

全国首个核能供热商用项目落户海阳

为北方地区清洁供暖提供山东方案



11月15日，山东海阳核能供热项目正式投用，山东核电有限公司员工宿舍、海阳30多个居民小区共计70万平方米的区域，在全国范围内率先享受了核能商用供热。

近年来，我省积极响应国家探索核能供热的部署要求，在确保海阳核电1、2号机组安全稳定运行的基础上，加快推进核能综合利用步伐，在全国率先实施的首个核能清洁供热工程，实现了当年开工、当年投产，为我国北方地区清洁供暖提供了全新的山东方案。

当前，我省按照“四个革命、一个合作”能源安全新战略要求，将发展核电主动融入全省能源转型，进一步优化能源结构，拓展核能综合利用领域的广度和深度，打造低碳、环保、高效、互补的清洁能源链条，积极推进热电联供、海水淡化、制氢、储能等核能综合利用项目实施，大力推进核能产业健康快速发展，激发核能综合利用新动能。

全国首个——海阳城区居民用上核能供热

时下正值冬季，但家住海阳凤凰国际小区的市民牛盼盼家中却温暖如春，该小区是今年海阳市核能供热服务的小区之一。享受到国内首个核能供热的“初体验”，牛盼盼难掩内心的激动和喜悦。她告诉记者：“11月15日，我们小区开始供暖，到现在温度一直很稳定，每天都很好，对今年供暖特别满意。”“我这是把夏天买回来了。”海阳凤凰国际小区居民乔海立在11月25日发布了这样一条朋友圈信息。记者从乔海立朋友圈配图看

到，当天上午其家中温度计显示室温为26℃。

11月28日，记者与参加核能综合利用专家研讨会的嘉宾一起，走访了海阳市核能商用供热项目范围内的多个小区。进入供暖季半个月，许多用户表示今年供热情况好于往年，家中很暖和。

记者走进碧海金滩小区居民杨海燕所在的单元楼，当天室外气温为0℃-5℃，其家中的温度计显示为26℃。经工作人员设备测试，在房间内照不到太阳的地方，温度也达到了23℃，体感十分舒适。据海阳市丰源热力有限公司旅游度假区客服经理薛林介绍，杨海燕一家是该单元唯一申请供热的用户，过去使用燃煤锅炉供热时，保证这类用户可靠供热存在一定困难。今年使用核能供热后，像杨海燕这样的单元独立用户供热得到了保障。“今年用上了核能供热，家里天天暖暖和和的，能全国头一个享受核能供热，感到很新鲜很高兴。”杨海燕说。

核能供热是否安全，备受市民百姓关注。丰源热力公司董事长赵新向记者介绍了海阳市目前应用的核能抽汽供热技术的原理，主要是从核电机组二回路抽取蒸汽作为热源，通过厂内换热首站、厂外供热企业换热站进行多级换热，经市政供热管网将热量传递至最终用户。整个过程就是蒸汽加热水和水加热水两大步骤，核电站与供热用户之间设置了多道回路进行隔离。每个回路之间只有热量传递，没有水的交换，用户供暖管道中的热水也只在小区内封闭循环，与核电厂层层隔离，十分安全。

多方共赢——

企业政府民众环境协调发展

作为全国首个核能供热商用示范工程，海阳核电热电联产模式以“零碳”排放优势，使居民在拥有绿色电力、清洁供热的同时，还能尽情享受蓝天白云。核能供热以清

洁高效的供暖方式改善民生、造福地方，具有“居民采暖价格不增加、政府财政负担不增长、热力公司利益不受损、核电企业经营作贡献、生态环保效益大提升”等效果，真正实现了企业与地方、环境、公众的协调发展和多方共赢。

“我们自己也是海阳居民，过去一到供暖季，还是会感到空气受点影响。”山东核电有限公司董事长吴放告诉记者，据测算，目前实施的70万平方米核能供热，每年可节约2.32万吨标煤，减排222吨烟尘、382吨二氧化硫、362吨氮氧化物和6万吨二氧化碳，相当于减少约5台10吨的燃煤锅炉，对节能减排、改善环境作用显著。

吴放给记者算了一笔核能供暖的“经济账”，核电厂单纯发电热能利用较低，而使用核电机组进行热电联产，可以有效提高核电厂热效率。以海阳市2021年规划的450万平方米供热面积测算，核电厂热效率可从36.69%提升到39.94%，供热价格与燃煤供热价格基本相当。

