

听中外专家谈全球核能发展新趋势

本报记者 刘扬

编者的话：国家能源安全关系人民福祉与国家的长治久安，特别是在全球能源低碳化转型的大背景下，世界多个工业大国持续将核能等高技术产业作为必争的战略产业高地。在此过程中，中国的核能技术与产业发展处于什么样的态势，其他核能民用大国又在如何布局先进核能技术的发展方向？在小型堆、四代堆、聚变堆的研发与应用领域，各方又准备如何发力？《环球时报》记者试图在 26 日-28 日于北京举办的 2023 春季国际高峰会议暨第十五届中国国际核电工业展览会（以下简称“会议”）上寻找答案。

我国在建机组 24 台，保持全球领先

本次会议主题为“双碳背景下核能高质量发展”，由中国核能行业协会主办。该协会 26 日发布的《中国核能发展报告 2023》蓝皮书显示，截至目前，我国在建核电机组 24 台，在建规模继续保持世界领先。

蓝皮书显示，2022 年以来，我国新核准核电机组 10 台，新投入商运核电机组 3 台，新开工核电机组 6 台。截至目前，我国在建核电机组 24 台，总装机容量约 2681 万千瓦，继续保持全球第一。商运核电机组 54 台，总装机容量 5682 万千瓦，位列全球第三。据介绍，2022 年，我国核电总装机容量占全国电力装机总量的 2.2%，发电量为 4177.8 亿千瓦时，同比增加 2.5%，约占全国总发电量的 4.7%，核能发电量达到世界第二。

蓝皮书显示，与燃煤发电相比，2022 年我国核能发电相当于减少燃烧标准煤近 1.2 亿吨，减少排放二氧化碳近 3.1 亿吨。

2022 年，我国有 37 台机组在世界核电运营者协会的综合指数达到满分，占世界满分机组的 50%，这个指数反映了核电机组在发电能力、生产效率及安全性能等方面的综合水平，我国核电机组的满分比例和综合指数平均值均高于美国、俄罗斯、法国、韩国等主要核电国家，同时优于全球机组的平均水平。

当前，我国核电自主创新能力显著增强，“华龙一号”机组陆续投运，标志着我国实现由二代向自主三代核电技术的全面跨越。

作为中国核电国家名片的“华龙一号”是本届核电工业展上的明星。《环球时报》记者发现，多个中方展台中心位置都放置了“华龙一号”的大比例模型。上一届核电展上，我国第一台“华龙一号”刚刚投入运行。目前，在国内外“华龙一号”共有 5 台机组建成投产，9 台机组正在建设，“华龙一号”批量化建设有序推进，标志着我国真正自主掌握了三代核电技术，核电技术水平跻身世界前列。

本次展览会上另一个大牌“明星”就是大型先进压水堆核电站科技重大专项——“国和一号”示范工程。据了解，示范工程建设正在顺利推进，一批关键设备实现如期交付。高温气冷堆核电站科技重大专项示范工程实现了初始满功率运行。

多国核能减排计划各有侧重

对于通过核能技术实现减排目标，并不只有中国高度重视，很多国际组织与核电大国都将其作为保证能源安全、减排目标的一个重要实现路径。

国际原子能机构 (IAEA) 总干事格罗西在本次会议上发表视频演讲称，要确保清洁、可负担的可持续能源来应对严重的气候变化，中国的贡献是提出了“双碳”目标（碳达峰、碳中和）。为实现相关目标，中国正在积极有序发展核能，核能可以减少温室气体排放，提升能源的可及性

以及能源安全，同时有助于平抑国际能源市场的价格波动，推动经济可持续发展。上述目标都可以通过大规模部署核电实现。格罗西还说，全球核能的装机容量到 2050 年要翻一番以上，才能达成全球减排目标。

经合组织能源总干事的代表安东尼奥·沃亚·索勒在视频发言时表示，要想实现全球核电装机容量 2050 年翻一番，可以通过多条技术路线：一是现有机组延寿，保持现有核电机组长期运行。这个方案是新增投资最低的选项之一。他表示，在发展核电的问题上，欧洲一些国家有一定政治上的压力，美国等国主要是资金上的压力。二是新增第三代大型堆，主要来自中国和印度等国，可以大量增加电力供应，并完成减排目标。三是推进小型模块化反应堆（SMR）的研制与应用，这一技术路线大有可为。

法国驻华使馆核能参赞杜磊德 26 日在发言时表示，尽管 2021 年核能在法国基本能源消耗占比为 40%，但法国仍要消耗大量化石能源。法国有 56 个运营中的压水堆，2020 年时平均服役年限为 35 年。他表示，到 2050 年，法国要降低 40% 的能耗，但无论怎么降低能耗，电力需求都要上升，因此必须大力发展核能。没有核电，法国将面临极大风险。

在法国电力集团（EDF）的展台上，《环球时报》记者看到展板上写着“法国的核电重振计划”——2022 年 2 月，法国总统马克龙表示：“这是法国核电业的复兴……从今天开始，我们将启动新建核反应堆的计划……我希望新建 6 座第二代欧洲压水堆（EPR2），并启动兴建另外 8 座 EPR2 的研究。”

