



中国核能行业协会
CHINA NUCLEAR ENERGY ASSOCIATION

周报

2024年第10期

总第010期

先进核能专委会



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-neo.cn/>
电话：010-56971736 邮箱：su-zf@org-cnea.cn



1.委员会动态

❖ 中国核能行业协会先进核能系统专业委员会 2024 年度会议暨先进堆软件开发与验证经验交流会在西安召开 (点击可查看原文)

3月1日，由中国核能行业协会主办，西安交通大学承办的先进核能系统专业委员会（以下简称“先委会”）2024年度会议暨先进堆软件开发与验证经验交流会在西安顺利召开。来自先委会的16家单位36名委员和代表参加会议。先委会主任委员李晓明做开幕致辞。会议由中国核能行业协会副秘书长、先委会执行副主任委员兼办公室主任龙茂雄主持。

年度会议审议通过了2023年先委会的组织建设、工作进展及2024年计划、经费使用及2024年预算等情况；听取了关于《先进核能技术发展报告(2023)》、先进堆技术体系与评价体系研究、小堆发展及示范关键问题研究、世界空间堆技术发展、核能综合利用等专题报告的编制情况汇报；并对先委会办公室及办公室主任工作绩效进行民主测评。与会代表对先委会2023年工作表示充分肯定，并结合各单位自身需求对2024年工作提出意见建议。

协会专家委常务副主任、先委会特邀顾问赵成昆在总结时谈到，先委会应继续跟踪国内外先进核能领域的最新动态并形成有价值的报告，同时积极发挥协会平台优势，促进各单位在先进核能发展方向及技术实现路径等共性问题方面的经验交流与合作。

年度会议同期还召开了先进堆软件开发与验证经验交流会。会议邀请了来自西安交大、清华大学、核动力院、中科院应物所、



中广核研究院5家单位的专家分别介绍了快堆、高温堆、超临界二氧化碳核能动力系统、熔盐堆、小堆的软件开发与应用情况。

会后，与会代表还参观了西安交大快堆蒸汽发生器综合性能试验平台。

❖ [2024年中国参与GIF工作研讨会在西安顺利召开](#) (点击可查看原文)

2月29日，由中国核能行业协会主办、西安交通大学承办的2024年中国参与GIF工作研讨会在西安举办。此次会议共有来自国内10余家参与GIF工作的相关单位38位代表参加。西安交通大学能动学院院长苏光辉致欢迎辞，国家原子能机构顾少刚处长代表黄平副司长参会并致辞，协会龙茂雄副秘书长主持会议并做总结。

苏光辉详细介绍了西安交通大学部科技创新港建设和核科学与技术学科的发展情况，未来希望继续获得行业相关单位的支持，助力形成国际核行业人才培养和科学研究高地，为我国核科学与技术领域的可持续发展提供创新人才和技术支撑。

顾少刚在发言中对GIF联络办公室和各参与单位的工作表示肯定。他指出，我国第四代反应堆在设计、研发、工程示范方面取得重大进展，其中，高温气冷堆核电站示范工程已经投入商业运行，钠冷快堆示范工程正在紧张施工中，超临界水堆、铅冷快堆、熔盐堆正在积极开展实验验证和工程示范准备。作为中国政府核工业主管部门，中国对口国际原子能机构的窗口，也作为中国加入第四代核能系统国际论坛（GIF）的政府部门之一，中国



国家原子能机构非常重视加强国际合作与交流、共享核能发展成果，希望各单位通过加强与GIF、IAEA等国际组织的交流合作不断增强我国的核能研发实力。

GIF联络办公室主任常冰汇报了中方2023年参与GIF工作的总体情况以及2024年重点工作，GIF中方代表详细报告中国参与GIF各堆型及国内项目进展、GIF相关工作组/任务组情况，分享了各自单位在第四代核能技术研发方面的最新成果和进展。与会代表畅所欲言，深入讨论了我国在GIF合作机制方面的收获与不足，并就未来如何充分利用此平台提出意见建议。

