



海阳核电站。



高温气冷堆全貌。

蹄疾步稳 创新跨越 高效利用

# 山东能源绿色转型的“核能锁钥”

□ 本报通讯员 许红波 池毓凯 车路 张建佩 本报记者 张思凯 左丰岐 陈巨慧

核能作为清洁低碳高效能源，可有效替代煤炭消费，是我省加快实现“碳达峰、碳中和”战略目标的必由之路。近年来，我省坚持把发展核能作为实现“三个三分之一”能源结构调整目标、助力新旧动能转换的重要抓手，统筹推进核电项目建设和核能综合利用。2018年10月，三代核电依托项目海阳核电一期首台机组建成投运，我省在运核电实现“零突破”；2019年11月，全国首个“国家能源核能供热商用示范工程”一期项目建成投运；2020年7月，我国拥有自主知识产权的四代核电荣成高温气冷堆示范工程全面进入调试阶段……一系列成绩的取得，标志着我省正在奋力抢占三代及以上核电技术高地，核能发展实现弯道超车、跨越进阶，成为能源绿色低碳转型的重要支撑。

## 核能发电安全高效

山东是能源生产和消费大省。长期以来，受能源资源禀赋和偏重产业结构影响，能源领域煤炭消费占比高、煤电装机占比高的“两高”问题突出。近年来，我省大力实施“四增两减一提升”工程，聚焦可再生能源、核电、外电入鲁、天然气“四大板块”做加法，不断为能源结构“降压减负”。其中，核电作为清洁低碳高效的基荷电源，能够有效替代煤炭消费，是能源绿色转型的有效途径。

“十三五”以来，我省安全高效推进全球首批三代核电依托项目——海阳核电一期工程建设。1、2号机组分别于2018年10月、2019年1月投入商业运行，在运核电进入“双核时代”。据了解，海阳核电作为全省首个开工并建成投运的核电项目，是山东单体投资最大清洁能源项目，建设选址位于区域用电负荷的中间地带，具有显著中心区位优势。

“该项目采用先进三代非能动压水堆核电技术，具有更高安全性和更灵活的负荷跟踪等技术优势。”山东核电公司负责人介绍，“非能动安全系统”指利用自然界物质固有规律，仅依靠重力、流体的自然对流、蒸发、冷凝等自然手段导出堆芯余热和安全壳的热量，不需要任何外部能源。这种设计思路，最大程度消除了安全系统对电源和能动部件的依赖性，大大提高了核电机组的安全性和可靠性。

项目投运两年来，累计发电超过450亿千瓦时，有效替代标煤约1350万吨；1号机组2019年获得世界核电WANO综合指数评分满分100分，排名世界第一；2号机组2020年刷新国内外百万千瓦级核电机组首次换料大修最短工期纪录，创新成果近70项，实施技术优化改造200余次，开发专用工具、工艺45项……一系列成果取得，标志着山东在运核电实现从无到有、从有到优的跨越。

“在高效利用核电的同时，我省把核安全作为核电发展的生命线，认真贯彻‘理性、协调、并进’核安全观，突出‘严谨细致’核安全理念，坚持发展与安全并重，加强核规划、选址、设计、建造、运行和退役等全生命周期管理和监督，坚持采用最先进的技术、最严格标准发展核电。”据省能源局相关负责人介绍，随着山东核电公司上榜中国安全生产协会“2020年全国安全文化建设示范企业”名单，核安全理念也越来越得到社会和公众认可。

## 核能供热全国首创

2021年1月上旬，寒潮来袭，我国中东部地区进入“速冻”模式，北方地区能源供应和居民取暖保障面临严峻考验。作为国内首个核能商用供热项目，海阳核能供热商用示范工程一期项目通过内部挖潜，大幅提升核电机组对外供热能力，供应热量同比增加33%，核能供热新增3个小区，“核级温暖”充分彰显，供热效果持续向好。海阳核能供热商用示范工程一期项目是



“智慧工地”监管中心。

我省推进北方地区冬季清洁取暖的积极探索和生动实践。该项目利用核能供热安全稳定清洁可靠特性，实现各类污染物、二氧化碳等零排放，对于有效防治大气污染、减少环保投资、缓解燃煤运输压力，保障北方地区冬季清洁供热，改善区域生态环境具有重要意义。该项目依托海阳核电一期工程建设，2019年初开工，2019年11月供暖季正式建成投运，率先在全国范围内实现核能商用供热，满足73个小区4300多户居民冬季清洁取暖需求。2019—2020供暖季，海阳核能供热商用示范工程一期项目持续安全稳定运行136天，圆满完成首个年度供热任务，供暖季总供热量约28.7万吉焦，有效替代标煤1.1万吨，减排二氧化碳2.7万吨，生态环保效益显著。实现居民采暖费用不增加，政府财政负担不增长、热力公司收益有增长、核电运行效率有提升等多赢效果，展现良好示范效应。国家能源局授予该项目“国家能源核能供热商用示范工程”称号，在海阳召开全国现场观摩会大力推广，为全国核能供热提供“山东经验”、贡献“山东智慧”。

