



“十三五”以来，我国核电发展取得了显著成就。收官之年，从供暖领域探索其新的应用可能，更有现实意义。



# 核能：应用之考

文 / 田力

“十三五”以来，我国核电取得了显著成就，与此同时，核电领域的热点也在不断演化：从2014~2015年的管理体制，到2016~2017年的核电走出去，再到2019年下半年的核电审批重启以及何时开闸“内陆”核电项目。当下，探索核电在供暖领域的应用可能，更具现实意义。

## 供暖“曲线”落地

2019年的冬天尽管天气格外寒冷，但在集中供暖领域，却迎来一股潮流——“核能供暖”。

位于山东烟台的海阳核电站，通过抽汽供热，为7000多户居民约70万平方米的住宅提供了源自核能源的热能，使得酝酿多年的核能供暖总算以这

种“曲线”的形式落地。

随后，又一条“曲线”启动——中国船舶集团南方公司牵头组织召开船载池式堆海洋核能供热平台示范工程项目研讨会。

之所以说是“曲线”，是因为本来最适合陆地上建设运行的常压低温池式供暖堆技术，由于选址标准核安全评审规则没有得到及时的更新和发布，技术方案也没有在整合业内最优资源的基础上实现优化设计，尽管将近十个城市已经和核能开发企业签署了核能供暖或核能供热项目的合作协议，有些项目前期工作已经取得了相当进展，但还是停留在前期工作阶段，距离真正设备订货和开工建设尚有时日。

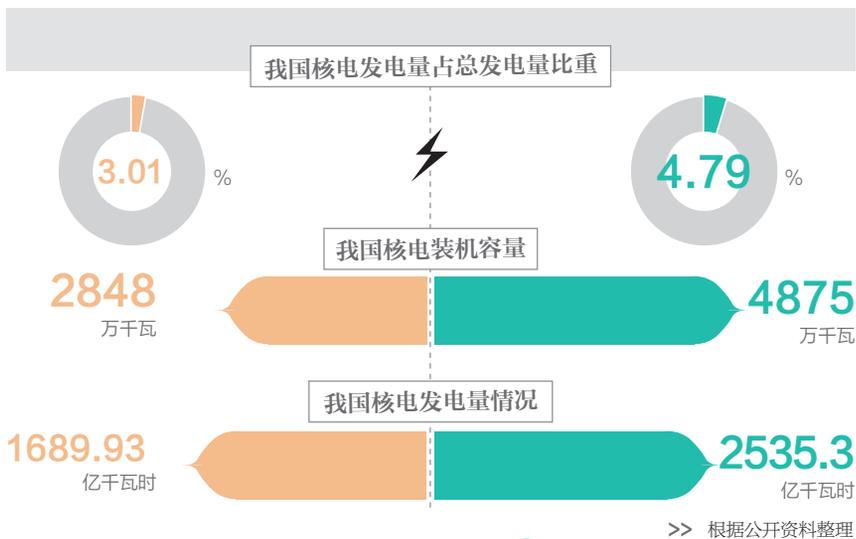
《北方地区冬季清洁取暖规划

（2017~2021年）》明确提出，“加强清洁供暖科技创新，研究探索核能供热，推动现役核电机组向周边供热，安全发展低温泳池堆供暖示范。”实际上，不仅是传统的北方地区，随着气候的变化，以及人们对更高生活质量的追求，长江沿线乃至云贵高原的一些冬季寒冷潮湿地区的城镇居民也急切盼望集中供暖的实现。

