

能源行业观察

核电版

Energy Industry Observation- Nuclear Power



苏州热工研究院有限公司

科技情报研究所

第 22 期

2020-06-15

目录

行业要闻

生态环境部发布《核动力厂核事故环境应急监测技术规范》等两项国家环境保护标准	1
《中国核能发展报告（2020）》发布	1

行业动态

中核

中核四川环保承揽中核建中固体废物处理处置项目	2
------------------------	---

中广核

复工复产 面对疫情中广核与供应商携手破局	3
------------------------	---

国电投

国家核电、上海核工院科技成果“大型先进压水堆核电厂建造安装关键技术及应用”通过鉴定	5
---	---

其他

哈电集团承制的石岛湾核电站除氧器设备分段产成	5
------------------------	---

工程建设

信息汇总 - 工程建设信息更新	6
-----------------	---

铀资源及核燃料

铀产品价格指数	6
---------	---

国产化与科技成果

核电主给水超声波流量计国产化项目研发方案签署完成	7
全球最大“人造太阳”核心安装开启，人类离“造太阳”更进一步	8
国内首台融合后“华龙一号”核电试验泵壳发运	11

业内声音

浮动核电站技术成熟但标准和监管仍欠缺	11
核电领域智能化：未来核电站还需要人类操纵员吗？	12
核能对经济复苏至关重要 “核工业新基建”发展恰逢其时	14

海外核讯

俄罗斯核燃料制造设施开始设备安装	16
------------------	----

美国核学会呼吁美国对核燃料后处理采取监管行动	16
重振美国核工业 特朗普政府将撤销禁止资助海外核能的禁令	17
美国能源部宣布启动先进反应堆示范计划	17
美国能源部修订六氟化铀销售协议，概述处置计划	17
法国政府应就脱碳问题起草核工业国家援助规则	18
南非计划兴建 2500 兆瓦核电站	19
日本福岛一核 2 号机组调查显示核燃料取出无障碍	19
日本原子能机构称新计算系统可大大缩短放射性物质扩散预测时间	20

行业要闻

生态环境部发布《核动力厂核事故环境应急监测技术规范》等两项国家环境保护标准

【生态环境部官网 2020-06-08】近日，为贯彻《中华人民共和国环境保护法》《中华人民共和国放射性污染防治法》《中华人民共和国核安全法》，保护生态环境，保障人体健康，规范核与辐射应急监测工作，生态环境部发布《核动力厂核事故环境应急监测技术规范》《就地高纯锗谱仪测量土壤中 γ 核素技术规范》两项国家环境保护标准的公告。■

《中国核能发展报告（2020）》发布

【界面新闻 2020-06-15】6月16日，中国核能行业协会发布核能发展蓝皮书《中国核能发展报告（2020）》（以下简称“《报告》”）称，截至2019年底，中国运行核电机组达47台，总装机容量48750 MWe，同比增长9.2%，位列全球第三，仅次于美国、法国。

截至2019年底，中国在建核电机组13台，总装机容量13871 MWe，在建机组装机容量继续保持全球第一；在运、在建核电装机量合计约62620 MWe。

2019年，全国核能发电量为3481.3亿 kWh，同比增长18.1%，占各类电源占总发电量的4.88%。

对于未来的核电发展趋势，《报告》认为，核能在中国能源结构中的定位将更加明确，是大规模替代传统化石能源的基荷电源，核电建设节奏有望趋于稳定。

《报告》预计“十四五”及中长期，核电建设有望按照每年6~8台持续稳步推进，2020年底中国核电在运机组达51台，装机量为52000 MWe；在建机组达17台以上，装机达19000 MWe。

到2025年，预计中国核电在运装机达70000 MWe，在建30000 MWe；在运和在建装机合计达100 GWe，较2019年底提高约60%。

预计到2035年，中国核电在运和在建装机合计将达200 GWe。

2019年，中国核准开工包括漳州核电两台机组在内的六台核电机组；海阳核电2号、阳江核电6号、台山核电2号三台机组投入商运；自主三代核电技术“华龙一号”正式进入批量化建设阶段。

《报告》表示，未来核电项目将以“华龙一号”、“国和一号”等自主化三代核电为主，

进行规模化、批量化建设。其中，“华龙一号”示范工程和海外工程有望 2020 年投产运行。

《报告》预计，核能多用途利用示范工程有望陆续启动。海上和动力破冰综合保障船、海上浮动核电站、供热反应堆等预计陆续启动；高温气冷堆、钠冷快堆、小型压水堆等示范工程将相继建成。

《报告》还认为，“十四五”期间，稳步推进中部地区核电发展，推动湖南、湖北、江西等中部省份比较成熟的核电项目建设，是解决中部地区电力需求问题的战略选择。

2019 年中国核电产业链实现均衡发展。国内核电主设备交付 39 台套，一批具有自主知识产权的关键设备成功完成制造和验收。

在核燃料循环产业方面，铀资源勘查全年完成钻探工作量 65 万米，新发现工业铀矿孔 284 个，地浸砂岩铀矿找矿取得重要进展。

此外，新一代铀浓缩专用设备研发稳步推进，自主燃料组件进入产业化应用阶段；乏燃料运输能力建设稳步推进，形成干式和湿式结合的离堆贮存格局，后处理产业能力建设按计划推进等。■

行业动态

中核

中核四川环保承揽中核建中固体废物处理处置项目

【中核集团 2020-06-11】6 月 10 日，中核四川环保公司总会计师代树权带队赴中核建中核燃料元件有限公司开展业务洽谈，商定了双方 2020 年至 2022 年放射性固体废物处理处置项目合作事宜。

期间，双方就中核建中公司积存的放射性固体废物的处理处置技术路线、实施方案等资料进行了充分的交流，对项目报价文件、合同等进行了商务洽谈，确定了三类放射性固体废物整备及处理处置的综合单价、合同总价。本项目是公司对外产业开发项目中规模最大，额度最高的退役治理项目。

会上，中核四川环保公司工程技术中心介绍了企业概况、退役治理能力建设及核环保市场开发合作情况等，针对中核建中退役治理需求，着重介绍了公司相关能力与优势，并回顾了双方以往退役治理项目的完成情况。