龙茂雄在总结时强调，随着GIF框架协议延期工作的开展，GIF联络办公室应当在政府指导下，联合国内有关单位开展阶段性工作研究，为政府部门决策提供参考。同时，他希望国内相关单位充分利用GIF平台，为国内高端人才培养提供资源和支持。

2. 专题研究

❖ 逐梦全球最大“人造太阳” (点击可查看原文)

法国当地时间2024年2月29日，国际热核聚变实验堆(ITER)组织与中核集团中国核电工程有限公司牵头的中法联合体正式签署托卡马克核心安装标段——真空室模块组装合同（SMSA）。这是中国在成功安装其心脏设备之后，再次承担其核心设备的安装任务，这意味着中法联合体已经成为目前国际热核聚变实验堆（ITER）项目主机安装的唯一承包商。

ITER计划旨在建造全球最大的可控核聚变实验堆，被誉为全世界最大的“人造太阳”，是当今世界规模最大、影响最深远的



国际大科学工程之一，承载着人类和平利用核聚变能的美好愿望。作为中法联合体的牵头单位，中核工程以匠心确保安装工程按时、保质、安全完成，顺利跑完聚变安装的“第一棒”，如今“再下一城”，凭借专业和可靠再担重任，助力“人造太阳”从梦想变为现实。

● 2.7个G，800份招标文件

2019年9月30日，ITER项目托卡马克主机安装标段一（TAC-1）安装合同在北京签约，作为祖国70年华诞的献礼，也开启了中国核能企业开拓欧洲市场的征战之路。

TAC-1是ITER项目最大的安装工程合同，其重要性相当于核电站的反应堆、人体里的心脏，主要负责托卡马克装置周边核心设备安装工作，包括杜瓦、冷屏、磁体系统、冷却水系统、超导馈线系统等。

这一重大成就的背后，是长达数年的精心准备与不懈努力。早在2016年，中核工程就已开始为TAC-1的投标工作做准备，积极参与ITER的多个小型招标项目，以熟悉和适应业主的招标要求。2018年2月，ITER组织发布招标文件后，中核工程牵头，和核工业西南物理研究院、中国核工业二三建设有限公司、中科院等离子体物理研究所组成联合体并迅速成立工作组，全力以赴开展投标工作。

回顾投标过程，每一个环节都充满了考验。海量的招标文件、详细的技术要求，都需要投入大量的精力去消化理解。TAC-1的招标文件本身就有2.7个G，文件数量将近800份，且全部为英文



文件，要将这些文件消化清楚其工作量可想而知。面对复杂的海外投标环境，投标团队需要克服人力不足、语言障碍、经验缺乏、联合体内部磨合困难、人员分散等多重挑战。特别是当法国法马通公司加入后，团队还需应对语言和文化差异带来的沟通难题。然而，团队始终保持着高昂的斗志和坚定的信念，终于在2019年5月向ITER组织提交了最终的Best and final offer(BFO)投标文件。同年7月，凭借卓越的技术方案，中法联合体成功中标TAC-1标段。这不仅是中国企业迄今为止在欧洲市场中标的最大核能工程项目合同，也是中国核能企业首次以施工总承包形式参与国际大科学工程。

接到中标函后，中法联合体各方共同组建合同谈判小组，和业主开始了艰苦卓绝的谈判。那时的谈判出差经常是“短期急行军”式差旅，航班上、高铁上、宾馆大堂的小桌子旁，都留下了小组成员争论的声音和忙碌的身影。合同谈判人员秉承“心往一处想，劲往一处使”的信念，逐个问题核对、解答，最终完成了合同文本的确认。