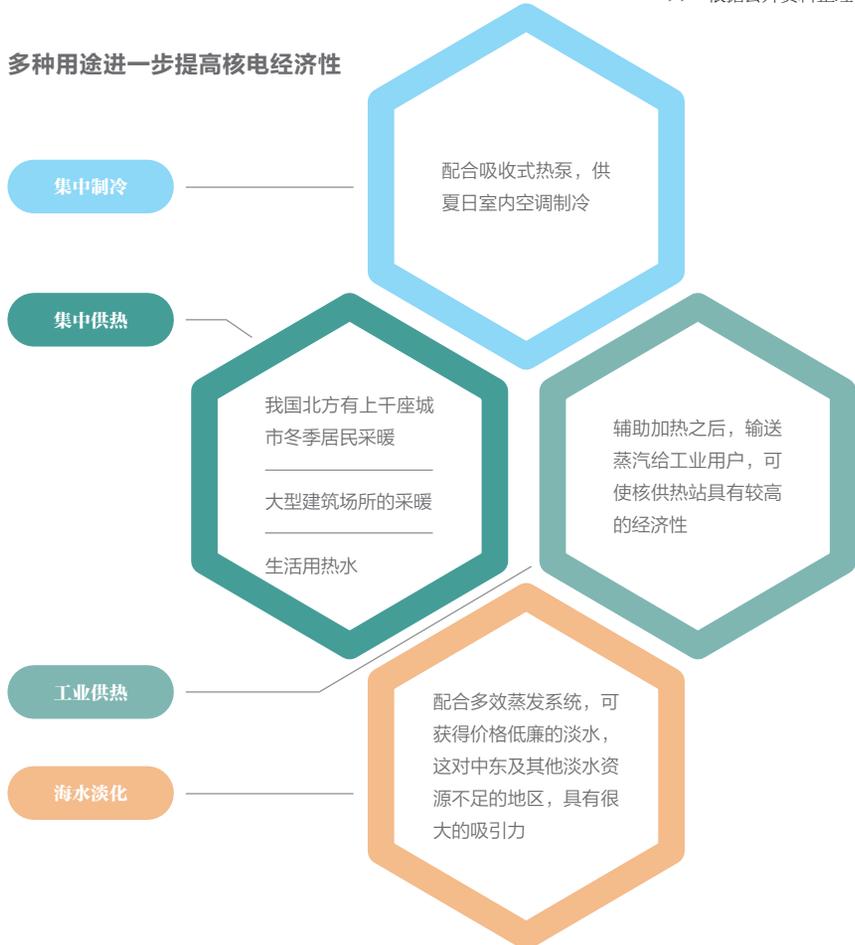
从核能行业立场出发，在发电能力过剩的今天，如果能够集中行业力量，在核能集中供暖大规模应用领域形成共识、有所突破，则彰显了核能行业的社会责任、市场敏锐度和客户服务意识。

从核能企业的立场出发，大型核电建设市场尽管回暖，但是内陆核电建

# 2016 vs 2019 Q3



## 多种用途进一步提高核电经济性



设市场尚未开放, 沿海厂址有限, 加上发电能力过剩, 沿海省份发展核电替代燃煤发电的节奏不可能太快。每个核能集团平均每年新批准一个机组就已经很不错了。所以在小型堆、尤其是核能供暖领域有所建树, 应该是很有需求潜力和发展空间的业务增长点。

从传统发电企业立场出发, 燃煤热电厂不再新建, 到设计寿期的老电厂一律关停, 导致北方各地基荷热源缺乏。煤改电、煤改气不是成本太高, 就是资源受限。到期关停的热电厂员工怎么办? 承担的集中供暖的社会责任怎么办? 如果就地改造为池式堆核能供暖, 不仅上述问题得以解决, 原有的供暖管网继续利用, 而且腾出大片土地可以做其他商业或民生用途的开发利用。通过核能供暖, 传统发电企业集团进入核能领域的愿望就自然而然地得以实现, 这也是与核电集团相比的比较优势之所在。

对城镇热力公司而言, 支持并参与核能供热项目投资, 不仅有了稳定清洁的集中供暖热源保障, 而且达到了改善员工工作条件, 提高客户服务质量, 提高企业经营效益的目的, 一举多得。

对于地方城镇政府而言, 有了核能供暖, 就不必因为每年的空气质量不达标而接受环保督察并背负处分, 更不必为了保空气质量而强令工厂频频停产, 导致招商引资前功尽弃, 服务实体经济发展的承诺得不到落实。