中核建中总会计师孙书民对双方以往的合作成效给予了充分肯定，详细介绍了计划开展的核设施退役、放射性废物治理的项目特点，并提出了相关业务需求。

代树权表示，中核四川环保将创新项目管理模式，成立专门对口项目部，建立双向交流

机制，为中核建中提供全方位、全过程、全天候的专业服务。他希望，进一步推进双方在退役治理、金属去污技术、科研等方面的深度合作，为中核建中公司提供从废物产生源头控制、废物一体化管理、全流程治理等方面提供全方位服务与整体解决方案，尽全力配合中核建中公司做好退役治理工作。

中核四川环保公司工程技术中心就中核建中公司关心关注的问题和需求进行深入交流，提出了解决方案和计划，并对中核建中公司积存的放射性固体进行了现场踏勘、废物剂量普查及取样分析，为后续项目实施、确定废物现场整備及处理处置技术路线奠定良好的基础。

中广核

复工复产 | 面对疫情中广核与供应商携手破局

【中国电力新闻网 2020-06-12】6月11日，中国广核集团（以下简称中广核）在北京召开境内新能源业务领域2020年供应商大会。本次大会以“破局求新、笃信伴行、共赢未来”为主题，聚焦新能源行业进入平价竞价时代。会上，中广核有关单位与10家战略合作供应商现场签订了战略合作协议，将在产业链上更大范围、更深层次开展合作，开拓产业新格局。

中国广核新能源控股有限公司总经理、执行董事、党委副书记李亦伦在发言中表示，截至2020年5月底，中广核境内新能源总资产达1947亿元，净资产588亿元，在运装机总容量2054万千瓦。

据了解，2020年中广核的境内新能源业务将有400亿的采购投入，与50多家供应商全面深化合作。

“十四五”中广核境内新能源装机将达4000万千瓦

中国广核新能源控股有限公司党委委员、副总经理章建忠告诉记者，为响应国务院复工复产、确保全年经济社会发展目标号召，中广核的新能源业务有关单位动态研究复工复产政策和时机，积极协调政府单位争取最大资源支持，内部采取了系列有效的推动措施。在确保各在运项目在防疫抗疫期间保障电力供应的同时，聚焦在建项目的开复工，取得了显著成效，并于4月26日实现了当时在建的总计600万千瓦50个工程项目100%复工，比原计划提前了4天。

值得一提的是，自项目复工建设以来，中广核浙江岱山4号234兆瓦海上风电项目已经完成了22台风机的吊装作业，并有52兆瓦容量并网投运，中广核广东阳江南鹏岛400兆瓦

海上风电项目已经完成了 22 台风机的吊装作业。海上风电项目的有序复工，在积极响应了国务院复工复产的号召的同时，切实助力国家“海洋强国”战略实施，为国家经济发展、能源安全保障贡献了力量。

章建忠透露，面临严峻复杂的国际国内疫情防控形势和行业格局转变带来的新挑战，面对千帆竞发、百舸争流的发展格局新变量，中广核的新能源业务有关单位将进一步深化与各供应商的战略合作关系、加强协同，力争实现整个产业链的同频共振、合作共赢，为国家经济社会发展做出积极贡献。

会议表示，“十四五”期间，中广核将抓住历史机遇，实现与各合作单位的共赢发展，按照新增投运容量保持每年 300 万千瓦以上的发展速度，预计到“十四五”末，中广核境内新能源在运装机总容量将突破 4000 万千瓦。

“产业+”扶贫，助力国家决胜脱贫攻坚

李亦伦在采访中指出，2020 年是全面建成小康社会的决战决胜年，作为央企，中广核的新能源业务发展中，一直秉持“真扶贫、扶真贫，真负责、负真责”的扶贫理念，积极承担社会责任，致力于助力国家打赢脱贫攻坚战，在精准扶贫、教育扶贫、产业扶贫方面做出了积极贡献。

李亦伦表示，在产业扶贫方面，中广核将自身优势转化为扶贫工作的助推器，探索中广核的产业扶贫模式。2018 年，中广核与央企扶贫基金合资打造了一个总投资 98.94 亿元、总装机容量 160.83 万千瓦的清洁能源产业扶贫平台，将在全国 12 个国家级贫困县建设 17 个风、光项目。2020 年，中广核将进一步发挥央企扶贫基金的作用，为贫困地区的项目注入更充裕的发展资金，同时在广西、内蒙古等地实施一批重大产业扶贫项目，全方位助力贫困地区长期稳定脱贫。

据悉，中广核在对口扶贫的广西深度贫困县乐业县将规划建设 20 万千瓦扶贫风电项目。项目建成后，将每年为乐业县 63 个贫困村增收集体经济 265 万元。在获取稳定的收入后，投资收益还将用于支持村镇的基础设施建设、公共医疗补贴、环境治理、种养殖产业发展等。

在内蒙古兴安盟革命老区，中广核投资建设兴安盟 300 万千瓦革命老区扶贫风电项目，工程建设及后期生产运营阶段可为兴安盟直接创造就业岗位超 1500 个，20 年全寿命运营期将对当地税收贡献达 52 亿元。同时，中广核以此为抓手整合区域资源，建设风电装备制造产业园，该产业园重点发展主机、叶片、塔架、箱变等风机制造全产业链条，力争用三至五年时间，产业园落地项目总投资达百亿元，产值达到每年 200 亿元，安置就业 5000 余人。

另据了解，中广核将捐资 1 亿元，在兴安盟乌兰浩特市高起点高标准建设兴安盟白鹭学

校，并将引进中广核在广西百色“白鹭班”良好实践经验，着力将其打造成教育扶贫领域的标杆示范项目，整体推进兴安盟地区教育事业的发展。中广核在兴安盟实施的系列项目，将有效激发兴安盟内生动力，取得以重大项目整体带动区域经济、拉动产业、改善民生的良好成效，切实助力革命老区脱贫攻坚。■

国电投

国家核电、上海核工院科技成果“大型先进压水堆核电站建造安装关键技术及应用”通过鉴定

【上海核工院 2020-06-12】 6月4日，由国家核电、上海核工院牵头完成的科技成果“大型先进压水堆核电站建造安装关键技术及应用”在北京顺利通过中国电机学会组织的鉴定。上海核工院总经理王明弹、副总经理陈煜，科研创新部及建造中心相关人员参加本次鉴定会，王明弹代表课题组向鉴定会委员会进行了汇报。

