

山东海阳核能综合利用愿景图

全国首个

核能供暖城市来了



在海阳核电站，两个机组用不同的颜色区分，最大程度避免操作失误。

从中国地图上看，胶东半岛如翼龙头部面朝大海。在半岛南侧的“咽部”，有一处“热点”。比起左边的崂山、右边的乳山，海阳没什么名气。然而它又的确有几分特别，在北半球的这个冬天，它成了全中国第一座完全实现核能供暖的城市。

现代与古老在这里不做争夺，它们彼此给予——海阳核电站的两个机组每年发电量200亿千瓦时，足够满足青岛、烟台、威海地区全部居民的生活用电。深藏着高核辐射物质的建筑内，剧烈的核反应随时都在进行。核电站外几百米处是几个当地的自然村，和很多临海的村子一样，人们以捕鱼为业，天没亮就出门赶海，也有人在核工业园区从事保安、保洁等工作。

作为中国大陆51座在运行的核电站之一，海阳核电站无论是规模还是技术上都不特殊，一件颇有意义的小事是，2021年，它拿出4%的发电量，为60万人口直接输送热量，让这座北方小城告别了化石燃料供暖的时代。

一切顺利的话，未来的某个冬天，这座核电站还将把热量输送到青岛、烟台、威海三座城市。

“什么是安全？符合标准，就是安全的”

从清华大学工程物理专业毕业后，吴放一直在核领域工作。这位核能专家、山东核电董事长日常工作，是和同事一起维护海阳核电机组的安全稳定运行。

吴放回忆，2015年，自己在北京经历了数场雾霾，“抬头看不见建筑，只能看到上面发亮的字”。这让吴放萌生了用核能供暖的念头，因为核能是清洁能源，几乎不会带来任何大气污染。

当前国内供暖主要依靠燃烧煤炭和天然气，会产生大量二氧化硫、氮氧化物和可吸入颗粒物。除了引发雾霾，燃烧化石能源排放的二氧化碳还造成全球变暖，导致极端气候现象频发、海平面上升。

人们能说清雾霾的成分，但很显然，人们更害怕核能。说起“核”，多数人的第一反应是武器和事故。在人类文明和战争的记忆里，与“核”有关的伤痕都太过深刻，“核”带来的恐惧感是持久的。但在海阳核电站，距离核反应堆最近的人反而很安心。

据测算，园区上千名员工一年受到核辐射的平均剂量约为做一次腹部CT的百分之一。很多时候，园区里的辐射值甚至低于大城市——繁华都市中，空气里的粉尘、建筑中的天然大理石等材料也有核辐射。园区里还有一块计时大屏幕，截至记者抵达时，核电站已经持续517天18小时14分24秒没有发生人因事件。

到底什么是安全？在吴放看来，安全是一个难以定义的词，他更愿意用“符合标准”来衡量。“只要我们在建设、操作时符合标准，那我认为它就是安全的。”事实上，中国在核能开发、利用方面制定的标准是全世界最高的。

核电站一般都建在海边，核反应会释放大量的热，需要海水作为冷却水，加热水产生

的水蒸气推动涡轮发电机发电。吴放曾考虑，如果能从这些热能中拿出一部分用于供暖，能提高核能的利用率，同时也能实现清洁能源供暖。

推进研究的同时，吴放先在核电站员工宿舍区以及当地30多个小区做试点，然后逐步扩大范围，直到覆盖整个海阳市城区。出人意料的是，不管是核电站建设和运行时，还是推广核能供暖时，他们发现当地老百姓并没有对安全性感到担心。多数人最关心的是，核能供暖效果怎么样，便不便宜。

2021年11月9日，核能供暖的热水如期温暖了这座城市。与往年冬天相比，市民并没有感受到什么不同，暖气片还是那么热，持续而稳定——除了供暖费每平方米比去年降低了1元。

解决了燃“煤”之急

穿过层层钢筋混凝土和金属安全壳，核电站的核心只是一根根细长的燃料棒，4米多高，粗细和混凝土使用的钢筋差不多。它们排列在一起就成了稳定且能产生大量能量的核反应堆。按照计划，如果海阳核电站的8座反应堆全部建成投入使用，能提供整个山东省13%的用电量。

在能源领域，能用于发电的热能是“高级”的，需要水蒸气有较高的温度和能量，在海阳核电站，用于发电的水蒸气的温度高达268.6摄氏度，压强5.38兆帕，约为53倍的大气压强。发完电的水蒸气虽然还是温暖的，但属于较“低级”的能量，很难再得到利用。供暖则并不需要那么“高级”的能量，“我们的工作类似于拿出一部分‘高级’的能量兑入‘低级’的能量，变成更多‘中级’的能量，也足够用来供暖了。”吴放解释。

实现这个想法并不容易。核电站是一个设计精密的系统，取出一部分水蒸气，势必对

整个系统产生影响。在海阳核电站1号机组2018年投入商运当年，他们经过大量前期理论论证后开始立项，次年开始试点供暖。范围从核电站办公区逐步扩大到海阳市的部分小区，直到今年，整个市区都用上了核能供暖。