利用核能满足城镇集中供暖的基本负荷需求, 既确保了能源需求, 又改

善了能源结构，还优化了产业结构，改善了大气环境，更为国家分担了碳减排的艰巨任务，一举多得，何乐而不为？

## 常压低温池式堆进入视野

核能供热包括核能供暖，核能供暖特指北方地区冬季集中供暖。核能供热技术一般包括核电机组抽汽供热技术、壳式供热堆技术以及常压低温池式堆技术。

核电机组抽汽供热技术主要通过从核电厂常规岛汽轮机高压缸抽取蒸汽作为热源，仅适用于北方地区沿海核电站给周边供暖，要求电厂周边有足够大的热负荷，如远距离输热，不能有太大的地理高差，所以并不具备大规模推广的普遍意义。而壳式低温供热堆由于压力壳内压力和温度参数较高，要求配置安全设施，导致投资较高，所以经济性较差，加上选址难度较大，推广难度也很大。

虽然也有核电企业在推广电功率为10万千瓦左右的小型核电站热电联供，但是我国内陆核电建设尚未放开，目前只有常压低温池式堆为代表的核能供热技术被正式列入国家十部委发布的清洁供暖规划中。

常压低温池式堆是常压下运行的池式核反应堆，又称为游泳池式核反应堆（简称池式堆）。自上世纪60年代开始，直至现在，美国、前苏联、加拿大、德国、瑞士、瑞典、法国等许多发达国家都进行了池式堆的持续研究与开发。

池式堆在世界上建有数百座，都是为科学研究、材料辐照和同位素生产等目的而建造的，已经安全运行几十年，是一种安全性好、允许建造在城市边缘或近郊的核反应装置。北京北部的昌平南口镇和北京南部的房山良乡镇，都有不同原子能研究机构的多座池式堆在运行。

上世纪80年代初，清华大学核研院就利用已建成的池式实验堆（2MWt）进行了核研院生产区与生活区的冬季集中供暖试验，取得成功。后来又推出了NHR壳式低温核供热堆，于1989年建成了5兆瓦试验堆，并成功运行。在随后的三十多年中，无论是池式堆，还是壳式堆，都一直积极推广，但是一直没有示范工程落地。