鉴定委员会由来自中国核工业集团有限公司、华北电力大学、生态环境部核与辐射安全中心、清华大学能源与动力工程系、国家电网有限公司、国网能源研究院有限公司、中广核陆丰核电有限公司、中核辽宁核电有限公司、国家电力投资集团有限公司、国核电力规划设计院有限公司、山东核电有限公司的专家组成，叶奇蓁院士、刘吉臻院士分别担任鉴定委员会主任和副主任。鉴定委员会认真听取了研究总结报告，肯定了成果的研究内容，经过质询和讨论，对成果给予了高度评价，一致同意该成果“达到国际领先水平”。

“大型先进压水堆核电站建造安装关键技术及应用”由上海核工院联合中核五公司、中核二二公司和中核二四公司共同完成。本成果总结、提炼了依托项目建造过程中面对先进设计理念带来建造安装技术的新挑战，创新研发多项关键建造安装技术并在依托项目成功应用。

其他

哈电集团承制的石岛湾核电站除氧器设备分段产成

【哈电集团 2020-06-12】 近日，由哈电集团锅炉公司承制的国家重大科技专项示范电站项目石岛湾核电站除氧器设备最后一段产成，标志着哈电集团大型核电除氧器设备设计制造能力迈上了新的台阶，相关技术成果走在了世界前列。

在该项目中，哈电集团锅炉公司承担1台单体式除氧器和8台高压加热器产品的设计制造任务。其中除氧器设备全长50余米，筒体直径4.86米，净重301.8吨，是锅炉公司现阶段

段承制的最大规格除氧器，为便于运输分为三段生产制造。

据了解，作为国家中长期科技规划纲要中 16 个国家科技重大专项之一，CAP1400 大型先进压水堆机型在消化、吸收和全面掌握 AP1000 非能动技术基础上再创新，形成了我国拥有自主知识产权、大功率大型压水堆三代核电机组，是我国三代核电技术自主创新的重要标志。

工程建设

信息汇总 - 工程建设信息更新

项目信息			事件概要	
控股业主	型号	名称	时间	最新进展
中核	M-310 改进	田湾	06-06	<u>6 号机组 - 500 kV 电气倒送电一次成功</u>
	HPR1000	福清	06-10	<u>6 号机组 - 汽轮机 LP2 低压外缸下半吊装就位</u>
国电投	AP1000	海阳	06-07	<u>4 号机组 - 反应堆压力容器水压试验完成</u>

铀资源及核燃料

铀产品价格指数

根据 UxC 公司定期更新的价格指数，2019-2020 年国际铀市场 U_3O_8 （俗称“黄饼”）现货价格指数浮动趋势如下图所示：



国产化与科技成果

核电主给水超声波流量计国产化项目研发方案签署完成

【山东核电有限公司 2020-06-12】6月11日上午，“山东省院士工作站叶奇蓁站”专家会议在山东海阳召开，聚焦三代核电仪控设备国产化工作，期间举行了揭牌仪式，签署了核电主给水超声波流量计国产化项目研发方案。

在以往深入交流的基础上，山东核电与美核电气签署了主给水超声波流量计国产化项目研发方案，携手推进该项目自主研发工作。

叶奇蓁院士在致辞中指出，全面掌握核电核心技术是我国核电发展的重要基础，关键技术、关键设备的自主创新势在必行。

山东财金集团董事孙清华表示，分站的成立对突破技术壁垒有着极大的促进作用，将继续大力支持美核电气和山东核电开展核电自主创新。

此次山东省院士工作站叶奇蓁站海阳核电分站的成立，标志着山东核电科技创新工作再进一步，依托院士工作站高端智力平台，加快推动核电自主创新，为我国核电事业高质量发

展作出贡献。■

全球最大“人造太阳”核心安装开启，人类离“造太阳”更进一步

【中国核电网 2020-06-15】 可控核聚变装置俗称“人造太阳”，是照亮人类未来的终极能源梦想。近日，我国传来好消息：由中核集团牵头的中法联合体为“人造太阳”核心设备安装工作全面开展创造了有利条件——这是中国向核能高端市场迈出的实质性步伐，将为我国深度参与聚变国际合作、自主设计建造未来中国聚变堆奠定坚实基础。

近日，位于法国的世界上最大的核聚变反应堆——国际热核聚变实验堆(ITER)项目迎来了重要里程碑时刻，施工人员开始安装反应堆托卡马克的首个主要部件。此前，由中核集团牵头的中法联合体按期开展了相关安装底座——杜瓦底座的接收及吊装准备工作，为核心设备安装工作全面开展创造了有利条件。这是中国向核能高端市场迈出的实质性步伐，将为我国深度参与聚变国际合作、自主设计建造未来中国聚变堆奠定坚实基础。

从“靠太阳”到“造太阳”

可控核聚变装置俗称“人造太阳”，是全球核聚变人一代代接力奔跑，致力于照亮人类未来的终极能源梦想。伴随全球人口增长与经济发展，能源需求将持续增长。然而，地球化石燃料的储量有限，寻找未来能源成为当务之急。

万物生长靠太阳，无论是传统的化石能源，还是风能、生物能等新型能源，其本质都是太阳能。而太阳的能量，科学家们早已探明究竟：来自其内部的核聚变反应。

那么，我们是否可以模拟太阳产生能量的原理，研发可控核聚变技术，从而制造“太阳”呢？

专家的回答是肯定的：不仅可以，而且是必须。

“可控核聚变是目前人类认识到的，可以最终解决人类社会能源与环境问题、推动人类社会可持续发展的重要途径之一。”中核集团核工业西南物理研究院院长段旭如表示。

从必要性来说，化石能源不可再生且有污染，风能、水能不稳定，核裂变能原料有限、核废料有放射性污染，因此，需要寻找资源丰富、清洁高效的新能源——目前，最有可能担当这一角色的只有可控核聚变能。而且，可控核聚变不排放有害气体，有利于解决当前的环境污染问题。

