“科技是国家强盛之基，创新是民族进步之魂。”“创新是引领发展的第一动力。”“抓创新就是抓发展，谋创新就是谋未来。”这些振聋发聩的时代强音昭示我们，必须牵住科技创新这个“牛鼻子”，走好科技创新这步“先手棋”。

新中国70年来的发展实践雄辩地证明，推进科技创新必须坚持自立更生和对外开放相统一，在扩大科技领域对外开放的同时，清醒地认识到重大科技创新成果是国之重器、国之利器，必须牢牢掌握在自己手上，自力更生、自主创新。

本报自今日起推出“前沿科创调研行”系列报道，聚焦中国科技工作者在重大前沿科技领域的创新实践。我们将深入科研院所、工厂企业，现场感受中国科技创新的脉动，见证中国前沿科技创新一线的感人故事，记录中国大步迈向科技强国的铿锵脚步。

——编者

前沿科创调研行之核能供暖①

“功勋堆”助力蓝天保卫战

——探访中国原子能科学研究院池式供暖反应堆

田姬熔　张保淑

“49-2”堆供热实验取得成功庆祝仪式。　本报资料

不知何时起，灰蒙蒙的天空和空气中隐约的炭火味儿成了中国北方一些地区寒冬的“标配”。据统计，北方建筑取暖总面积超过200亿平方米，其中约83%为燃煤取暖面积，取暖耗煤每年约4亿吨标准煤，不仅排放了大量温室气体，而且加剧了空气污染。找到可替代煤炭的清洁供热能源，成为一项重大而紧迫的任务。

近年来，核能作为一种清洁、高效的能源在供暖中的价值受到很多业内人士空前重视和社会舆论的广泛关注。核能供暖究竟是如何实现的？技术成熟吗？安全性到底如何？经济性怎样？带着这些疑问，笔者近日前往中国原子能科学研究院，探访成功完成核能供暖实验的泳池式核反应堆——“49-2”堆。

偏居一隅 功勋卓著

太阳刚钻出地平线又隐匿在阴云中，路两旁的树木随风摇摆，枯叶飞舞。11月中旬的北京虽然在时令上刚入冬不久，但是一场寒流到来，气温直线下降，跌破冰点。

我们一早驾车从北京东三环向南出发，拐入京沪高速公路，而后沿南五环路越过凉水河一路向西，之后向南进入六环越过小清河。起伏的远山终于清晰起来。刚驶下六环不远，就看到路边标有“中国原子能科学研究院”字样的交通指示牌，继续开行约10分钟，导航系统提示我们，此行的目的地——中国原子能科学研究院到了。

出现在眼前的是一座大院，其宽阔的入口分为两个部分，右侧是一排闸机，供行人刷卡出入；左侧是供车辆进出的通道，武警值守在那里，执行严格安保检查程序。在工作人员的帮助下，我们登记之后得以入内。

中国原子能科学研究院建成于1950年，应国家核能研究之需而生。在这里，中国一代代核科技工作者潜心研究实验，创造出了中国核领域多项“第一”：第一座反应堆、第一台加速器、第一台中子晶体谱仪等。这里因此被誉为中国核工业的“摇篮”。

早晨9时已是工作时间，院内的主干道上很少看到人，宽敞的院区显得尤为空旷。除了几幢新建筑之外，院子大多是两三层的红砖老楼，掩映在高高的白杨树下，透着岁月的沧桑感。沿着路前行到一个丁字路口，一抬头，只见一座高耸的冷却塔矗立在不远处，其顶部散发的水蒸气随风缓缓飘散。

在工作人员的带领下，我们来到一座红砖小楼前，一位身着浅灰色工装的中年工程师迎了上来：“您好，我是‘49-2’池式供暖反应堆主任张亚东。”

“从外表看，这与普通楼房没什么区别，我们的核反应堆就在里面。”张亚东介绍说。在他的引导下，我们进入通往反应堆楼房的入口处，一名武警在哨岗区的监视器前执勤，他紧盯着监视器，认真核对每名来访者的信息。张亚东介绍说，这里的监控摄像头功能强大，甚至能捕捉来访者细微表情变化，一旦发现异常，比如变得愤怒、狰狞，就会立刻报警。我们通过审查和安检之后，终于进入“49-2”堆的楼前。

华丽转身 使命光荣

步入楼内，首先映入眼帘的是门廊设置的一组展板，通过老照片展示“49-2”堆建造过程和发展历史。

“毛主席当年说，就是要一万年，也要搞出来核潜艇！中国核能科研人员深受鼓舞和激励，在北京西南燕山脚下的大石河河滩掀起了建设热潮。几年后，一座先进的核科研平台建成并投入使用。1964年12月20日，中国完全自主设计、建造的第一座反应堆‘49-2’堆首次达到临界。”张亚东介绍起来如数家珍。他说，“49-2”被誉为“功勋堆”，为材料辐照和核潜艇研发打下坚实的基础。

如今，“49-2”堆承担多项功能，包括同位素生产、核电厂仪器仪表考验、结构材料、燃料的辐照考验。“除此之外，‘49-2’堆还有一项重要使命：进行核能供暖演示验证。”张亚东说。

2017年3月，有关方面明确由中国原子能科学研究院牵头，利用“49-2”堆开展池式堆城市供热可行性研究及演示。11月，国家核安全局批准“49-2”池式反应堆低温供热改造方案。之后开展了供热工况的热工水力校核、供热回路及其控制系统改造等工作，新增独立封闭的二回路，通过二回路的二次换热后将热量接入供热管网，为研究院内两座办公楼及“49-2”堆厂房供热。当年11月28日，改造后的“49-2”堆实现安全供热168小时，标志着中国利用核能替代传统燃煤进行供热取得重大进展。