● “撬动”1250吨的2.7毫米

2020年4月下旬，经过月余的培训工作，中方团队人员正式进场工作。第一个任务就给了中方团队一个“下马威”——需要将重达1250吨的杜瓦底座安装到托卡马克大厅内，这是ITER项目尺寸最大，单体重量最大的部件。

面对陌生的海外工作环境、业主的顾虑以及前所未有的安装任务，中方团队展现出了惊人的毅力和专业能力。2020年5月28



日凌晨，在杜瓦底座落位的最后时刻出现了吊装载荷无法准确落到承接的千斤顶上的突发情况，所有参与的相关方包括业主、监理、吊装方都有些慌乱，中核工程ITER项目部技术经理陈远庭临危不乱，凭借丰富的经验和冷静的判断，指挥吊车、监测、千斤顶操作人员多点协同，最终成功将载荷转移到基座千斤顶上，直径30米的大家伙中心偏差只有2.7毫米。当杜瓦底座最终落位的那一刻，现场响起了热烈的掌声。

从开始进场工作，到杜瓦底座成功吊装，中方团队仅用了不到两个月的时间。杜瓦底座吊装成功标志着ITER项目由土建阶段转入了全面安装阶段，更被ITER组织赞誉为“Golden Milestone（黄金里程碑）”。以此为契机，ITER计划重大工程安装启动仪式在法国现场组装大厅举行。国家主席习近平致贺信：“计划实施以来，中方始终恪守国际承诺，中国企业和科研人员勇挑重担，与国际同行齐心协力，为计划的顺利推进贡献了中国智慧和中国力量。”

● 核能领域深度融合的典范

法国法马通公司在投标阶段就加入了联合体，本地承包商的加入对于项目建设无疑是加分的，但是如何合作成为了团队面临的难题。针对传统联合体方式在责任分工和分配比例上的局限性，投标团队打破常规，决定成立一个深度融合的联合体，提出了“三个一”的合作原则：one goal（一个目标），one team（一个团队），one voice（一致对外）。



这一共识在TAC-1项目4年多的合作过程中得到了充分贯彻。在项目初期，当中方团队对当地情况尚不熟悉时，法马通的成员在安全体系、质量管理体系以及本地供应链的建立上给予了联合体巨大的支持。在项目面临困难的时期也是法马通派遣专家组织多个工作组（work shop），与联合体团队一起共克时艰。

如今TAC-1项目团队已经形成了亲如一家的氛围，深入交流和共同讨论问题已成为常态，这种深度融合的合作模式不仅促进了项目的顺利进行，也真正实现了当初设定的目标。

在今年中法建交60周年之际，TAC-1项目的成功合作无疑成为了中法两国在核能领域合作的典范。这一典范也为未来更多国际合作项目提供了宝贵的经验和借鉴。

● 1340天铸就的安全管理标杆

2020年5月杜瓦底座吊装完成，拉开了ITER主设备安装的序幕。一个个工程节点稳步推进，捷报频传：2021年10月底部校正场线圈BCC5号吊装就位，标志着托卡马克主机安装第一阶段任务完成，实现Pit Ready（具备吊装真空容器的条件）。2023年11月托卡马克装置下部冷屏、最后一个下部主要磁体部件——极向场超导线圈均已成功落位，TAC-1合同在ITER项目已经累计完成了34个工作包。2023年底实现现场安全施工1340天，成为ITER现场安全管理的标杆。

自2020年以来，TAC-1项目的实施多数都伴随着疫情的严峻考验。在4月初的疫情高峰期间，中方团队成员逆行法国，肩负起ITER建设的重任，坚持抗疫与生产双线作战。与此同时，中核



集团筹集8万只一次性医用口罩捐赠给ITER组织。时任ITER组织总干事比戈（Bigot）对中核团队的到来和捐赠的医疗防疫用品表示由衷的感谢：“尽管受新冠肺炎疫情影响，中核集团团队依然能够按原计划如期执行项目合同。我们将尽全力为大家安全提供保障，请放心。”