从可行性来说，核聚变的原料是氢的同位素(氘和氚)，地球上含量极为丰富。“氘在海水中储量极大，1公升海水里提取出的氘，在完全聚变反应后，可释放相当于燃烧300公升

汽油的能量。”段旭如说。

一字之差的困难

从核裂变到核聚变，从不可控到可控——仅一字之差，但技术难度差别太大了。“世界上首颗原子弹爆炸后不到 10 年，核裂变技术就实现了和平利用，建成了核电站。”中核集团核工业西南物理研究院特聘研究员钟武律说，因此，许多人曾乐观地认为，用不了多久就能实现核聚变的和平利用——然而，经过全世界科学家超过半个世纪的努力，至今仍未成功。

钟武律做了一个简单比较。太阳能稳定核聚变，是因其内部不仅有 1500 万摄氏度以上的高温，且约有 3000 亿个大气压的超高气压。而地球上无法达到如此高的气压，只能在高温上下功夫了，需要把温度提高到上亿摄氏度才行。“先不说如何产生这么高的温度，就算产生了，也找不到容器‘盛放’它。”钟武律说，地球上最耐高温的金属钨在 3000 多摄氏度就会熔化。

不过，人类不会被困难吓倒。20 世纪 50 年代开始，科学家们就经历了一系列磁约束技术路线的探索，到上世纪 60 年代，前苏联科学家提出托卡马克方案，效果惊人，备受关注。托卡马克，简单来说是一种利用磁约束来实现受控核聚变的环形容容器。它的中央是一个环形真空，外面围绕着线圈。通电时，其内部会产生巨大螺旋形磁场，将其中的等离子体加热到很高温度，以达到核聚变目的。

“核聚变能是清洁安全的，但仍需科学普及。”段旭如表示，就聚变堆而言，燃烧等离子体被约束在真空室内，且所含聚变堆中的氘氚燃料含量低，不会爆炸，也不会导致泄漏，几乎没有放射性污染。

勇担重任的中国核电人

我国可控聚变研究始自上世纪 50 年代，几乎与国际上聚变研究同步。

1965 年，根据建设需要，我国建立了当时国内最大的聚变研究基地——西南物理研究所，也就是中核集团核工业西南物理研究院的前身。

正是在这里，中国核聚变领域第一座大科学装置——中国环流器一号(HL-1)托卡马克装置于 1984 年建成，成为我国核聚变研究史上的一个重要里程碑。它的成功建造与运行为我国自主设计、建造、运行核聚变实验研究装置积累了丰富经验，培养了我国第一批核聚变工程技术及实验运行人才队伍，为我国发展更高参数的磁约束聚变大科学装置奠定了坚实基础。

从此，中国磁约束聚变一步步从无到有，从小到大。1995 年，中国第一个超导托卡马克装置 HT-7 在合肥建成;2002 年中国建成第一个具有偏滤器位形的托卡马克装置中国环流器二

号 A(HL-2A);2006 年,世界上第一个全超导托卡马克装置东方超环(EAST)首次等离子体放电成功……

预计今年在四川成都投入运行的“中国环流器二号 M”装置,将成为我国规模最大、参数最高的磁约束可控核聚变实验研究装置。它可将我国现有装置的最高等离子体电流从 1 兆安培提高到 3 兆安培,离子温度也将达到 1 亿摄氏度以上。

人类的共同目标

正如太阳造福于整个地球,“人造太阳”的研制,将为人类带来巨大福祉。但其技术挑战大,研发困难重重,因此需集全球之力共同来攻克。

基于此,国际热核聚变实验堆(ITER)计划 2006 年应运而生,由中国、美国、欧盟、俄罗斯、日本、韩国和印度 7 方参与,计划在法国普罗旺斯地区共同建造一个电站规模的聚变反应堆,也即世界上最大的托卡马克装置。ITER 是目前全球规模最大、影响最深远的国际科技合作项目之一,凝聚了国际聚变界多年来的研究成果以及国际聚变界的技术力量。

“该项目也是中国以平等身份参加的最大国际科技合作项目。其中,中国承担了约 9% 的采购包研发任务。”段旭如表示:“签署这个计划,正是希望集中全球科技力量,共同攻克难题。”

“这些年来,我国磁约束聚变研究进展得益于参加 ITER 计划。”段旭如说,利用这一良好国际合作平台,在国家有关部委的大力支持下,我国核聚变研究实现了高质量发展,磁约束核聚变研究从过去的跟跑步入了并跑阶段,部分技术达到了国际领先水平。

中国的积极参与也推动了 ITER 计划的快速发展。钟武律表示,参加 ITER 计划以来,中国积极参与建设,承担着诸多核心部件研发制造(采购包)任务。“目前,中国承担的 ITER 采购包,不管是在研发进度还是在完成质量方面,均处于 7 方的前列,为 ITER 建设贡献了中国力量与智慧。在国际聚变舞台上,中国有了更大的话语权。”

除了承担中方承诺的任务外,中方还积极争取 ITER 其他关键任务。去年 9 月,中核集团牵头拿下了 ITER 迄今金额最大的主机总装 1 号合同。这个工程安装的是 ITER 装置最重要的核心设备,其重要性相当于核电站的反应堆、人体里的心脏。这是有史以来中国企业在欧洲市场中标的最大核能工程项目合同。

“通过国际竞标拿到了 ITER 项目最核心部分的安装工程,证明我们的团队在世界上是领先的。”中核集团董事长余剑锋表示。

“从 ITER 计划的进展以及国际核聚变发展进程看,我们有信心到本世纪中叶实现可控的核聚变发电。”段旭如充满信心。■

国内首台融合后“华龙一号”核电试验泵壳发运

【《潇湘晨报》 2020-06-15】6月14日，由二重装备研制的“华龙一号”RSR750型核主泵全流量试验台泵壳发运，标志着二重装备率先掌握具有世界最高安全标准的第三代核电泵壳内壁堆焊全自动焊接技术，正式进入融合后的“华龙一号”核电泵壳批量化生产时代。