池式堆在常压、低于100℃的参数下运行，可以实现在任何事故工况下堆芯不会裸露，燃料元件不会烧毁，达到“无放射性扩散”的核安全目

### 国内主要核能供暖企业举措

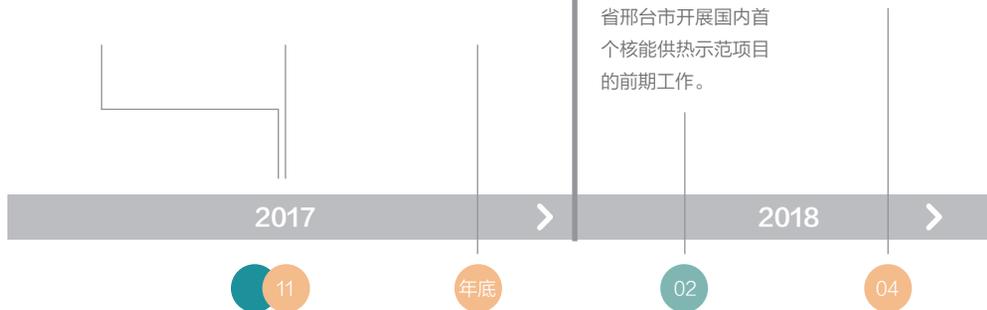
自主研发微压供热堆HAPPY200，完成总体方案迭代及优化。

在“49-2”池式研究堆供暖改造成功的基础上推出“燕龙”泳池堆。

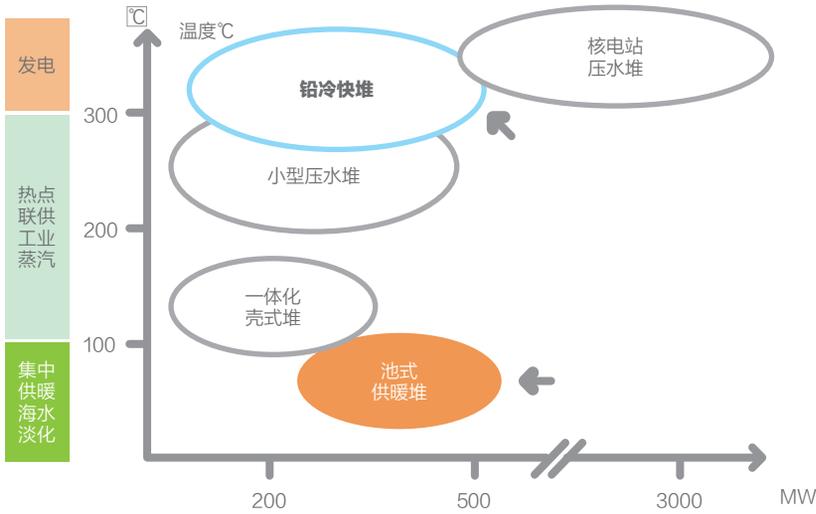
与烟台市就泳池式供热堆等项目签订协议。

携手清华大学共同推进NHR200-II壳式低温供热堆技术。国家能源局同意中广核联合清华大学在河北省邢台市开展国内首个核能供热示范项目的前期工作。

与吉林省地方政府签署“燕龙”泳池堆项目合作协议



### 小型核能受到重视



标，不需要厂外应急。整体而言，该堆型温度低、压力低（常压），技术成熟，系统简单，在极端事故工况下蓄水池容量大，反应堆芯浸泡其中可阻止堆芯融化，保证放射性物质的包容，具有固有安全特征，可直接进入商业应用。

2018年11月13日，生态环境部发布《小型核动力厂非居住区和规划限制区划分原则与要求（征求意见稿）》，其中规定：对小型核动力厂，非居住区一般可与核设施的厂界范围一致，距反应堆一般不超过100米。规划限制区的边界离反应堆的距离一般不得小于1千米。距反应堆2千米范围内不应有1万人以上的人口集中居住区。

同时文件也指出，由于小型核动力厂的固有安全特性，从技术角度考虑，场址可以选择在人口密度较高的区域；但从纵深防御和社会可接受性的角度考虑，仍应将反应堆与人口密集区域

### 核能供暖市场规模 / 市场关键词



成立核能供暖产业联盟。

与黑龙江佳木斯市政府签署战略合作协议，推动核能供热等项目落地。

与白山市政府签订项目合作协议。

与内蒙古包头装备制造产业园区管委会签订包头市核能供热及核技术应用项目合作开发协议，并与中核北方核燃料元件有限公司签订池式供热堆项目合作意向书。

与西安市签署战略合作框架协议，在核能供热等多领域开展合作。

与大同市政府签署包括池式堆核能供暖在内的能源革命项目合作协议。与华电集团雄安分公司签署合作协议，计划在雄安新区以及京津冀的能源结构转型进程中联合推广池式堆核能供暖技术。

海阳核电厂面向当地70万平方米居住区的核能供热项目一期工程第一阶段正式供热。

● 中核集团 ● 中广核集团 ● 国家电投集团 ● 启迪新核

2019

07 10 02 03 05.12 06 11.15

或人口集中居住区保持一定距离，并适当限制场址周围的人口密度。

根据地区供热规模的具体需求，可采用200MWt、400MWt等不同规模的模块化设计。根据池式堆所在地环境温度的不同，以及室外温度随时间的变化，200MWt池式堆可满足400~500万平方米集中供暖面积的基本负荷需求，400MWt池式堆可满足800~1000万平方米集中供暖面积的基本负荷需求。除了池式堆担负基本负荷，热网中还需要配备备用调峰热源，满足极冷天气时段的供暖需求。

## 时机成熟需合力破题

近年来，在雾霾治理、碳减排的大背景下，核能供暖呼声渐高。核工业领域多个单位都推出了核能供热技术，主要应用是作为城市集中供热的热源，补充和部分替代燃煤锅炉和燃煤的热电联供机组。