工程能够稳步推进的背后凝聚了项目团队无数的心血与汗水。ITER项目是目前世界上最大的聚变反应堆实验工程，其复杂程度和技术难度均超过了已经大量建造运行的裂变反应堆，由于广泛使用新材料、新技术、新工艺，许多安装工作都是没有标准可循、没成熟经验可直接借鉴，许多工艺都需要反复验证才能应用到实体安装工作中。自开工以来，TAC-1几乎所有部件的安装，都是在不断的探索、验证、说服业主的过程中完成的，项目团队的工程技术人员凭借专业的知识、扎实的技术功底、丰富的工程经验、熟练的技能，突破了一个又一个技术障碍，用实力赢得了业主的认可。

“从关键部件交付到核心装置安装，中国是ITER计划可靠的合作伙伴。我衷心感谢中国的坚定承诺和长期支持，期待与中国继续深化合作。” ITER组织总干事彼得罗·巴拉巴斯基（Pietro BARABASCHI）对中国团队的贡献给予了高度评价，“中国在技术和人力方面为ITER项目做出了巨大贡献。在非欧洲国家中，中国在建设现场拥有最强大的高技能建设人才队伍。中国承接核心装置安装合同，正在出色完成组装任务，非常值得信赖！”在合同执行过程中，项目团队始终秉持国际合作精神，实现安全生



产，质量总体受控，完成一系列重大里程碑节点，合同履行总体评价高，获得了业主、监理等各相关方的一致好评。

● “唯一”背后是强大的中国力量

真空室模块组装合同（SMSA）于当地时间2月29日正式签订，自此，为期4个月的SMSA投标、合同谈判等系列工作圆满完成，ITER项目部开启了新的篇章。

真空室模块组装是目前ITER项目最重要设备在关键路径上的工作，对整个ITER项目的成功起到至关重要的作用。面对国际上各投标方的激烈竞争和极为有限的投标准备时间，联合体迅速组建专项工作组，汇聚各方精英，夜以继日地工作，于2024年2月6日成功中标。

真空室外形像一个甜甜圈，但是由于尺寸巨大，为了便于安装，整个真空室被分成了9个真空室模块，每个模块都是一个三层夹心结构，由内到外分别为40度真空室扇段、真空室冷屏和环向场线圈。本次中标的真空室模块组装工作就是像穿衣服一样，将真空室冷屏、环向场线圈在装配大厅集成组装到真空室扇段上，整体吊装到托卡马克堆坑内。真空室模块共分为9个扇区，每个扇区单独完工交付，9个扇区的计划安装总工期为35个月。

自收到中标通知的第二天起，中法联合体便与业主展开了紧张的谈判工作。正值2024年春节前夕，双方共进行了9轮大型谈判会和多个专项讨论会，谈判时长超过40小时。项目现场谈判团队充分运用TAC-1经验及谈判技巧，精心筹备、积极应对，争取更合理、更利于项目推进的合同条款与技术要求。联合体各家的



国内后台人员也在春节期间随时待命，提供必要的支持。中法联合体顶住高强度的工作压力，展现了团队的专业素养和合作精神，最终最大程度优化了合同条款，多项核心条款获得有利条件。

SMSA合同的顺利签署，意味着中核工程牵头的中法联合体成为目前ITER项目主机安装的唯一承包商，将极大提高中国在国际大科学工程中的参与程度与贡献度，推动构建聚变命运共同体；同时为国内聚变工程建设工作的开展积累经验、培养人才，推动我国聚变工程建设能力再上新台阶，助力核能“三步走”发展战略。

第一个发达国家核能工程项目、第一次中法联合体合作、第一个聚变部件吊装、第一个超导接头组装……从投标准备到合同签订、从杜瓦底座吊装到超导馈线系统、中央螺线管安装稳步推进、从TAC-1到SMSA，从跟跑、并跑、到领跑，中方团队在ITER项目创造了太多的第一次“奇迹”。前路虽有坎坷，依然砥砺前行，ITER项目中方团队愿做海外工程推进的桥头堡、聚变工程建设的顶梁柱，不断突破新障碍，始终一步一个脚印，书写聚变事业的辉煌新篇章。