“华龙一号”是我国自主研发的世界第三代核电技术。核电泵壳是核岛中唯一高速旋转设备，对机组的安全运行起着重要作用。二重装备通过对新工艺、新设备、新材料、新产品研发制造，在国内首次实现核电主泵泵壳内壁全位置自动焊接，为实现第三代核电泵壳批量化生产奠定了坚实基础，也为我国融合后的“华龙一号”首堆主泵全流量试验提供了稳定、可靠的技术工艺验证。该泵壳将用于所有RSR750型“华龙一号”泵壳检验，运行寿命达30年。■

业内声音

浮动核电站技术成熟但标准和监管仍欠缺

【《科技日报》 2020-06-09】我国海洋工程装备制造业起步于上世纪七八十年代，浮动平台发展技术和产业已相当成熟，但需要在研究浮动核电领域法规标准以及监管体系的基础上，开展堆船结合方面的研究，进一步推动浮动核电站开发及建设。

在我国核能商业领域，浮动核电站属于核能行业与船舶行业融合的新兴产业，在行业规范、国家监管审批流程、系统融合上有待探索和创新；浮动核电站建筑总体策划、管理、堆船结合等方面具备综合素质人才数量较少，技术及管理经验不足，需要进一步培养和储备相关人才；目前国内没有成熟可用的浮动核电站维保基地，不具备相关能力，有待进一步完善浮动核电产业链；浮动核电站总体投资额相比大型反应堆已有所降低，但核电项目固有的投资高特点仍旧存在，其项目单位造价水平偏高，一定程度上影响了浮动核电项目推广。

专家指出，鉴于浮动核电站特点及其广阔的市场应用前景，应加快浮动核电站示范项目建设，建立健全海上核动力平台的监管体系、标准体系和保障体系，积累海洋核动力平台运行经验，为批量化建设应用奠定基础。■

核电领域智能化：未来核电站还需要人类操纵员吗？

【微信号“中国核工业” 2020-06-09】智能化是当今世界工业的发展趋势，也是我国产业结构优化升级和增强国际竞争力的关键环节。在这样的大背景下，中国核工业各领域正将先进信息技术与自身深化改革结合起来，获取新动能，谋求新发展。

作为核工业重要组成部分的核电领域的智能化有何特点？目前进展如何？未来发展怎样？新冠疫情下，有哪些应对？带着这些问题，本刊采访了中国核能电力股份有限公司副总经理顾健。

实现智能化转型升级的最好时机

“智能化趋势必然会影响核电，推动行业不断向前发展。”谈起核电领域智能化，顾健如是说。

目前，国内核电领域智能化工作正多线开展。中国核电已在多个系统开展核电工业互联网应用研究，同时相关基础平台和数据资源应用研究也都在进行中。

中国核电对在运机组主要系统和关键设备进行了实时状态监测，并利用深度学习方法建立了设备故障数据模型，从而对设备可能出现的缺陷提前预警，并已取得一定成效。此外，部分核电机组还试点开展了设备健康管理领域研究，包括利用无线网络对关键设备开展视频监控，对部分设备利用远程巡检代替现场巡检等。

在核电站控制系统方面，“新的三代核电都全面应用了数字化控制系统，实现了系统工艺控制自动化。一些老的核电站也在进行部分改造。”顾健介绍道。随着工艺系统数字化建模和智能化应用进一步成熟，核电站工艺系统与设备控制将从自动化全面迈进智能化控制。

新冠疫情下，包括核电在内的各个行业都在一定程度上受到影响。采访中，顾健表示，核电因存在核安全等方面的特殊要求，运行生产工作中早已建立全面有效的防护体系，在疫情期间也发挥了重要作用。目前防疫隔离和复工复产并行阶段，恰恰是利用信息技术、网络技术、数字技术并最终实现智能化转型升级的最好时机。疫情为智慧核电提供了一个真实应用场景，倒逼核电智能化建设深入推进。

“与国际同行相比，我们在诸多领域领先，且处于持续发展前进中。”顾健总结道，“当前这些智能化应用主要发生在局部，应用深度和结果准确度方面还存在进步空间，需要结合核电站实际特点进一步深入研究，以提升应用成效并进行应用推广。”

当前，中国核电正根据“需求牵引、信息搭桥、总体规划、分步实施、先试点后应用”原则，以满足核电厂生产实际需求、提高工作效率、提升电厂安全性和经济性为目标，分阶

段开展智能化应用研究及智慧电厂建设。中国核电将通过建立核电智能建设规划，对在运行电厂开展智能化应用研究，并将其全面反馈到新电厂设计上，逐步建立起智慧电厂。

正视核电的特殊性

安全是各行业发展首要前提，涉核领域尤其如此。中核集团企业文化中明确提出“安全是核工业的生命线”安全理念，同时也将“安全”作为企业核心价值观重要组成部分。顾健说：“核电领域向前走出的每一步，都必须慎之又慎。”

据了解，核电智能化转型升级不仅区别于其他非涉核行业，同业内其他板块相比，也有所不同。在核电智能化应用研究中，可以总结出“三多三少”特点。“三多”是指核电站系统与设备数量特别多；定制的非标准设备多；安全规范要求多。“三少”则是核电站工艺数据采集点少；同种设备同样工况运行设备数量少；关键设备可靠性高、缺陷数量少。这些特点在一定程度上影响核电智能化发展。

此外，当前国内核电机组数量与火电相比，还是要少很多，单个电厂智能化研发分摊成本就比较高。智能化改造要在电厂增加系统与设备，除增加成本外，配套增加的还有这些系统与设备的运维工作量，这一点同样值得考量。

关于未来核电智能化发展趋势，顾健分析将在提高安全性方面有所作为。一方面伴随大数据和智能化技术的应用，电站定期试验与维修工作正逐步优化，设备可靠性会得到提升。另一方面，通过开发新技术，可以定位人员，并对现场工作人员行为进行实时分析。相信通过各类智能化技术的有效应用，“在线监控、远程诊断”“无人监控、少人值守”等目标会在未来逐步得以实现。