2017年11月28日，中国原子能科学研究院49-2池式堆改造完成，实现冬季供暖。同日，中核集团“燕龙”泳池式低温供热堆在京正式发布，标志我国在核能供热技术领域又向前走了一大步，为探索城市区域清洁供暖提供了又一新的解决路径。

核能供暖作为一项低碳清洁、安全稳定、经济性好的城市规模化供暖技术，可有效替代部分燃煤锅炉，为地方提供稳定、清洁热源，保障民生工程。

低温核供热与石化燃料排放对比表

能源系统排出物	化石燃料锅炉			低温堆 (400MW)
	煤	石油	天然气	
二氧化碳, 吨/年	520,000	-	204,600	0
氧化硫, 吨/年	6,000	1800	-	0
重金属, 吨/年	0.300	-	-	0
氧化氮, 吨/年	2000	619	807	0
烟尘, 吨/年	3,200	49	31	0
灰渣, 吨/年	100,000	-	-	0
放射性, 毫希/人·年	0.013	低于煤	低于煤	0.005
乏燃料, 吨/年	0	0	0	1-2
燃料运输量, 吨/年	320,000	100,000	108m <sup>3</sup>	1-2

(注：计算所用煤为实物煤5500大卡/千克；同时对比小型燃煤锅炉，其热效率为70%左右)

中国建筑气候区划图



中国工程院院士江亿指出，“由于核电站能源效率高，建设沿海核电站可有效解决北方东部沿海大城市热源紧缺问题；而低温供暖小堆有供热时间长、运营成本低的特点，可解决严寒内陆地区清洁热源不足的问题。”

从供应侧分析，核电的沿海厂址开发殆尽，核电项目审批节奏不可能太快。如果没有持续的工程上马，核电设计、建设和运行人员就会因工作任务不饱满而流失。所以核电集团不得不开始关注核能供暖/供热市场，希望核能新的应用领域能够为企业带来新的项目，让核能继续为社会、为国家作出更大的贡献。

随着能源供给侧革命的推进，传统化石燃料电厂的建设进入低谷，传统发电企业集团、中国能建、中国电建等设计施工企业集团，面临任务不饱满的危机，也迫切希望进入核能领域。

当前发展核能供热时机已逐步成熟，核能供热技术正逐渐成为我国实现能源结构调整、雾霾治理、碳减排等需求的现实选择之一。发展核能供热，也是促进核能工业界转变观念、扩展视界、走进市场、贴近客户的一次重大的变革机遇。需要核能领域多家核电集团形成合力，组成国家队，尽快推出标准化的系列产品，整合上下游产业，形成批量化、标准化的设计和制造能力，大幅度降低建造和运行成本。彻底改变核电领域各自为战、求新求特、不愿统一、自恃皇帝女儿不愁嫁、成本长期居

高不下的被动发展局面。

当然，在核能供暖事业推广过程中还存在着以下问题有待解决：

一是最大阻力在于地方政府及公众接受度。由于对核能知识的匮乏，以及日积月累的恐核心理，公众对任何核设施的心理接受度都较低。提高公众接受度是示范工程实施方案的一部分，需要地方政府积极接受并大力支持，同时配合做厂址周边百姓工作。

二是行业内技术路线差异大，未能形成合力。启迪新核和中核集团坚持采用池式堆技术路线，中广核集团推广清华大学核研院的壳式堆技术，而国家电投集团则是采用其自主研发的池壳混合微压供热堆HAPPY200方案、壳式堆方案以及核电机组抽汽供热技术。虽然技术路线丰富，但在目前商业示范堆尚未建成、核能供热推广的初期阶段，科研、设计和市场推广资源严重分散。用搞大型核电的观念、思路和方法搞核能供暖小堆，不仅会让地方政府和用户挑花眼，而且也会增加审批难度，延长审批进度。

加快首座商业示范池式堆的建设，对于发展核能供暖事业而言迫在眉睫。因此，建议各大核电集团形成合力，在需求迫切且厂址适合的地区，批量布局十个以上的池式堆核能供暖项目，引领上下游供应商形成标准化设计、标准化制造、标准化施工、标准化运营。■  
(作者系中国电力发展促进会核能分会副会长)