



# 解决人类终极能源问题需要哪几步?

多名院士专家深入探讨核能“三步走”战略发展,共话未来能源新篇章

◆本报见习记者程小雨

解决人类终极能源问题需要哪几步?

“我们应该坚持‘热堆—快堆—聚变堆’核能‘三步走’战略。持续发展好热堆的同时,将快堆核能发展提上快车道,加强可控核聚变技术研发和工程示范,掌握人类终极能源的密码。”7月10日,在中国核学会主办、中国核工业集团有限公司(以下简称中核集团)承办的核能“三步走”院士论坛上,中国工程院院士叶奇蓁表示。

在我国核能“三步走”战略提出四十多年后的当下,核能“三步走”战略已进行到哪一步?核能“三步走”战略将如何开创未来能源新纪元?在核能“三步走”院士论坛上,多名院士专家深入探讨我国核能“三步走”战略发展,共话未来能源新篇章。

## 核电发展空间巨大

“提到我国能源资源禀赋,人们常常讲‘富煤’‘缺油’‘少气’。实际上,丰富的非化石能源资源是我国能源资源禀赋的重要组成部分。在我国进入以非化石能源为主阶段时,核能将发挥重要的基础性能源作用。”中国工程院院士杜祥琬表示。

“核电运行稳定,换料周期长,是当前乃至未来一段时间内唯一可以大规模替代化石能源的基荷电源,也是全生命周期碳排放最少的电源,在清洁替代和能源生产与消费革命的转型中具有突出的优势。从我国当前的发展阶段来看,科学、安全、有序地推动能源转型、实现‘双碳’目标离不开核能。”杜祥琬进一步解释。

## 走稳热堆:创新发展核电技术

作为核能“三步走”战略的第一步,我国的热堆发展经历从无到有、从小到大,实现了型谱化、标准化、规模化发展,由“三代”核电向“四代”核电稳步迈进。

当前,我国自主研发的具有完整知识产权的第三代核电技术“华龙一号”已实现批量化建设和海外出口。2023年12月,全球首座球床模块式高温气冷堆核电站示范工程商运投产,标志着我国在第四代核电机组技术领域达到世界领先水平。

放眼未来,热堆技术将朝着更安全、高效、经济、绿色的方向发展。在叶奇蓁看来,推进耐事故燃料开发是热堆的创新发展方向之一。

“如果燃料本身具有很强的抗事故能力,就可以首先把放射性物质包容在第一道屏障内。在采用耐事故燃料后,压水堆平均卸料燃耗会有相应提

升,换料周期也将从18个月提高到24个月,从而节省燃料,提高燃料可利用性。”叶奇蓁表示。

此外,热堆与新技术的融合发展将提升核电站整体运维效率。“利用物联网和人工智能等先进技术,开发智能化的监测和控制系统,实现对反应堆运行状态的实时监控和预测性维护。通过大数据分析,优化反应堆的运行参数,提升运行效率,降低维护成本。”中核集团“华龙一号”总设计师邢继表示。

未来的核能应用赛道还将瞄准模块化小型反应堆。“模块化小型反应堆将在工厂集成组装,可以缩短核电工期。模块化小型堆可用于偏远地区及孤立电网热电联供,替代退役热电站实现城市区域供热,并在工业工艺供热、海水淡化等方面发挥重要作用。”叶奇蓁表示。



▲图为福清核电“华龙一号”示范工程。

中核集团供图

## 走实快堆:实现核能大规模可持续发展

相比热堆技术,核能“三步走”战略的第二步——快堆具有铀资源利用率高、反应堆固有安全性高、高水平放射性废物最小化等优势。

“热堆发展比较依赖天然铀,燃烧的是天然铀中只占0.7%含量的铀-235,大部分的铀资源没有得到利用。而快堆可以利用天然铀资源中占比99%的铀-238,极大提高铀资源利用率。”叶奇蓁表示。

此外,快堆具有嬗变功能,能够在堆内消耗长半衰期、高放射性核素,实现放射性废物最小化,解决核废料难以处理等问题,是实现核能大规模可持续发展的重要选择。

“无论是实现循环经济,提高铀资源的利用率;还是嬗变高放、长寿命核废物,都需要发展快中子反应堆核电站。及时启动核能‘三步走’战略的第二步,是摆在我们面前的战略任务。”