❖ [MoltexFLEX 发表石墨与熔盐相互作用研究](#) (点击可查看全文)

MoltexFLEX的科学家们与英国曼彻斯特大学（University of Manchester）的核石墨研究小组合作，利用X射线微型CT扫描仪研究了熔融盐如何渗透到标准工业级石墨的孔隙中。

这项研究是在位于Warrington的MoltexFLEX实验室和曼彻斯特大学进行的，这两处都位于英格兰西北部。研究将标准工业级



石墨浸入不锈钢容器中的熔盐中，在750摄氏度以上的高温下持续30天。

该公司的FLEX熔盐反应堆设计用于在该温度下运行，目标是使用商业上可获得的石墨，这将使FLEX反应堆的大规模生产更容易，同时保持较低的成本。

研究论文中指出，“对于热谱熔盐反应堆（MSR），石墨通常被用作慢化剂、反射体和核心支撑结构的一部分。石墨固有的多孔性意味着它容易被熔盐渗透，从而导致其性能发生变化。在反应堆设计中必须考虑这种性能变化，因此，对熔盐与石墨微观结构的相互作用有深入的理解对于选择应用于MSR的石墨等级非常重要。”。

传统上，研究石墨/熔盐相互作用的方法是利用盐渗入后的重量增加，然后使用汞侵入孔隙测定法和使用例如扫描电子显微镜等手段观察后期微观结构特征。这些结果提供了熔盐渗入石墨孔隙的总体描述。然而，我们仍需要从根本上了解石墨与熔盐之间的相互作用。孔隙的大小、形状、连通性以及相对于熔盐的位置如何影响盐的详细渗透过程仍有待了解。

论文补充道，研究中使用的系统是一种非破坏性的三维微观结构表征技术，“可以了解石墨/熔盐的相互作用提供更详细的信息”，这项工作旨在观察盐渗入导致的微观结构变化。

报告称，这项研究能够“直接比较熔盐渗入前后的石墨微观结构，量化盐填充孔隙的相对体积，提供关于渗入盐的空间分布



和三维结构的详细信息。所有这些都为了解控制熔盐渗入多孔石墨的动力学提供了宝贵的信息”。

❖ [经合组织核能署发布第二版小堆进展报告](#) (点击可查看原文)

经合组织核能署（OECD-NEA，NEA）发布了第二版小型模块化反应堆进展报告，该报告跟踪选定的小堆设计在部署方面的进展。相比首版报告，第二版大幅补充了所跟踪的小堆技术，页数也由78页增加到了188页。

NEA表示，这些小堆设计处于不同的开发阶段，从对新概念进行基础研究到成熟设计的商业部署和运营。第二版188页的审查评估了全球小堆的进展情况，“突出了在快速发展的领域中首次部署的重大进展”。尽管对不同小堆技术的技术特点可能已为人们所熟知，但NEA指出，在这些技术普遍商业化的速度方面仍存在一些差距。

NEA确定了全球98种小型模块化反应堆技术，并将其中56种纳入到第二版报告中。其他42种技术中，大约有7种正在开发中但请求目前不予纳入，但可能在未来版本纳入。其他的“包括那些没有进行积极开发、可能缺乏人力或财力资源、或已经取消或无限期暂停的小堆技术”。

相比之下，2023年3月出版的第一版中详细介绍了21项设计，随后在2023年7月发布了60页的补充，跟踪了另外21项小堆的进展情况。除了详细介绍小堆技术成熟度水平外，该报告使用仪表板的方式还评估了六个“附加促成条件”的进展情况，即许可、



