电磁系统公司（General Atomics Electromagnetic Systems）宣布完成新型氦冷快堆的概念设计工作。该模块化快堆是美国能源部“先进堆示范计划（ARDP）”支持的三个早期概念项目之一。

这款创新型反应堆采用模块化设计，可在工厂完成制造后进行现场组装，占地面积仅需0.2英亩（约合809m<sup>2</sup>），单机容量达44MWe。反应堆设计采用创新型空气冷却系统，特别适合在偏远或干旱地区部署。其使用的碳化硅包覆高丰度低浓铀（HALEU）燃料，耐温性能达到现有轻水堆燃料包壳的两倍。

通过建模和实验室测试，该快堆设计的可行性已得到充分验证，关键安全系统、燃料及运行性能均达到预期标准。相关成果为该技术进入初步设计阶段奠定了基础，有望在21世纪30年代实现示范项目建设。目前，通用原子电磁系统公司已制造出符合设计规格的示范燃料棒样品。

该公司副总裁克里斯蒂娜·巴克（Christina Back）表示，在“先进堆概念2020”项目的支持下，气冷快堆技术取得重要突破，验证了能够提升安全性的高性能材料，同时实现了无需外部水源的运行模式。这些特性使反应堆选址更加灵活，可满足小型社区及包括乏燃料回收在内的多种应用需求。

随着概念设计阶段完成，通用原子电磁系统公司正积极推进技术成熟化和初步设计工作。目前，在概念设计阶段制造的燃料棒原型正在爱达荷国家实验室（INL）进行辐照测试，以验证其结构完整性。下一步计划包括开展安全相关测试，持续推进燃料、材料及动力转换系统组件的研发工作。这些工作将为最终设计阶段做好准备，该阶段将涵盖建造、非核测试以及获取燃料制造所需的高丰度低浓铀材料。

在监管审批方面，通用原子电磁系统公司已向美国核管会（NRC）提交了主要设计准则和质量保证计划文件。NRC已受理多份预申请文件，这些文件将为后续正式许可证申请提供重要参考。

#### ❖ [俄罗斯研究机构完成BN-800机组蒸汽发生器管道监测研究](#)（点击查看来源）

近日，全俄热工研究所（VTI）专家已完成对别洛雅尔斯基（Beloyarsk）核电厂BN-800机组蒸汽发生器热交换管内表面状况的系统性监测研究。该研究成果对提升设备运行可靠性及预测其特定类型污染具有重要实际意义。

别洛雅尔斯基4号机组采用BN-800钠冷快堆设计，是测试闭式核燃料循环技术的关键设施。该机组的蒸汽发生器是壳管

式热交换器，其壳侧流动着液态钠，而管侧则充满除盐水。这类设备至关重要，需要对其加热系统的状况进行特殊监控，因为这直接关系到传热效率和运行安全。

此前，行业内缺乏评估蒸汽发生器管道内表面状态的有效方法。VTI物理技术部专家已开发并验证了三种解决方案：一是制作热交换管段的横向截面；二是测定管道特定区段的污染程度；三是通过视觉对比评估工作样品在沉积物与氧化膜清除前后的表面状态。

通过系统研究，科研人员明确了沉积物的形成速率、在热交换区域的分布规律，以及防止金属腐蚀的保护膜状态。整套数据体系为预测加热系统状态演变、优化设备运行策略奠定了基础。

目前，上述方法已被用于完善运行规程，并成为延长核设施设备使用寿命的关键组成部分。

#### ❖ [法国数据中心运营商签署熔盐堆电力预购协议](#)（点击查看来源）

近日，法国熔盐堆开发商Stellaria与全球数据中心运营商Equinix签署电力预购协议。根据协议，Equinix获得Stellarium反应堆首批发电容量的优先采购权，该反应堆计划自2035年起逐步部署。

此次合作是Equinix在替代能源领域的最新布局。2025年8月，该公司宣布与包括Stellaria在内的5家能源供应商达成合作，旨在为其快速增长的人工智能数据中心业务提供可持续能源支持。



Stellaria开发的Stellarium反应堆设计紧凑，体积仅为4m<sup>3</sup>，可灵活使用多种核燃料，包括铀、钚、混合氧化物（MOX）燃料、次锕系元素及钍燃料。该公司称，这是全球首款采用液态燃料技术且“废物量消耗大于产生量”的反应堆。

## 2.3 聚变

### ❖ [ITER朗缪尔探针完成最终设计评审](#)（点击查看来源）

近日，由核工业西南物理研究院（以下简称“西物院”）自主研发的国际热核聚变实验堆（ITER）朗缪尔探针（DLP）系统，在法国ITER组织总部通过最终设计评审。这标志着我国在ITER计划关键诊断系统研制中取得重要进展，为后续系统制造和整体交付奠定坚实基础。

朗缪尔探针是ITER偏滤器上的重要诊断部件，将在高热负荷条件下工作，用于测量偏滤器靶板附近等离子体的温度、密度等关键参数，为ITER装置的运行和优化提供关键数据支持。中国承担的朗缪尔探针项目将安装于2号、10号、14号扇段偏滤器位置，全部由西物院独立完成。本次评审覆盖探针体、电源系统、仪控设备等关键核心技术与工艺。

自2015年西物院同科技部中国国际核聚变能源计划执行中心（以下简称“核聚变中心”）签署朗缪尔探针初步设计合同以来，研究团队依据ITER设计和运行方案的调整情况，完成了4版产品设计、研发、材料制造和测试等一系列认证工作。在核聚变中心指导下，西物院联合厦门钨业股份有限公司协同攻关，于2024年成功完成探针5000次10MW/m<sup>2</sup>测试和300次20MW/m<sup>2</sup>热循环测试，突破当前聚变堆用朗缪尔探针热负荷承受纪录，