海阳市丰源热力有限公司旅游度假区经理姜京辉告诉记者，旅游度假区过去和临港地区共用燃煤机组，作为直接向用户负责的基层供热单位，受环保指标的限制，想提升到居民满意的难度压力很大。今年，有了清洁的核能作为热源，姜京辉面对用户底气足了很多，他说：“从实际供热情况来看，核能供热稳定，我们现在只需要负责调试，比原来‘烧锅炉’省心得多。”“使用核能作为热源，电厂粉尘、二氧化硫等排放显著减少，噪声污染降低，设备操作简单、运行更稳定，调控也实现远程化、智能化，运维和人力成本大幅度降低。据测算，我们每年可少支出约200多万元。”海阳市丰源热力有限公司技术处处长时伟说。

海阳核电自建以来，每年为地方提供数千个就业岗位，投资2亿多元修建了4条道路，建设了国内首个核科技馆，吸引了大

量高精尖人才落户海阳，为当地经济社会发展作出积极贡献。

多元发展——

核能综合利用全力推向纵深

长风破浪会有时，直挂云帆济沧海。我省将积极推进《胶东半岛核能清洁供热项目合作框架协议》的实施，加大力度推广海阳经验，将核能供热拓展到青岛威海地区。突破核能综合利用作为省内新旧动能转换的突破口和动力源，鼓励地方和企业大胆试、放心干，争做省内能源转型的排头兵和先行先试的典范，打造能源革命“齐鲁样板”，为广大群众带来更多绿色清洁能源，摸索出创新引领发展的新思路。

加快推进海阳核能供热覆盖范围。到2021年实现供热范围覆盖厂址周边30公里，满足海阳市内供热需求；到2023年实现供热范围覆盖厂址周边60公里；后续机组建成投产后，供热能力将广泛应用于青岛威海胶东半岛地区。

加快推进核能海水淡化步伐。胶东半岛地区水资源短缺，烟、青、威都是严重缺水城市。我省积极构建“水热同传”的产业链，加快核能海水淡化探索实践，积极引入海水淡化相关的技术、资源、资金、团队，实施海水淡化利用，首期工程计划实现日产淡水30万吨目标，为有效缓解烟青威海地区严重缺水问题提供有力支撑。

加快推进核电产业集群发展。围绕制氢、储氢、氢燃料电池应用等方面，打造一批国内具有影响力的氢能、储能产业集群，推动分布式供能等新兴产业发展。以陆上核电大型堆、小型堆和海上清洁能源综合供给平台示范工程为依托，加速形成集核电机料研发、核电装备制造、核电站建设与运营维护等于一体的核电产业集群，进一步提高核电厂“亩产效益”。

探索核能综合利用创新发展



核能水热同送

——改善胶东半岛供暖能源结构、缓解水资源短缺的新思路

□ 清华大学建筑节能中心教授 夏建军

胶东半岛主要包括青岛市、烟台市和威海市，是山东省经济最发达的区域。2018年胶东半岛国内生产总值（GDP）为23475.56亿元，占山东全省GDP的30.7%。近年来，胶东半岛地区GDP能耗下降趋势放缓，经济社会高质量发展面临新挑战。

随着经济发展及居民环保意识的逐渐提升，冬季供暖能源清洁化被提上日程。如何有效压减煤炭消耗，寻找大规模、可持续的清洁热源替代传统燃煤供暖，成为制约胶东半岛城市发展的环保“瓶颈”。

胶东半岛属于北方严重缺水地区之一，水资源供需矛盾突出，主要依靠“引黄济青”和“南水北调”工程解决水资源短缺问题。胶东半岛客水比例较高，烟台市、威海市占比10%，青岛市则高达47%，水资源短缺是制约胶东半岛城市发展的另一重要“瓶颈”。

为有效解决上述两大“瓶颈”，可以依托海阳核电，合理利用核电机组余热，制备淡化海水，通过水热同送技术，将加热后的淡水送至城市周边，热量用于集中采暖，解决采暖用能清洁化的问题；淡水送至自来水厂，解决城市供水资源短缺问题。

水热同送是将热量及淡水同步输送至用户侧，仅需要敷设供水管道，不需要敷设传统供暖回水管道，可有效降低管网初投资和输送成本。按照供暖季供热量2.65亿t、供热量7534万GJ，非采暖季供水量3.41亿t，折日年限20年（静态回收期20年）测算，热价为40元/GJ时，水的最低销售价格为5.1元/t；水价格为6元/t时，热量的最低销售价格为32.9元/GJ。