选址、融资、供应链、参与度和燃料。这些评估是基于截止日期为2023年11月10日之前的进展情况进行的。

NEA表示，它只使用来自可验证的公开信息，主要来自政府、监管机构、融资方和运营商等第三方参考资料。“除了与燃料类型、富集度、反应堆具体细节以及融资公告相关的一些信息外，NEA没有使用任何小堆设计方提供的来源。”。在发布之前，NEA与小堆设计方进行了咨询，并向他们提供了用于编制评估报告的信息来源清单。小堆设计方有机会对此进行评论并补充更多信息。NEA表示，“如果这些进一步的信息经过独立验证，则已被用于最终发布的评估中”。

NEA总干事William D Magwood IV在前言中表示，“自NEA小堆进展报告首次出版以来，进展迅速且正在加速，多个项目从概念设计、许可和选址阶段转入施工建造。”。他指出，中国和俄罗斯已经部署并运营了几个小型模块化反应堆，日本也有一个试验堆。过去一年的发展包括美国批准建造50年来第一个非水冷式反应堆设计的许可证、选择用于重工业应用的新厂址、加拿大和美国小堆项目土建工程的开工，以及在融资、参与度和燃料等其他领域取得的进展。

他补充道，第二版还提供了对小堆行业新兴商业结构的新见解。“尽管来自其他行业的经验表明，只有一小部分小堆设计将能够实际投入使用，但NEA小堆进展报告概述了开发多样化设计的好处。这可能为整合全球供应链、促进标准化和改善小堆部署



的经济案例创造机会。正在开发中的先进材料和工程解决方案还带来了更多用于核能以外工业领域的益处。”。

然而，该审查还“记录了多个小堆开发商面临的挫折，提醒公共和私营部门的决策者仍然存在一些挑战，特别是在小堆许可、经济竞争力和燃料方面”。废物管理考虑因素也至关重要，并将在未来版本的进展报告中进一步评估。

第二版NEA小堆进展报告显示，目前正在积极开发中的56个小堆设计，其中18个由总部位于北美的小堆设计机构设计、16个位于欧洲和7个位于亚洲。其中，15个小堆设计机构总部设在美国，7个设在法国，4个设在中国，3个设在加拿大，2个设在日本，2个设在俄罗斯。

就技术而言，有几种创新概念正在开发中，并且接近商业化和部署阶段。其中一些基于传统的轻水反应堆概念，而其他则是第四代反应堆概念，许多使用了新型冷却剂和慢化剂。还设想了各种不同的反应堆配置，包括陆基和海上，以及移动式和多模块配置。

总结起来，该报告得出的结论是，虽然已经有一些小堆正在运营，但还有大量的小堆项目正在朝着首堆和首次部署迈进。目前有许多小堆设计仍处于概念阶段。这种设计的广泛性可能会为整合全球供应链、促进标准化以及提高小堆商业化的经济性创造机会。

在小堆许可、选址、融资、供应链、参与度和燃料等领域的主要结论如下。



许可：

中国和俄罗斯在部署方面处于领先地位；

一些监管机构正在采取措施，通过早期合作和联合审查来支持小堆的大规模部署，并建立相应的监管框架。

选址：

在北美和欧洲，部署工作正在取得真实而迅速的进展。

小堆的工业应用厂址开始出现，突显了其通过针对新的工业应用领域拓宽核能价值的能力。

融资：

小堆的发展主要由公私合作伙伴关系推动，特别是在开发阶段；

通过电力购买协议或承购协议增强融资框架，以缓解价格不确定性。解决建设风险可能需要政府和私营部门之间采用成本和风险共担的方法，或者组建产业联盟将风险分散到多个利益相关方和更多项目中。

供应链：

新兴的小堆供应链以密切合作为特点，旨在降低部署风险。许多小堆正在积极建立供应链，并取得了良好的进展。

许多合作项目涉及与工程、采购和建设公司的合同，表明供应链正在为近期和加速部署的时间表做准备。然而，大多数努力仍集中在成功交付首堆项目上，并没有迹象显示向批量化部署的结构性范式转变。