2020年11月，我省全面启动示范工程二期建设，项目建成后可满足海阳城区450万平方米居民取暖，实现核能供热“全覆盖”，打造全国首个“零碳”核能供热示范城市。未来，我省将依托核电项目建设，进一步扩大核能供热范围，为我省乃至全国推广清洁取暖、压减煤炭消费、实现“碳达峰”“碳中和”战略目标贡献“核能力量”。

## 示范工程国际领先

近日，落户山东的国家科技重大专项——荣成石岛湾高温气冷堆示范工程，顺利完成两台反应堆加热除盐，反应堆回路温度均稳定在250摄氏度，压力均稳定在7兆帕，达到机组正常运行状态参数指标。这标志着高温气冷堆示范工程通过冷试考核之后，具备全面开展双堆热态功能试验（以下简称“热试”）条件，工程进展取得重大突破。

荣成石岛湾高温气冷堆示范工程，采用我国自主知识产权的第四代先进核电技术，是全球首台模块化、球床式高温气冷堆核电机组，承担着安全性更好、用途更广、发电效率更高的新一代核电技术研究和工程实践的重任，对我省乃至全国掌握第四代先进核电技术，实现核电设计、建造等技术水平从“跟跑”“并跑”到“领跑”全球，具有划

时代意义。该示范工程2012年开工建设，全力攻克了前期研发与试验验证难度大、技术设计未固化、新技术新材料新工艺新设备大量应用、设备制造复杂等系列难题。2015年，完成核岛、常规岛主体结构施工；2016年，完成世界上尺寸最大、重量最重的反应堆压力容器吊装；2019年，完成首台蒸汽发生器吊装；2020年7月，具备进入全面调试阶段条件；2020年11月，顺利完成双堆冷试；2020年12月，具备全面开展热试条件。据介绍，热试是核电工程建设中承上启下的重大节点，目的是模拟核电机组正常运行工况条件下，验证机组系统、设备的功能和性能指标是否满足设计规定，被称为反应堆装料前的“模拟考”“总彩排”。按照设计要求，热试分为抽真空除湿、加热除湿、功能试验三个阶段，工期约2个月，主要包括主氦风机热态性能试验、燃料装卸系统热态性能试验、控制棒及其驱动机构热态性能试验、氨净化系统热态性能试验、吸收球系统热态性能试验等。

高温气冷堆各项调试顺利推进的同时，2021年1月16日，首批7.8万余个球形核燃料元件，顺利运抵我省荣成高温气冷堆示范工程现场，经过安全有序起吊、检测后全部接收收入库。作为示范工程反应堆的“能量源泉”，将为后续并网发电提供燃料动力。

球形核燃料元件是高温气冷堆固有安全性的最重要基础，是“买不来、要不来、讨不来”的关键核心技术。高质量球形核燃料元件实现量产，在世界范围内属于首次，是国家科技重大专项最为重要的创新成果之一，标志着我国已具备持续向高温气冷堆电站供应核燃料元件的能力，意味着我国先进核燃料元件研制技术走在世界前列，为我国从“核大国”迈向“核强国”提供强力支撑。

我省将继续汇聚各方力量，遵循“严谨细致”核安全理念，按照“安全第一、质量第一”原则，安全有序开展热试相关工作，为下一阶段反应堆装料、机组带“核”调试及运行奠定坚实基础，为世界首座球床模块式高温气冷堆从设计到工程实践积累宝贵经验。

## 智慧核能引领未来

作为国家创新驱动发展战略的重要组成部分，核能科技创新是构建安全高效、清洁低碳现代能源体系的重要引擎。我省高度重视科技创新在核电领域引领作用，积极推进核电企业推广应用云平台、大数据等新技术，全力打造具有山东特色的核能“智慧工

地”，探索“核能综合利用+智慧能源”跨界融合。

为深入研究推广信息化、智能化、大数据、区块链等新技术在核电工程建设管理中的应用，我省积极推进国核示范电站率先启动“智慧工地”监管中心探索和建设。2021年1月，“智慧工地”监管中心投用仪式，以视频形式在北京、上海、荣成三地同步举行，这一国家科技重大专项初步实现“智慧工地”数据可视化，向智慧核电建设迈出坚实一步。