英国商业贸易部展台上提供的资料显示，世界上首个商用核电站就是在英国启动发电的。英国运行过 26 座气冷反应堆、14 座先进气冷反应堆和 1 座压水反应堆。目前，所有 26 座气冷堆都处于退役阶段，8 座先进气冷堆及 1 座压水堆仍在运营。另有两座压水堆机组在建。英国制定了扩大核能发电的计划，要发展大型反应堆、小型模块化反应堆、高温气冷堆以及核聚变工厂。

而有着丰富核电厂建造与运营经验的俄罗斯核电企业也受到关注。《环球时报》记者 27 日在核电展览会现场发现，俄国家原子能集团公司的展台是人气最旺的外国厂商展台之一。有很多访客向俄方工作人员咨询问题，俄方展台上不少工作人员可以说流利的中文。在展台中央放置着 4 台液晶屏，从中可以了解俄罗斯核能发展相关技术的进展。在一个液晶屏上，记者看到介绍俄国家原子能集团公司在工业铀-石墨反应堆退役方面经验的内容：全球约有 250 座铀-石墨反应堆，俄罗斯有超过 30 座。画面中介绍了处理该类型反应堆的策略选择。

日本原子力产业协会理事长新井史朗在视频演讲中也介绍了“零碳目标下的日本核能发展”的现状与计划。

各方都在研究哪些核能新技术

不少核电大国在掌握第三代核电技术之后，正在聚焦性能更优、安全性更好、经济性更高的第四代反应堆。

中国核能行业协会专家委主任、中国工程院院士叶奇蓁 27 日发布《先进核能技术发展年度报告（2022）》。报告称，世界核电技术已基本完成由二代向三代核电的转型升级，进入第四代核电技术研发与部分堆型的工程示范验证阶段。先进的小型模块化反应堆、第四代核能系统以及热核聚变堆已经成为全球先进核能技术研发焦点。报告第一部分重点引用 IAEA 的报告介绍全球小型堆开发情况。现有的小型堆设计中，压水堆技术仍占据主导地位。中国、美国、俄罗斯、阿根廷、韩国、英国等均提出了各自小型压水堆设计方案，其中绝大部分处于设计或评审阶段。中国 ACP100、阿根廷 CAREM 等部分堆型已进入建设阶段。俄罗斯在海上浮动堆领域处于领先水平。

下一代反应堆技术独特的安全性等优势在小型堆领域具备独特应用价值。中国在高温气冷、钍基熔盐等小型堆领域，俄罗斯在液态金属冷却小型堆领域，美、加在微堆、熔盐小型堆等领域开发进展处于前列。

报告第二部分重点对第四代核能系统国际论坛（GIF）框架下的先进核能系统（特别是中方重点参与的 5 种先进核能系统）研发进展进行综述。一是钠冷快堆，该技术路线是目前运行经验

最丰富的先进核能系统，俄罗斯在钠冷快堆技术发展和建设投入上处于领先地位，同时中国、印度、法国、日本、美国、韩国等国也在钠冷快堆方面制定了建设计划。二是高温和超高温气冷堆，由于其在核能制氢等综合利用领域的独特优势，成为全球各国积极布局的领域。中、美、俄、法、日都在进行相关研究，南非、韩国、加拿大等多国在布局超高温气冷堆领域也取得了一定进展。三是超临界水堆，欧盟、加拿大、中国、俄罗斯、日本等的超临界水堆目前处于概念设计阶段，重点针对热工水力与安全分析、材料与水化学等关键技术开展相关研究。四是铅冷快堆，在解决部分技术难题后，可作为大型商用电站、加速器驱动的嬗变系统，以及微小型核动力的优选技术路线之一。中国、俄罗斯、欧盟、美国、日本、韩国等均在大力推动铅冷快堆关键技术研究和型号设计工作，俄罗斯在工程化推进中处于领先地位。五是熔盐堆技术.钍基熔盐堆属于热中子增殖堆，能将钍转化为可裂变的铀-233。中国、美国、俄罗斯、英国、欧盟、丹麦都在进行相关研究。

在 27 日的会议上，“国和一号”“华龙一号”、国家科技重大专项高温气冷堆、快堆技术的四大“掌门人”分别从各自研究领域谈了对先进核能技术创新与展望的观点。

聚变能被业界认为是解决人类能源问题的终极方案。国际热核聚变实验堆（ITER）计划宣传部负责人拉班·科布伦茨在视频发言中介绍了该计划的最新进展与展望。中国作为 ITER 计划的积极参与者，也在积极推进聚变堆研发与国际合作，“中国环流器 2 号”M 装置实现等离子体电流突破 100 万安培，为我国开展堆芯级等离子体实验研究奠定坚实基础。聚变堆主机关键系统综合研究设施主体工程建设也在顺利推进。

除了先进核能技术，核安全也是中外专家高度关注的议题。法国专家介绍了法国核燃料循环产业的发展与技术创新。多名俄罗斯专家从俄方先进核能技术开发现状、提升核电厂运行的创新燃料等方面进行了介绍。多名中方专家从我国核退役治理科技发展现状等角度进行了演讲。国家核安全局、国家能源局、国家原子能机构的多位高级官员和专家也介绍了中国从多个维度加强核安保能力建设的积极举措。