那么，未来智能化核电可以脱离人类自动完成核电站生产运行吗？顾健认为，机器可以在辅助决策方面提供一些帮助，但涉及核安全的操作，仍然需要人来最终判断。

以航空业为例，当下民航的智能化相对而言走在前列，数字飞行控制系统可以完成整个飞行过程的自动驾驶。尽管如此，紧盯屏幕的两名驾驶员仍然是安全飞行的重要保障，以处理极端情况下的事件。在核电领域，与飞机驾驶员角色类似的是核电站操纵员，操纵员需要拥有将处于各种状态下的机组控制在安全状态的能力。这种能力一方面靠长期培训与经验累积，另一方面依赖过硬的心理素质和严密谨慎的思维。当然，作为人类，操纵员也存在自身的局限，智能化系统可以最大程度将核电站内各项信息参数提供给操纵员，为其决策多加一道保险。

顾健表示，时代大潮中，智能化是产业升级必由之路，核电不会例外。但由于行业的特殊性，遵守国家相关法规要求、确保核安全是核电站首要任务，也是开展智能化工作必须遵

守的首要原则。“对于智能化相关各项新技术，我们始终更侧重于从安全角度去思考。”他强调说。■

核能对经济复苏至关重要 “核工业新基建”发展恰逢其时

【微信号“中国核工业” 2020-06-09】伴随着疫情防控常态化和经济发展势头持续向好，5月的中国看到了新的希望、认准了目标方向。因疫情而姗姗来迟的全国两会终于顺利召开，解决了上半年最大的一个悬念。两会确立的大政方针，犹如攻坚道路上的定盘星、辽远航程中的指南针，将指引中国巨轮穿越惊涛骇浪，冲破艰难险阻，驶向光明彼岸。

经济复苏的迹象愈益明显，稳健增长的趋势清晰可辨。两会前公布的各项经济数据，进一步提振着国人的信心。5月15日，国家统计局发布2020年4月份能源生产情况，显示电力生产已经由降转增，发电量同比增长0.3%，相较上个月的下降4.6%有了显著改善，意味着全社会的需求正在积极恢复，其中核电发电量同比增长10.7%、加快3.8个百分点，增速在各个电力品种中名列前茅；进入5月份后，全国发电量以更快的增速回归，前15天同比已经增长5.6%，是今年以来同比增长最快时期。而截至5月18日，全国规模以上工业企业平均开工率和职工复岗率已经分别达到99.1%和95.4%，基本恢复正常水平，显示了疫情下中国经济强大的韧性。

特殊时期召开的特殊两会释放出特殊信号，在统筹推进疫情防控和经济社会发展的关键时刻愈显其特殊意义。全国政协十三届三次会议、十三届全国人大三次会议相继于5月21日、22日召开，向全国乃至世界发出了取得抗“疫”阶段性胜利、继续推动改革开放创新、持续推进高质量发展、谋划长远擘画未来的最强音。今年是决战决胜脱贫攻坚、全面建成小康社会之年，也是“十三五”收官之年。本年度两会的召开，恰值多个历史节点的交汇，又面临在疫情尚未完全消除之时稳定大局、持续推进的大考，备受关注，影响深远。

精简、务实、高效，特殊的两会呈现特殊的面貌。从改革开放以来篇幅最短的政府工作报告，到报告中罕见地未提GDP增长目标，从强调“六稳”“六保”到提出“新机”“新局”，从彰显问题导向和底线思维到释放政策红利，中国展示着作为世界上率先走出疫情阴霾、率先着手恢复经济的国家所蕴育的定力和智慧，昭示着实现“两个一百年”奋斗目标的信心和决心。群贤毕至，“核”声响亮。两会期间，核工业界的代表委员围绕从铀资源保障、重大项目建设到后处理等全产业链各个环节，结合新基建、新动能、自主创新、拉动内需、“走出去”等应对疫情以及着眼后疫情时代重点发展的热点话题和领域积极建言献策。

全国政协常委，中国核学会理事长王寿君认为，以数字化转型为主要特征的高质量创新

发展已经是我国核工业走向世界一流的必由之路。“核工业新基建”发展恰逢其时，更需要快马加鞭。

全国人大代表，中核集团总经理、党组书记顾军表示，通过几十年积累，中国从核电的研发设计到工程建设、投产运行已经走在了全球第一方阵，今年年底将是中国三代核电华龙一号首台机组正式向全球宣布投产运行的重要时刻。此次疫情中对防疫物资的辐照灭菌，使社会公众进一步认识了核技术应用这一服务社会的重要领域，该领域也是走向全球、参与全球市场竞争的重要领域。我们的目标是到本世纪中叶，中国核工业要在全球核能领域处于引领位置。

全国人大代表，中核集团战略与管理咨询委员会委员刘巍指出，核电装备制造业是典型的技术密集型和资金密集型行业，依托核电项目，大力发展核电装备制造业，实现技术和装备国产化、自主化，对于推动产业结构升级、增加就业、保障民生、推动国内高端装备制造产能释放、拉动经济具有重大意义。

立足当下，着眼未来。本次两会期间，“十三五”时期几乎不提及的“内陆核电”话题再次浮出水面，引起业内外瞩目。全国政协委员，湖北能源集团股份有限公司党委副书记、总经理文振富提出：“考虑到当前有效投资拉动的需要，建议尽快启动内陆核电建设，并考虑将在各方面条件比较好的地区的核电项目，纳入国家‘十四五’能源电力规划，启动建设。”据了解，目前内陆已经开展核电站前期工作的场址包括湖南桃花江、湖北咸宁、江西彭泽等。由于2011年日本福岛核事故的影响，原本已经开展前期准备工作的几大项目被中途叫停，内陆核电从此进入蛰伏期，如今能否乘着新一轮拉动项目建设的东风获得再生机会值得关注。

核能作为安全、清洁、高效的能源，已成为全球携手推进低碳可持续发展的重要能源。尤其是在疫情影响全球经济总体低迷的情况下，作为传统核大国的法国也把目光瞄准了这一领域。5月份，法国核学会(SFEN)发表意见书称，未来数年法国将致力于摆脱新冠肺炎疫情冲击，以实现经济复苏，而在国内新建6台EPR机组将可为该国经济提供有效刺激。核能对经济复苏至关重要。在法国有关经济复苏的辩论中，投资核能被认为符合发展低碳、弹性能源和保障主权产业的要求。SFEN指出，法国目前拥有57台核电机组，为全国3/4以上人口和工业能源用户供应24小时低碳电力。核电可提供价格适中的稳定电力，有助于提高法国工业的竞争力。有行业分析人士谈道：“启动建设新核反应堆的计划，将是2021年经济和社会复苏的有效工具。”作为这一努力的一部分，核工业“准备动员起来”。另一个传统核大国同样表现出以核能强化发展战略的意图。5月14日，美国能源部启动“先进反应堆示范计划”，将提供1.6亿美元初始资金，与行业共同分摊成本，用于建设两个先进示范反应堆，这些反应堆可在未来5~7年内投入使用。此前，美国国会在2020年预算中拨款2.3亿美元启动一