参与度：



许多小堆开发商都认识到与关键利益相关方进行接触以建立信任的战略重要性。参与工作主要集中在获得政策和社区支持、人才储备和首个市场方面。

燃料：

一些新型燃料正在为多种小堆开发。其中一些新型燃料已经具备相当的商业成熟度，而其他一些仍需要进一步的开发；

超过50%的在报告中评估的小堆设计计划使用高浓度低富集度铀（HALEU）。尽管HALEU是一种技术上经过验证的燃料类型，但截至2023年，在经合组织（OECD）国家缺乏大规模商业供应，这可能会延迟一些小堆的部署。

在许可方面，报告指出中国和俄罗斯在小堆部署方面处于领先地位。对于23个小堆设计，没有关于许可或预许可活动的信息。大约20个设计处于预许可过程中。有五个已提交了许可申请，分别是NuScale Power的VOYGR-6小堆和Kairos Power的Hermes示范反应堆（美国）；GE Hitachi Nuclear Energy的BWRX-300（加拿大）；Rosatom的浮动RITM-200S（俄罗斯）；以及中广核的浮动ACPR50S（中国）。一个获得了设计批准，韩国的SMART小堆设计。四个获得了建造许可证批准，分别是阿根廷的Carem小堆、中国的ACP100、俄罗斯的RITM-200N以及铅冷快堆BREST-OD-300。只有三个已经获得运行许可证，分别是中国的HTR-PM、俄罗斯的浮动堆KLT-40和日本的高温试验反应堆（HTTR）。

在选址方面，除了目前运营和正在建设的七个小堆外，还有17个小堆被厂址所有者选择用于部署。其中包括Westinghouse的



eVinci 微堆、Radiant Industries 的 Kaleidos 小堆以及 Ultra Safe Nuclear Corporation (UNSC) 的 Pylon D1 已被选中在 Idaho 美国国家实验室 (INL) 部署。X-energy 的 Xe-100 则被 Dow Chemical 公司选择用于在 Texas 州 Seadrift 工厂进行部署。

此外，有 14 个小堆与厂址所有者签订了非约束性协议，包括 BWX Technologies 的 BANR 与 Wyoming Energy Authority 和 Tata Chemicals Soda Ash Partners (TCSAP) 在美国的合作；University of West Bohemia 的 TEPLATOR SMR 与乌克兰 Slavutych 市的合作；以及 Westinghouse 的 Westinghouse LFR 与 SCK CEN 和 RATEN 在比利时 Mol 和罗马尼亚 Pitesti 地区的潜在部署。对于 18 个小堆，目前没有可用的厂址信息。

在融资方面，NEA 表示俄罗斯的浮动式 RITM-200S 反应堆是唯一已经展示了向批量化融资迈进的小堆。有 11 个小型模块化反应堆被评估为其首堆项目已经完全获得了融资。除了已经投入运营或正在建设中的小型模块化反应堆外，美国有两个首堆项目已经完全获得了融资（Kairos Power 公司的 Hermes 和 BWX Technologies 公司的 Project Pele），加拿大有一个（GE Hitachi Nuclear Energy 公司的 BWRX-300），中国有一个（中广核集团的 ACPR50S），俄罗斯也有一个（Rosatom 公司的 RITM-200N）。

然而，在这些各不相同的小堆中，缺少的是预计部署日期的信息。其中一些公司对其首批机组运行提出了乐观的日期。例如，USNC 表示其 MMR 微堆将于 2027 年投入运营，而 Kairos (Hermes) 则表示将在 2026 年开始运营。TerraPower (Sodium)、Urenco