叶奇蓁表示。

在中国科学院院士叶国安看来,世界各国纷纷将快堆技术视为推动核能创新发展的重要突破口,积极制定各种政策举措抢占发展制高点。一体化快堆核能系统被视为发展先进闭式燃料循环的现实选择,将引领全球新一代先进核能技术发展。

“发展核能‘三步走’战略,要走稳热堆,走实快堆,走好聚变堆。其中,走实快堆是关键一步。”叶国安认为,“为确保我国一体化快堆研发取得成功,需要策划、实施一体化快堆国家科技重大专项,充分依托一体化快堆创新联合体、快堆产业联盟等重要平台,协同发挥国内产学研最优势力量,加速推动科技攻关和技术能力提升,为支撑国家能源安全、构建先进闭式燃料循环体系、抢占核科技战略制高点贡献重要力量。”

## 走好聚变堆:点亮清洁能源之梦

万物生长靠太阳,童谣里唱的“种太阳”,正在全人类的共同努力下一点点变成现实。模拟太阳核聚变而诞生的“人造太阳”,逐渐点亮人类向往的清洁能源之梦。

作为最早参与设计国际热核聚变实验堆计划(ITER)的国家之一,我国工程、科技人员在过去的十多年里已经深入参与到ITER的建设和研究工作,加快我国磁约束核聚变及高新技术产业发展步伐。

“聚变能是无污染、无长寿命放射性核废料,资源无限的理想能源。ITER的目标就是验证托卡马克运行模式,并为将来的热核聚变示范堆和商业堆做好科学和工程技术上的准备。同时,ITER的创新和衍生产品也推动了制造业、医药等领域的发展。”国际热核聚变实验堆(ITER)组织副总干事罗德隆表示。

“人们对受控核聚变充满期待,它将给我们带来能源的未来。未来,我国将继续推动快堆和聚变堆的发展,在核能科技领域实现更大突破。力争在本世纪中叶,让核聚变在我国点亮

第一盏灯。”杜祥琬表示。

下一步,核能“三步走”战略将如何走深走实?对此,中核集团党组书记、董事长余剑锋表示,要大力推动热堆发展,推动“华龙一号”技术优化,推动高温气冷堆商业化推广和多用途应用,推动小堆全球推广;加快推动快堆发展,发展百万千瓦商用快堆,推进一体化快堆研发,力争2035年前实现一体化快堆工程示范,大型后处理厂建成投产,具备商业化应用条件;积极推动聚变研发,打造世界一流的中国聚变平台企业,开展氘氚试验,积极布局聚变未来产业,早日建成聚变先导实验堆和商用示范电站。

“核能‘三步走’战略实施四十多年来,我国始终坚持核能安全、创新发展,核电装机规模世界领先,核能技术迈入世界第一阵营。站在新时代新起点上,要以核能‘三步走’战略推进我国核能事业高质量发展,助力全面建设核工业强国。”中国核学会理事长、党委书记王寿君表示。

## “2024核合之旅——维也纳多边大使中国行”活动举办

为扩大双多边和平利用核技术合作搭建桥梁

本报讯 由国家原子能机构、外交部和中国常驻维也纳代表团共同策划的“2024核合之旅——维也纳多边大使中国行”活动近日举办。

来自阿根廷、南非、加纳、肯尼亚等11个国家的常驻维也纳联合国及其他国际组织代表团大使、使节,应邀到海南、北京等地参访昌江核电基地“玲龙一号”小型模块化堆、中国原子能科学研究院等核科技示范应用和创新研发单位,并在北京参加和平利用核技术合作主题座谈会。

此次活动是中国加入国际原子能机构40周年系列活动之一,为增进各国对我国核能科技与产业发展的了解、扩大双多边和平利用核技术合作搭建桥梁。自加入国际原子能机构以来,中国始终与“全球南方”国家守望相助,坚定维护发展中国家和平利用核能正当权利,共同推动核科学技术更好地惠及各国发展,双多边和平利用核技术合作取得丰硕成果。