据“智慧工地”监管中心有关负责同志介绍，该中心利用大数据技术，将人员管理、施工监控、吊钩可视化、塔吊防撞、AI图像识别、VR安全教育、质量防造假记录、环境监测、车辆测速、安全预警、全厂广播、地理信息等系统进行集中展示和分析，实现当前阶段工作视频监控全覆盖、人员定位全覆盖、特种设备管理全覆盖，构建起安全质量全覆盖防护网，打造示范项目智慧名片，为创建示范标杆工程装上智能化引擎。

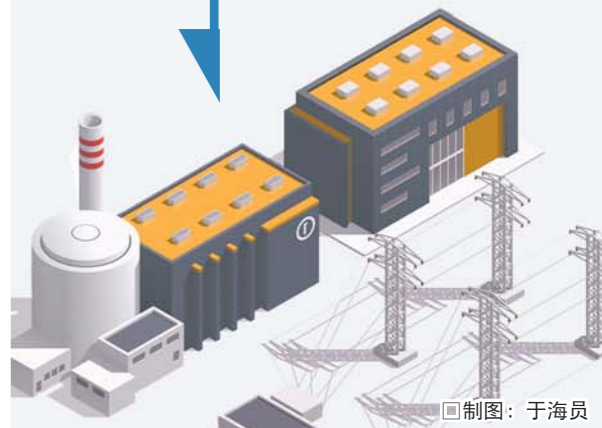
为顺应能源结构和用能方式变革，山东核电公司在全国率先启动首个“核能综合利用+智慧能源”样板工程筹备和建设。该工程主要为海阳核电专家村服务，实现公司员工宿舍区电、热、冷、水等多能互补和综合管控，确保能源利用安全性、环保性和经济性等效益最大化，提升用户体验感和舒适度。工程方案主要包括三个方面：一是利用已有海水淡化以及核能供热设施，通过“水热同传”技术，同步输送淡化和热能，在宿舍区内实现水热分离和消纳。二是将核能供热与储热、储冷技术相结合，提高环保效益、降低用能成本，为胶东半岛大规模核能供热+清洁能源存储探索新模式、新思路。三是新增光伏、储能、智慧路灯等设备和系统，通过“综合智慧能源诊断&规划设计平台”和“综合智慧能源管控一体化平台”，实现水热同传、储能、光伏互补一体化管控、智能调度。

目前，“水热同传”创新示范项目已于2020年11月投运，在实现供暖面积1万平方米的同时，每日可提供饮用水180吨，比传统分传技术节省投资约50%，实现供水、供热跨界整合，提升能源效率，为同步缓解城市清洁取暖和水资源制约发展问题提供新借鉴。

“十四五”期间，我省将依托优良的厂址资源和良好的工业基础，持续深化与核电央企的战略合作，充分发挥央企的资金、技术、人才等资源优势，推动核能项目建设和核能综合利用，抢占先进核电技术高地，提升高端装备制造能力，推动核能高质量发展。

## “十三五”以来山东核能发展成就

- 2016年**
  - 7月 海阳核电1号机组完成冷态功能试验。
- 2017年**
  - 6月 荣成高温气冷堆示范工程220kV倒送电一次成功。
  - 12月 海阳核电2号机组完成冷态功能试验。
- 2018年**
  - 8月 海阳核电1号机组实现首次并网。
  - 10月 海阳核电1号机组投入商业运行，我省在运核电装机实现“零突破”。
- 2019年**
  - 1月 海阳核电2号机组投入商业运行，海阳核电一期工程全面建成投产，正式进入“双核时代”。
  - 4月 海阳核电一期两台机组累计发电量突破100亿千瓦时。
  - 8月 荣成高温气冷堆示范工程核岛大件设备全部吊装到位。
  - 10月 海阳核电1号机组商运一周年，机组10项运行指标达到世界先进水平。
  - 11月 海阳核电核能供热工程一期项目建成投运，被国家能源局授予“国家能源核能供热商用示范工程”称号。
- 2020年**
  - 2月 海阳核电1号机组获得2019年世界核电WANO综合指数评分满分(100分)，排名世界第一。
  - 3月 国家能源核能供热商用示范工程一期项目圆满完成首个供暖季供热任务，安全稳定运行136天。
  - 4月 海阳核电一期工程2台机组完成首次换料大修，先后刷新国内外百万千瓦级核电机组首修工期纪录。
  - 7月 荣成高温气冷堆示范工程全面进入调试阶段。
  - 10月 中国山东核能(装备)产业发展推介会在威海荣成市召开，中国(烟台)核能安全暨核产业链高峰论坛在烟台市开幕。
  - 10月 荣成高温气冷堆示范工程完成冷态功能试验。
  - 11月 全国“零碳”供暖城市创建暨国家能源核能供热商用示范工程二期全面开工建设。
  - 12月 荣成高温气冷堆示范工程全面开展热态功能试验。



制图：于海员