项新的先进反应堆示范项目。据报道，美国能源部正在将“先进反应堆示范计划”与最近的“恢复美国核能领导地位的战略”联系起来，该战略的建议包括支持美国核能行业出口民用核技术。

5月初，国内一位知名媒体人士的一条涉核微博如同一石激起千层浪，一度引发了国内外关于中国核力量的热议，而中国外交部发言人的回应也同样耐人寻味。无论如何，在国际形势日趋复杂的今天，核力量在国家战略中的地位无可替代。■

海外核讯

俄罗斯核燃料制造设施开始设备安装

【WNA 2020-06-15】 近日，位于俄罗斯托木斯克州谢韦尔斯克市（Seversk）的示范能源综合体（ODEK）核燃料制造设施（FRU）已启动主设备安装工作。ODEK 在建于西伯利亚化学联合体（SCC），是俄罗斯旨在实现核燃料闭式循环的“突破”（Proryv）项目的一部分。该项目最终目标是消除核能发电所产生的放射性废物。项目包括：一个燃料生产/再制造模块，以生产快堆用高密度铀-钚（氮化）燃料、一座 BREST 反应堆核电厂，以及一个乏燃料后处理模块。

最先启动设备安装的是燃料棒生产线去污段。目前，FRU 现场有超过 40 种设备，总重约 110 吨。

FRU 所有设备安装工作将耗时约 18 个月。目前，厂址 BREST-OD-300 反应堆建设工作正在筹备之中。■

美国核学会呼吁美国对核燃料后处理采取监管行动

【中国核电网 2020-06-08】 近日，美国核学会呼吁美国核管理委员会对废旧核燃料的后处理和再循环采取监管行动。

美国核学会执行董事兼首席执行官 Craig Piercy 敦促监管机构恢复拟议的规则制定程序。Piercy 表示：完成后处理规则的制定将支持未来的选择，使用过的燃料管理以及使用先进反应堆产生清洁能源的潜在创新。尽管目前美国没有计划新的后处理设施，但这本身不应该成为暂停制定规则的理由。”

Piercy 表示从长远来看，核能发电在美国发电量中所占比重很大，因此有可能需要通过

回收来最大限度地减少废物。而且，目前正在开发的许多先进反应堆系统都是经过专门设计的，可以利用现有的能源价值在我们现有的核废料储备中。

自 1977 年以来，美国一直禁止从商业反应堆中回收用过的燃料，所有用过的燃料均被视为具有高放射性的废料。1982 年的《核废料政策法案》确立了对所有民用燃料的联邦责任，但是尽管该法案在 1987 年进行了修订，以指定在内华达州尤卡山的一个地点作为最终处置库，但仍未提供这种设施。■

重振美国核工业 特朗普政府将撤销禁止资助海外核能的禁令

【中国核电网 2020-06-11】 据《华盛顿观察家报》独家获得的美国国际开发金融公司 (DFC) 在 6 月 9 日发送给利益相关者的一封邮件显示，该公司提议撤销一项奥巴马时代的禁止联邦政府为海外民用核能项目提供资金的禁令。此举满足了参议院能源委员会 (Senate Energy Committee) 长期以来的要求，他们认为这项禁令“发出了一个有害的信号，表明美国在民用核能领域的主导地位正在减弱”，取消这一禁令可增强美国经济同时促进国际关系。

今年 4 月，特朗普政府的发布了一项重振美国核工业的战略，其中一项建议包括，要求 DFC “修正不支持核能项目的传统政策”，来与中国和俄罗斯的核能竞争。■

美国能源部宣布启动先进反应堆示范计划

【中国核能行业协会 2020-06-11】 美国能源部 (DOE) 日前宣布启动“先进反应堆示范计划 (ARDP)”并在 2020 财年资助 2.3 亿美元，旨在依托“国家反应堆创新中心”促进美国核能企业的下一代先进核反应堆技术研发和示范工作，加速下一代先进反应堆技术的商业应用进程，维持和强化美国在该领域的全球领先地位，为美国提供可靠清洁能源和创造经济增长动力。■

美国能源部修订六氟化铀销售协议，概述处置计划

【中国核科技信息与经济研究院 2020-06-11】 近日，通用-日立全球激光浓缩公司和美国能源部签署了一份关于出售贫化六氟化铀库存的修订协议，该协议为肯塔基州帕杜卡商业激光浓缩设施提供支持。另外，美国能源部已正式宣布了以前的气体扩散浓缩厂贫化铀氧化物废物的处置计划。

对 2016 年销售协议的修订使其与当前的市场状况保持一致，也是澳大利亚 Silex 系统公

司、加拿大矿产能源公司和通用-日立核能公司就通用-日立全球激光浓缩公司重组达成协议的重要条件。预计在 2020 年底前美国政府完成对重组的最终批准，这将使 Silex 系统公司收购通用-日立全球激光浓缩公司 51% 的股份，加拿大矿产能源公司持有的份额将从 24% 增加到 49%。

通用-日立全球激光浓缩公司独家获得激光激发分离同位素铀浓缩工艺的授权许可，目前正在通过一个项目将其商业化，该项目涉及建造帕杜卡激光浓缩设施，以重新浓缩贫化六氟化铀。■

法国政府应就脱碳问题起草核工业国家援助规则

【《核子周刊》 2020-06-11】 6月9日，法国菲达尔律师事务所（Fidal）高级顾问、法国亚眠大学（University of Amiens）法学教授 Guillaume Dezobry 在佛罗伦萨监管学院和欧盟组织的一次网络研讨会上表示，法国政府应关注脱碳问题以及核电在其中所发挥的作用，以确保未来政府对核工业的财政援助具有合法性。