活动中,国家原子能机构全面介绍了中国在推进核能可持

续发展、核技术造福社会民生以及同广大发展中国家开展和平利用核技术合作的良好实践和后续行动。

各国大使、使节纷纷表示此次“核合之旅”精彩难忘,中国在和平利用核技术领域取得的成就经验、倡导的合作精神让广大发展中国家受益匪浅,对未来发展充满希望。各国大使、使节还分别介绍了本国在和平利用核技术方面的优先事项和重点需求,并就如何更好地利用核科技应对可持续发展挑战发表观点和意见。

国家原子能机构副主任刘敬表示,为携手应对全球挑战、实现共同繁荣发展,中方愿同“全球南方”国家在国际原子能机构等维也纳多边平台团结协作,促进全球核能普惠包容发展,培育可持续惠民合作项目,培养高水平专业化人才队伍,为发展中国家应对气候变化、粮食安全、卫生健康、环境治理等可持续发展挑战提供更多核科技解决方案。

程小雨

## 督促核电厂营运、参运、参建单位压实核安全责任 华电站加强核电安全质量管理交流

本报讯 为提升华东地区在运、在建核电厂安全质量管理水平,督促核电厂营运单位及各参运、参建单位进一步压实核安全责任,确保运行安全,华东核与辐射安全监督站(以下简称华东监督站)与中国核能电力股份有限公司(以下简称中核核电)近日在北京共同组织开展加强核电安全质量管理交流会议。

中核运行、福清核电、三门核电、漳州能源、中核苏能、中核浙能6家核设施营运单位分别作了提高核电厂运行安全、加强工程建设质量工作汇报,华东监督站作了运行安全和建造质量管控交流,17家与会单位围绕加强核电安全质量管理进行了深入交流研讨。

华东监督站表示,要加快构建严密的核安全责任体系,建立纵向到底、横向衔接的管理体系和质保体系并有效运行,不断完善责任传递机制,保障责任有效落实;坚持系统思维、

底线思维、极限思维,集合行业优势,系统施策、多方协同,推动行业性、领域性技术难点问题有效解决;扎实做好专项行动“后半篇文章”,形成问题清单,妥善整改落实,建立长效机制,将专项行动与日常核安全管理活动有机结合,持续提升行业核安全管理水平;持续深化经验反馈,完善经验反馈机制,打通各环节间壁垒,抓好设计源头改进优化,提高经验反馈成效,切实做好经验反馈集中分析会行动项落实;高度重视环境安全,做好放射性流出物、温排水等管控,严格落实环境影响评价相关要求;审慎稳妥开展集约化改革,充分研判安全风险,做好责任划分和定期评估;夯实核安全科研基础,推进核安全科研攻关,切实保障核安全的能力根基,有力推进科技自立自强。

华东监督站、中核集团科技质量与数字化部和安全环保部、中国核电等单位相关人员参加了本次交流活动。

杨丰兆

## 广东发布核应急物资储备省级地方标准

国内首个,规定了应急物资储备原则、要求等

本报记者郑秀亮广州报道 广东省市场监督管理局日前批准发布10项地方标准,其中,《核应急物资储备标准》正式发布。记者从广东省环境科学学会了解到,该项标准由广东省生态环境厅提出,并组织广东省环境科学学会等单位起草编制,是国内首个核应急物资储备省级地方标准。

这项标准规定了核电厂场外核应急物资储备原则、储备要求、储备管理,以及储备库选址与建设要求,适用于核电厂场外核应急组织(包括省级、地级以上市级)核应急物资储备和管理,为规范和保障广东省核应急物资储备、提高广东省核应急组织成员救援能力提供了重要标准支撑。

广东是核电大省,目前在运机组14台,总装机容量为1614万千瓦;在建机组6台,总装机容量为740万千瓦,在运和在建总装机容量均位居全国

第一。为做好广东省核应急物资储备工作,推进广东省核应急物资管理体系建设,在广东省生态环境厅指导下,广东省环境科学学会联合广东省环境辐射监测与核应急响应技术支持中心等单位开展了《核应急物资储备标准》研究制定工作。