而在这个过程中，用户端的改变并不大。在核电站之外，除了替代了海阳市的12台燃煤锅炉，其他的一切和燃煤供暖几乎没有区别。供暖的水还是由各区的供热企业负责加热，只是如今，供热企业不再需要燃烧煤炭加热供暖水，而是由海阳核电站提供热水，在供热中心将热量传递给供暖水。

海阳实现核能供暖引起了全球核领域同行的关注，国际原子能机构已经派专员前来调研。这项尝试在国内也有了追随者，今年，中国第一座核电站秦山核电站开始对嘉兴市的3个小区试用核能供暖。

即使不考虑在减少碳排放方面的贡献，核能供暖的意义在今年也格外特殊：全球整体能源紧缺，煤炭等能源的价格大幅上涨，不少国家实施了限电停产措施，多地供暖费用涨价，海阳市却做到了供暖费不增反降，解决了燃“煤”之急。

对此，吴放算过一笔经济账，长期看来，核能供暖一定比燃烧化石燃料更实惠。他解释，在煤炭价格平稳时，使用核能供暖的价格仅略低于燃煤供暖，但未来化石能源的价格可能会因为产量、碳排放市场化等原因不断上涨，而使用核能近似于一次性投资，费用主要花在建设时，投产后，核燃料的价格只占极小的部分，即使发生类似化石能源的大涨价，也不会对核电站的经营产生大的影响。因此，核能发电的费用一般非常稳定。

对核能的利用是一场没有尽头的探索

海阳核电站毗邻黄海，常

年抽取海水用于冷却核设施。在抽水口，海水中的鱼、虾、海藻被滤出，海水在海阳核电站循环一周带走“低级”的余热，最后热气腾腾地回到黄海。

在绝大多数人眼中，这些“低级”的热量没有利用的价值和机会，但吴放却想，是不是有办法把这部分能量也利用起来呢？

他想到此前在新闻中看过的“南红北移”工程。适合在南方温暖潮湿环境生长的红树林是极好的海洋生态系统，能防风消浪，净化海水和空气，还有10倍于陆地森林的固碳能力，但它不适应北方寒冷的气候。此前，中国的“南红北移”工程最北只开展到北纬30度的浙江舟山。海阳的海岸线比舟山更靠北，但一年四季分秒不停流回大海的反应堆冷却水也许可以营造适合红树林生长的环境。吴放联系了多所大学的专家开展调研，并在今年6月开始了这项工程，目标是将红树林生长的最北位置扩展到北纬37度附近。

海阳核电站采用的是第三代核电技术，也是目前商用大型核反应堆最先进的技术，核岛的外形像白酒瓶，瓶盖位置装有大量冷却水。发生极端意外时，这3000吨水会自动下沉用于冷却核反应堆，可以做到72小时不需要人工干预，保障机组安全。“第三代技术系统的设计理念就是，削弱‘人’的不稳定因素。”吴放说。

中国的核电站已经设计了完备的操作机制，几乎所有的操作必须有书面或口头的批准才能进行。一名海阳核电站的工作人员向记者演示，即使是交换两条接线，也要使用不同的颜色分别标记线路和接口，并事无巨细地记录每一步操作，最大程度避免人的失误带来风险。

在这里，没有员工担心发生事故，也不担心自己受到超量的核辐射。海阳核电站每一个有受到辐射风险的员工从入职起就会配备一枚专属的核辐

射检测仪，持续监控他累积受到的核辐射剂量。

为了消除民众对核的恐惧，海阳核电站的工作人员经常到社区、街道上进行科普宣传，接受采访的工作人员说，民众的接受度普遍很高，没有人表现出恐惧。海阳核电站2019年的一次街访结果显示，95%的市民对核电站表达的是积极或中立的态度，剩下的5%是不了解或不关心。

一名工作人员解释，居民完全不用担心核能供暖会带来核辐射。“且不说核加热的水并不是用户家中用来供暖的水，这中间经过了5次换热，每个换热环节都有绝对的物理隔离，即使是用于冷却的海水也是完全不含辐射的。”他解释，“这就像我们吃自热小火锅，只有热量的传递，没有物质的交换。加热层不会影响到食用层的安全性。”

在吴放的计划中，未来核能的能量利用率还要提升。给海阳市供暖后，核电站的能量利用率从36.69%提升到了39.94%。据测算，如果实现给烟台、青岛、威海供暖，单台机组3000平方米的供热面积，这个数字将提升至约55.9%。“这相当于一个核电站顶一个半核电站。”吴放说。

海阳每年冬季供暖要消耗原煤10万吨，转为核能供暖后，将少向大气排放二氧化碳18万吨。相比全国因供暖产生的碳排放，这是一个微不足道的小数字，才0.03%，但这项尝试如果能在中国大陆在运行的51座和更多建设中的核电站铺开，这个数字将变得更加可观。全世界范围内，在运行的核电站大约有400座。对吴放这代核能人来说，对核能的利用仍是一场没有尽头的探索。吴放期待，未来核能还能在更多领域发挥作用，人类不再谈“核”色变。

就像家里的暖气片一样，可以大胆摸。

据《中国青年报》《科技日报》