Dezobry 指出，鉴于在未来 20 年或 30 年内，核电将作为并可能成为欧洲脱碳电力的主要来源，因此应当专门针对此问题起草二级立法或国家援助规则。

国家援助规则是一系列适用于欧盟所有 27 个成员国的法规，旨在防止欧洲政府向特定行业提供财政援助，进而防止扭曲市场竞争。国家援助规则也存在一系列豁免情况，例如欧洲政府可能为正常市场竞争无法运作的领域提供财政援助。此类豁免及其有效性由欧洲委员会决定，随后由欧洲法院逐案裁决上诉。

Dezobry 呼吁明确有关核电的国家援助规则并表示，欧洲核工业国家援助规则应至少通过欧洲层面的共同制度，而不是一系列单独适用的案例来进行管理。

他表示，欧盟电力系统脱碳化目标可以作为国家援助规则的一项共同利益豁免，特别是在法国，以及为该国正在进行的“Grand Carenage”机组升级项目提供资金的背景下。

Dezobry 指出，法国核工业资产大致分为 4 类，即永久关闭机组、在运机组、在建的弗拉芒维尔（Flamanville）核电厂 3 号机组以及新机组。

他表示，就国家援助而言，弗拉芒维尔核电厂 3 号机组和 EDF Energy 在“Grand Carenage”计划框架下对法国在运核电机组实施升级项目在本质上是一回事。“Grand Carenage”计划旨在对法国在运机组进行延寿。

Dezobry 指出，目前法国政府正对几个月前启动的针对核工业的国家援助进行审查。

他建议，虽然法国政府正考虑以某种形式的差价合约（CfD）融资机制为“Grand Carenage”

项目提供资助，但该 CfD 是否会构成符合欧盟规则的国家法律援助，仍是一个问题。

Dezobry 指出，CfD 将生产者与市场相隔离，这有可能使这一概念与欧洲国家援助规则相冲突。CfD 是双方之间的一项合同，规定一方在一定时间内支付资产当前价值与未来价值之间的差额。而如果差额为负，则资产持有人应向融资方付款。

此类合同与电价挂钩，EDF Energy 旗下欣克利角 C（Hinkley Point C）核电项目即采用该融资模式。

南非计划兴建 2500 兆瓦核电站

【央视新闻客户端 2020-06-14】 当地时间 6 月 14 日南非矿产资源部发布开始进行建造 2500 兆瓦核核电站计划准备工作的信息通报。

南非矿产资源部表示鉴于兴建核电站从前期准备到最后兴建时间很长，本着确保未来向社会提供安全能源，必须进行前期计划。兴建新的核电站和南非《2019 年综合资源计划》第 8 号决议一致，是南非未来长远发展的必然选择。■

日本福岛一核 2 号机组调查显示核燃料取出无障碍

【日本共同社 2020-06-12】 为了从东日本大地震中发生严重事故的福岛第一核电站 2 号机组乏燃料池中取出核燃料，东京电力公司 6 月 10 日进行了事故后首次内部调查。使用远程操作的水下机器人用相机在池中拍摄。确认燃料本身和燃料收纳架没有损伤，目前不存在妨碍燃料取出的障碍。调查计划持续至 6 月 12 日。

在铝合金制的架子上发现了白色堆积物，但据分析是事故发生时为了冷却燃料注入的海水成分与铝发生反应附着而成。据称实际取出燃料的 3 号和 4 号机组也发现了同样的堆积物，没有影响。

2 号机组与 1 号和 3 号机组一样发生了核燃料熔落的堆芯熔化，但反应堆厂房没有发生氢气爆炸。因此水池中没有瓦砾，可能保持着比较完整的状态。

包括未使用的燃料在内，有着总计 615 根燃料棒的乏燃料池厂房顶层的辐射量很高，但随着去污的推进已具备通过远程操作进行调查的环境。

关于 2 号机组，计划今后在反应堆厂房南侧新设用于运出燃料的机器和带起重机的设备，大致在 2024 至 2026 年度开始取出燃料。■

日本原子能机构称新计算系统可大大缩短放射性物质扩散预测时间

【日本共同社 2020-06-11】日本原子能研究开发机构 6 月 10 日宣布，开发的新计算系统可用以往约百分之十的时间预测核电站事故时放射性物质在大气中扩散的情况。据称此前预测到事故发生后 1 天为止的扩散情况需要约 7 分钟，而新系统能缩短至 3、4 秒。

新系统是把大量扩散计算数据库化的“WSPEEDI—DB”。系统自动读取气象厅每天更新的预报，根据泄漏放射性物质的种类和剂量等各种条件进行解析。

机构负责人表示，“希望能对地方政府等的监测计划和防灾训练有所帮助”。

福岛核事故时，使用了紧急时辐射影响迅速预测网络系统“SPEEDI”，但运用上留下了课题。政府的相关府省会议 2017 年提出了注意事项，认为地方政府为疏散居民而自行利用 SPEEDI 时，必须以预测结果有可能不准确为前提。■

《能源行业观察——核电版》简介及申明

《能源行业观察——核电版》（即原《核电信息周刊》）立足于国内核电发展，促进核电信息交流，为读者提供我国核电监管机构、国内外核电发展环境、主要核电企业、在建项目以及设备制造和国产化方面的最新动态，以供参考。

《能源行业观察——核电版》刊载的所有信息均来自于公开渠道，作为忠实原文和尊重作者的考虑，《能源行业观察——核电版》都给出相应信息来源，不对信息进行任何解读和评判。

《能源行业观察——核电版》版权归苏州热工研究院有限公司科技情报研究所所有，本刊仅供订户及其所在单位内部传阅使用，未经本刊同意，任何单位和个人不得以任何形式和目的进行转载、转发，本刊对任何单位和个人引用本刊上的内容所造成的任何后果不承担责任。

热忱欢迎您订阅《能源行业观察——核电版》和垂询。

联系方式：电话：0512-8355 2697/2698 刘姝君/刘奇

电子邮件：Nuclearpower_SNPI@vip.126.com

编辑	刘奇 刘姝君 王瑞芝 张凯 舒悦 王晓晖
责任编辑	刘奇
校对	张华
审核	林贤军
出品	苏州热工研究院有限公司科技情报研究所
地址	江苏省苏州市西环路1788号