2022年1月21日,广东省市场监督管理局印发《广东省市场监督管理局关于批准下达2021年第二批广东省地方标准制修订计划项目的通知》,正式开展标准研究制定工作。

标准的制定历经一次全省性资料调研,两次省外调研,三次行业内调研和两次全省征求意见,召开编制组研讨会、专家咨询会、专家研讨会和专家审查会等十余次,起草过程严格遵循“科学性、协调性、实用性、普适性”原则,对标准全面性、简便性、可操作性等方面进行了综合考虑,从而保证标准发布实施后能够得到有效应用。



为进一步压实运营单位的核安全主体责任,生态环境部华北核与辐射安全监督站近日赴中核北方核燃料元件有限公司开展现场调研。调研组深入生产一线,实地察看了高温气冷堆、快堆、压水堆等燃料元件生产线安全运行情况。王业沐摄

## 衡水开展首次跨县市区辐射事故应急演练

协同作战反应迅速,检验应急预案有效性

本报记者张铭贤 通讯员杨亚鑫衡水报道 河北省衡水市生态环境局近日召开辐射事故应急演练观摩会议。

本次辐射事故应急演练模拟了侦查、追踪、追回一枚丢失退役V类放射源—铯137的场景。演练中,衡水市生态环境局负责总体指挥协调,深州市、高新区辐射事故应急预案有效性,展示了辐射应急队伍的快速反应及应急处置能力和跨区域指挥协调作战能力。

得到了安全、有效处置。

据了解,此次辐射事故应急演练是衡水市首次跨县市区演练。辐射事故应急演练场景设定贴近实际,各级应急响应迅速,监测巡测得当,取得了预期效果。

演练检验了衡水市、深州市、高新区辐射事故应急预案有效性,展示了辐射应急队伍的快速反应及应急处置能力和跨区域指挥协调作战能力。

下一步,衡水市将以演习为契机,进一步推动核技术利用单位落实主体责任,各级监管部门严格落实监管责任;促进防护制度完善,做到事先预防、防护到位、应急得当;强化制度建设,使用规范化应急程序,筑牢制度屏障,全面完善主体单位、监管部门辐射事故应急预案,确保预案更具有针对性与可操作性。

## 广西辐射站监测能力保持全国前列

通过检验检测机构资质认定项目67项

本报讯 生态环境部辐射环境监测技术中心日前发布信息显示,广西壮族自治区辐射环境监测站(以下简称广西辐射站)通过检验检测机构资质认定项目67项(南宁场所67项,防城港场所31项),在全国省级辐射监测机构中排名第一;59名技术人员持有全国辐射环境监测技术上岗证,持有上岗证项目总数达678项,在全国省级辐射监测机构中排第二,辐射环境监测能力持续提升并保持全国前列。

抓“硬件”建设,基础能力不断提升。加强实验室建设,建成使用南宁综合实验室和防城港前沿站实验室两个实验场所,实验室总面积约8600多平方米。优化配置辐射监测仪器设备,拥有高分辨电感耦合等离子体质谱仪、低本底高纯锗γ谱仪、低本底αβ计数器、液闪谱仪等大型实验室分析设备和应急监测仪器共计600多台(套),保证了辐射环境监测基础能力的有效提升。

抓“软件”建设,监测能力不断提升。2005年,广西辐射站首次通过国家资质认定后,

辐射监测能力不断提升,通过资质认定的项目从最初的15项增加到目前的67项,监测能力涵盖电离辐射、电磁辐射、噪声、水(含大气降水)和废水5个大类,涉及陆地γ辐射、土壤、地表水、地下水、海水、空气、电磁辐射等放射性监测。同时,配备国家核电厂安全及可靠性工程技术研究中心广西辐射环境监测与应急技术研发基地、辐射环境监测及放射化学联合实验室等科研平台。

抓“队伍”建设,人员能力不断提升。广西辐射站始终把队伍建设和能力提升放到最重要的位置,不断壮大监测队伍。持续开展培训、竞赛等活动,锤炼出一支业务精湛的辐射监测队伍。近年来,广西辐射站获得2019年第二届全国生态环境监测专业技术人员比武竞赛比武团体三等奖,荣获广西科技进步三等奖,编制实施一批地方标准,获得发明专利4项、实用新型专利42项,6人获得第二批国家环境

庞海敏