标志着当前朗缪尔探针最核心的热负荷承受能力问题已被攻克，满足ITER设计要求。

评审会上，团队全面汇报了设计方案与技术成果，并回应了ITER组织专家的质询。专家一致认为中国团队设计方案科学合理，创新提出的具有独特结构的全钨探针结构和高集成四象限探针电源一体机设计获得肯定。

下一步，研究团队将认真吸纳评审专家的意见建议，对设计方案进行进一步优化完善，并全力推进DLP项目其余工作内容最终设计评审的准备工作，确保高质量完成项目任务，在国际舞台上贡献更多中国智慧。

## 2.4 先进核燃料与材料

### ❖ [美国光桥燃料样品启动辐照测试](#)（点击查看来源）

近日，美国爱达荷国家实验室（INL）正式启动对美国光桥公司（Lightbridge）浓缩铀-锆合金燃料样品的辐照测试。目前样品已在INL的先进试验堆（ATR）中接受辐照。

光桥公司表示，本次辐照测试旨在收集其新型燃料设计的关键材料性能数据。测试完成后，将获取燃料合金的微观结构演变规律、导热特性等关键参数，以及这些参数随燃耗加深的变化规律，这些数据对光桥燃料未来实现商业化部署至关重要。

光桥燃料是专为现有轻水堆和重水堆开发的下一代核燃料技术，可显著提升反应堆安全性、经济性和防扩散性能。光桥公司同时正在开发适用于新型小型堆（SMR）的燃料设计。

❖ [美国X-energy启动田纳西州Triso燃料制造厂建设](#)（点击查看来源）

2025年11月17日，美国X-energy公司宣布其位于田纳西州的三层各向同性包覆颗粒（Triso）核燃料制造厂厂房已启动建设。与此同时，该公司计划在陶氏化学（Dow）位于德克萨斯州西德里夫（X-energy）的工厂建设4台80MWe级先进堆机组。

X-energy子公司Triso-X总裁乔尔·杜林（Joel Duling）表示，该设施将专门生产Triso燃料，用于公司拟建的先进堆。

X-energy在西德里夫厂址拟建的首座核电厂，有望成为北美地区首个为工业基地供电的电网级先进堆项目，同时为基地提供电力和高温蒸汽。2025年3月，陶氏子公司朗莫特能源公司（X-energy）已向美国核管会（NRC）提交建设Xe-100反应堆的申请，预计后者将在2026年完成技术审查。

Xe-100采用高温气冷堆设计，装机容量80MWe，除发电外，还可为工业应用供应高温工艺热能和蒸汽。

Triso-X称，这座名为TX-1的燃料制造设施年产能将达到5吨铀，相当于每年生产约70万个Triso燃料球，足以满足11台Xe-100机组的燃料需求。X-energy预计，该设施将在2026年5月前获得运行许可证。

❖ [法国法马通与美国泰拉能源实现先进核燃料技术突破](#)（点击查看来源）

近日，法国法马通公司（Framatome）位于美国华盛顿州里奇兰的核燃料制造工厂顺利生产出金属铀圆饼（puck）。该材料是美国泰拉能源公司（TerraPower）Natrium反应堆燃料供应

链的关键部件，标志着法马通先进堆燃料商业化制造取得重大进展。

高丰度低浓铀（HALEU）金属生产是核燃料制造流程的核心环节，该工艺将铀转化为金属原料，用于制造先进堆燃料。法马通里奇兰工厂已完成金属化生产线建设。两家公司确认，现有从贫铀制备金属的技术工艺与专业经验，同样适用于泰拉能源先进堆所需更高富集度铀的加工。

泰拉能源Natrium技术采用345MWe级钠冷快堆搭配熔盐储能系统。2024年，该公司已在怀俄明州凯默勒厂址启动首个Natrium项目建设工作。与当前多数研发中的先进堆类似，Natrium将使用铀-235丰度介于5%~20%的HALEU燃料。

泰拉能源表示，金属铀圆饼的成功生产为在全美快速部署Natrium电厂的计划提供有力支撑。

#### ❖ [法马通将在法国建设TRISO燃料试点工厂](#)（点击查看来源）

近日，法国法马通公司（Framatome）宣布将在法国罗芒（Romans-sur-Isère）燃料制造基地生产三层各向同性包覆颗粒（TRISO）燃料，并与法国Blue Capsule Technology签署协议，为其高温堆制造TRISO燃料元件。法马通表示，试点产线将专注于生产丰度最高达20%的TRISO燃料。依托法马通深厚的技术积累，该设施将承担TRISO燃料规格制定、资质认证以及相关制造与质量控制工艺开发任务。该项目旨在为法国实现TRISO燃料的后续工业化生产奠定基础。

在法国“2030 创新反应堆”项目框架下，法马通与 Blue Capsule Technology 已签署条款清单协议，重点推进 TRISO 燃料颗粒资质认证以及高温堆定制燃料元件制造工作。

Blue Capsule Technology 表示，其反应堆将采用丰度低于 5% 的低浓铀 TRISO 燃料，这既考虑到低浓铀在行业的广泛使用基础，也着眼于提升反应堆技术的出口潜力。该公司目标客户为能源密集型产业，因其高温堆可提供工业级热能与蒸汽，必要时还可联产电力。

2025 年 9 月下旬，法马通与美国唯一独立 TRISO 燃料开发商标准核能公司（Standard Nuclear）宣布成立名为标准核能-法马通（SNF）的合资公司，致力于实现 TRISO 颗粒及专有先进堆产品的商业化量产。该合资公司目标在投产后实现年产 2 吨 TRISO 燃料，从而显著提升现有产能，以满足全球不断增长的先进堆需求。该合作计划在获得监管批准后于 2027 年启动生产。