核能水热同送替代现有燃煤锅炉后，煤炭用量减少186万吨标煤；减少化石能源消耗148万吨标煤，节能比例达67%；减少二氧化碳排放量420万吨，减排比例达74%；主要污染物减排比例达70%以上，环保效益显著。

利用现有的核电机组余热，发展水热同送可满足胶东半岛供暖清洁能源转换需求的同时有效解决胶东半岛水资源短缺问题，提高核电厂热效率，实现经济效益、环保效益双丰收，具有重大发展前景。

编者按：

11月28日，“国家能源核能供热商用示范工程”“山东省核能综合开发利用示范城市”揭牌仪式在海阳市举行。相关专家围绕“核能水热同送、海水淡化、储能技术”等专题进行了主旨演讲。专家们以其精湛的专业知识、深厚的学识造诣和开阔的国际视野，立足于各自领域，提出了许多专业化、建设性的宝贵意见及建议。本报刊发三位专家精彩观点，以飨读者。



揭牌仪式现场

从蔚蓝走向绿色的发展之路

——发展核能海水淡化，助力地方经济发展

□ 天津海水淡化与综合利用研究所副所长 赵河立

淡水资源的匮乏已成为全球性的环境问题，据世界观察研究所的报告预计，到2025年，全球面临缺水的人口将达到总人口数的2/3，我国是世界上13个贫水国之一，山东半岛更是全国缺水最严重的地区之一，淡水资源已严重制约了半岛经济的可持续发展，因此发展海水淡化产业已成为推动半岛经济发展的不二选择。

海水淡化技术于20世纪50年代开始商业化应用，目前主流技术有热法（主要包括多级闪蒸、低温多效）和膜法（主要包括反渗透）。海水淡化技术已在全球得到了广泛应用，截至2017年，全球淡化总产能达到近1亿吨/天，其中膜法占总产能的64%，热法占36%。产品中59%用于市政供水，解决了2亿多人的饮用水问题。截至2016年底，我国已建成海水淡化工程总规模138.8万吨/日，其中膜法占总产能的69%，热法占31%。

随着海水淡化工程规模不断扩大，成本也在不断降低。以色列、沙特等国家，海水淡化项目制水成本可降低至0.5-0.7美元/吨。在我国，典型的海水淡化工程中热法综合制水成本为5-8元/吨，膜法综合制水成本

为4.5-7元/吨。国内行业整体技术已基本成熟，低温多效和反渗透海水淡化技术已具备系统集成和工程成套能力，随着国内技术水平和设备制造水平的不断提高，未来海水淡化成本将会进一步降低。

核能是清洁绿色的能源，也能为海水淡化提供所需的蒸汽和电能，是在技术、经济和环境方面均能够满足海水淡化大规模发展的一个可靠能源。核电厂址区域一般海水水质优良，取排水和各种配套设施完善，具有发展海水淡化产业的先天优势。核电厂建设海水淡化不但可以满足自身需求，从根本上解决干旱季节与民争水的局面，同时也可以为机组提供可靠的水源保证。通过核能与海水淡化技术的深度耦合，建设大型核能海水淡化项目，实现向地方供应水质优良、价格合理的淡水资源的自给，更是可以为山东省新旧动能转换的能源改革注入新的活力，从而实现企业经济和社会效益的最大化。

储能技术

——能源的搬运工

□ 国家电投中央研究院副所长 王含

随着我国的能源结构调整，采用大规模风能、太阳能等新能源势在必行，但风能和太阳能存在间歇性和波动性的特点，在大规模并网时对电力系统的稳定运行提出了严峻考验。储能不仅能够解决新能源的间歇性和波动性问题，还能够提高电网稳定性和供电质量，提供各种能源的时空转移，是能源发展版图中的一块重要拼图。

目前受制于储能技术的发展，抽水蓄能

技术很难大范围应用，锂电池存在安全性较差及后处理等问题，缺少一种足够安全又经济的大规模储能技术。国家电投集团在储能产业率先布局，成立了国家电投储能技术研究中心（简称“储能中心”），在两种储能技术——电化学储能技术与热储能技术领域均实现了突破。

在电化学储能技术方面，储能中心围绕铁铬液流电池、全钒液流电池、锂离子电池、铅酸电池、钠硫电池等电化学储能技术在循环寿命、能量密度、安全性、度电成本等方面进行了深入的对比分析，最后铁铬液流电池技术因其环境友好、寿命长、安全性高、度电成本低等特点而受到青睐。储能中心自主研发的铁铬液流电池技术水平处于国际领先，目前已具备研发、设计、测试和组装生产等一整套完整的技术能力，所有关键部件已实现国产化、自主化，正在进行生产线的前期论证工作，预计可拉动新能源产业、新材料产业、装备制造产业数百亿元产值。据测算，年产能300MW的度电成本低于目前锂电池的水平，随着技术的进步以及规模效应，当年产能1GW时，度电成本与抽水蓄能相当，极具大规模储能的经济性。国内首套百千瓦级铁铬液流电池储能示范项目已落地国家电投河北公司张家口石沟光伏电站，目前，储能系统中核心设备——全球最大的电堆和一号已成功下线，预计示范项目将于2020年投运。