(U Battery) 和 X-energy (Xe-100) 都表示将在2028年开始运营，尽管 TerraPower 后来因高浓度低富集度铀燃料开发问题而推迟了两年。Leadcold 最初为其 SEALER-55 设定了2025年的目标，但后来修改为2030年。其他计划于2030年代初至中期投入使用的包括 EDF 的 Nuward、NuScale 的 VOYGR、Rolls Royce SMR 和 Westinghouse eVinci 等项目。

国际原子能机构 (IAEA) 最新版的两年一版的小型模块化反应堆技术发展报告《Advances in Small Modular Reactor Technology Developments》于2022年出版，提供了更详细的技术细节。这本424页的报告提供了全球小型模块化反应堆的数据，包括18个国家正在开发或建设中的83座反应堆的详细描述。然而与 NEA 的本报告不同，IAEA 主要依赖于设计方提供的信息。

3. 行业动态

❖ [Oklo 燃料设施安全设计策略获批并签订微堆厂址协议](#) (点击可查看原文)

美国能源部 (DOE) 批准了 Oklo 公司计划在美国 Idaho 州的燃料制造设施的安全设计战略，以支持其反应堆的部署。同时，Oklo 与南 Ohio 州多样化倡议 (SODI) 签署了土地权协议赋予 Oklo 在南 Ohio 州购买土地的选择权和优先购买权，Oklo 计划在南 Ohio 州部署两座 Aurora 电站。

❖ [NRC 将发布先进反应堆许可拟议规章](#) (点击可查看原文)

美国核管会 (NRC) 已指示其工作人员发布一项拟议规章和草案指南，以创建美国联邦法规第10编第53部分 (10 CFR 53)，



这是一个备受期待的基于风险和技术包容、面向先进技术的许可框架，包括非轻水反应堆。

❖ 韩国将投资小堆制造中心 (点击可查看原文)

韩国将投资发展小型模块化反应堆铸造业务。韩国总统Yoon Suk Yeol在Changwon市的市政厅会议上表示，政府将发展位于东南部的Changwon市及其周边地区，将South Gyeongsang省打造成为小堆制造中心。

❖ Tractebel 支持 Thorizon 开发融盐堆 (点击可查看原文)

比利时工程公司Tractebel（法国Engie的子公司）与荷兰Thorizon签署了一项为期三年的战略合作伙伴关系。Tractebel将提供包括支持Thorizon One熔盐反应堆的概念设计、计算建模、成本估算和设计审查等方面的工程服务。

❖ 俄罗斯 BN-600 钠冷快堆将延寿 (点击可查看原文)

2024年3月5日，俄罗斯原子能工业公司（Rosenergoatom）正式决定延长别洛雅尔斯克核电厂3号机组BN-600钠冷快堆的运营寿期。该公司将于3月向俄联邦环境、技术和核监督局（Rostekhnadzor）提交延寿申请，监督局将在一年内对该申请进行评审，然后作出是否批准其延寿的决定。

3号机组1980年投运，已于2020年获准延寿5年。目前的运行许可证将于2025年到期，延寿后将可运行至2040年。该机组对于俄原工具有重要战略意义，将用于BREST-OD-300铅冷快堆和BN-1200大型快堆等未来快堆技术方案（例如燃料技术）的验证。



❖ [印度首座原型快堆启动装料](#) (点击可查看原文)

该原型快堆目前计划使用铀-钚混合氧化物（MOX）燃料，未来可能还会转用金属燃料。该堆的建成投运意味着印度核电发展计划进入第二阶段。为充分利用本国丰富的钍资源，印度从20世纪60年代开始实施分为三个阶段的核工业发展计划。第一阶段，利用加压重水堆（PHWR）生产钚-239；第二阶段，利用快堆燃烧第一阶段生成的钚-239，在生产能量的同时，将钍-232和铀-238转化为铀-233和钚-239；第三阶段，利用先进重水堆（AHWR）燃烧第二阶段生成的铀-233，最终构建基于先进重水堆的自持钍铀燃料循环。