在热储能技术方面，储能中心围绕熔盐储热、水储热、固体储热、相变储热、地热等方向也取得了丰硕成果：自主研发的水储热关键部件——布水器设备，性能指标达到国际一流水平，打破了国外技术的垄断，首套布水器已经在霍林河坑口600MW机组灵活性改造项目投运，项目投运以来，已实现经济效益1.3亿元；自主研发的高压加热器的核心元件——电热丝，其可靠性、寿命和经济性优于市场同类产品；在地热方向实现地热能高效利用技术——潮汐式地热能利用技术、尾水回灌系统、梯级利用技术、深井换热技术等也取得了显著成果；储热核心技术已经在火电灵活性改造、煤化工、综合智慧能源的各类市场化项目得到广泛应用。

关于核能与储能的结合应用场景，利用铁铬液流电池技术及其他一些满足核电厂区安全性要求的储能技术，可以在核应急电源以及为核电调峰等方面发挥作用，目前正与海阳核电方面一起进行可行性论证。此外，利用热储能技术可以为核能供热提供备用热源，降低汽轮机的调节频率，在事故下还可作为备用冷却水，具备应用前景。核能和储热的结合，为海阳核能综合利用提供了思路与发展方向。

（本版稿件由本报记者 张楠 本报通讯员 缪久田 魏志尚 孙宁 许红波 撰写整理）

山东海阳 核电发展大事记

- 2003年
☆3月，原中国电力投资集团公司与山东省人民政府签订了合作开发建设山东海阳核电项目的正式会议纪要。
- 2004年
☆8月，山东海阳核电厂进厂道路正式竣工通车。
☆9月，山东核电有限公司成立。
- 2005年
☆4月，厂址内原冷家庄和董家庄搬迁完成。
- 2007年
☆7月，我国第三代核电自主化依托项目合同在北京人民大会堂签署。
- 2008年
☆7月，山东海阳核电一期工程1、2号机组核岛负挖工程正式启动。
- 2009年
☆9月，国家批准颁发海阳核电厂一期工程1、2号机组建造许可证。1号核岛浇筑第一罐混凝土。
- 2010年
☆6月，2号机组核岛顺利开工。
- 2011年
☆5月，项目“五通一平”填海工程及“五通一平”海工环境保护工程通过验收。
☆9月，2号机组反应堆压力容器主附件获得国家使用许可。
- 2012年
☆1月，1号机组核岛压力容器吊装就位。
☆8月，1号机组控制棒驱动机构全部交付。
- 2013年
☆3月，1号核岛钢制安全壳成功封顶。
☆12月，1号机组穹顶吊装就位。
- 2014年
☆3月，3、4号机组“两评”报告获得国家批复。
☆3月，1号机组安全壳顶端的大水箱就位。
- 2015年
☆7月，2号机组汽轮机扣缸工作完成。
☆10月，500kV电气系统可用。
- 2016年
☆4月，首批主泵交付至现场。
☆7月，1号机组冷态水压试验完成。
- 2017年
☆6月，1号机组首堆试验完成。
☆12月，2号机组冷态水压试验完成。
- 2018年
☆8月17日，1号机组实现首次并网。
☆10月22日，1号机组具备商运条件。
- 2019年
☆1月9日，2号机组具备商运条件。
☆4月24日，海阳核能清洁供热工程换热站正式开工建设。
☆4月25日，海阳核电两台机组累计发电量突破100亿千瓦时。
☆5月24日，山东核电与海阳市政府签订了《关于共同推进海阳核电厂核能供热项目开发的战略合作协议》。
☆6月17日，我省与国家电投集团签订了《胶东半岛核能清洁供热合作框架协议》。
☆10月16日，海阳核电两台机组累计发电量突破200亿千瓦时。
☆10月22日，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15日，海阳核能清洁供热项目正式投运。
☆11月27日，国家批复海阳核能清洁供热工程为“国家能源核能供热商用示范工程”。



海阳核电厂全景



海阳核能供热换热首站



海阳市丰源热力有限公司调度中心