以“49-2”堆供热实验取得成功为契机，中国核工业集团有限公司正式对外发布了其自主研发的400兆瓦低温供热核反应堆“燕龙”，这是目前世界在研最大的供热核反应堆，每年可替代32万吨燃煤，减少烟尘排放3200吨，灰渣10万吨，采暖价与传统燃煤锅炉相当。

我们注意到，在门廊墙壁的暖气片上挂着“核能供暖”

张亚东讲解“49-2”堆相关实验运行参数。　芮钰雅摄

字样标识，“这个暖气片和传统锅炉供暖所用的是通用的，锅炉和核反应堆两个热源可随时切换。”张亚东说。

多重防护 安全无虞

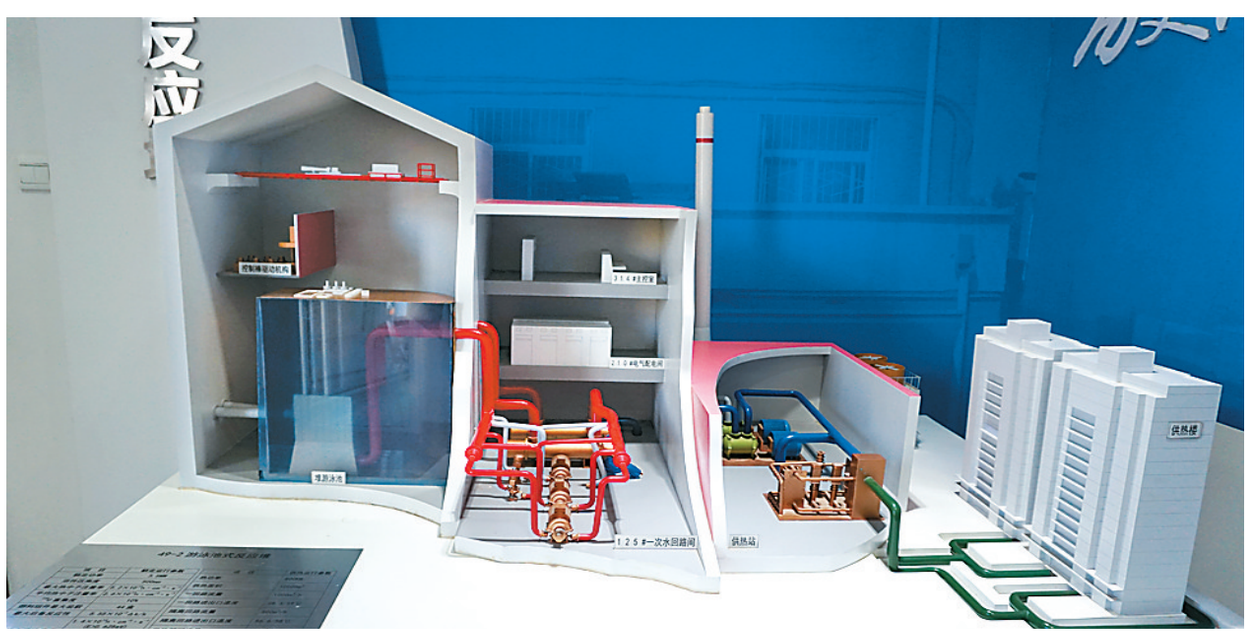
走过门廊，进入一个大厅，对着门的是一堵半弧形墙体，张亚东介绍说，这是面屏蔽墙，其后就是“49-2”堆。改造后的“49-2”堆是池式供热反应堆，张亚东对此解释说，所谓“池式”，顾名思义就是将堆芯放置于水池内，安放“49-2”堆的水池是一个横截面8平方米、深7.8米的半椭圆池。与深井池不同的是，“49-2”堆所在的池是从地平面而起建造的，高度达两层楼。

穿过大厅，沿楼梯拾级而上，到达第三层。那里是一个套间，进门的外间是小展厅，陈列着改造后的“49-2”堆模型，里间是反应堆主控室。在小展厅内，张亚东结合模型向我们介绍反应堆的构造和运行原理。他说，“49-2”堆主要由堆芯、堆池、冷却回路、控制系统等组成。堆芯是核燃料产生能量的地方，控制棒驱动机构操控着反应堆的起、停和功率。堆芯完全浸没于水池中，堆芯内的核燃料发生裂变，池内的水一方面充当冷却剂降低温度，另一方面能够屏蔽中子，保证了安全性。即使发生事故，堆芯也不会暴露，不会导致放射性物质泄漏，确保安全。张亚东强调，核能供热的安全性还体现在热量传递的三个回路设计上：第一回路把反应堆里的热量带出来，通过换热器，以物理换热方式传递到第二回路，以同样的方式再传递到第三回路，之后通过公共热网进入千家万户。“3个回路之间，只传递热量不传递介质，从而保障安全。”张亚东说。

展厅陈列着“49-2”堆芯模型，张亚东介绍说，堆本体高约0.8米，堆芯半米见方，中间有44个方形孔，其中插入由16或15根燃料棒组成的组件盒。这些食指粗细的燃料棒长半米多，内部填充着铀235，外为铝包壳。在里间的主控室，我们看到，在约20平方米的房间里放着7台立式控制柜，控制柜上是反应堆各个环节的调节开关、参数仪表和控制屏。2名班组人员坐在电脑监视器和反应堆控制系统前，实时监测各项数据。张亚东告诉我们，由于泳池式反应堆结构简单，仅需要少量人员就可完成运行控制、安全监控、指挥调度和应急处置等日常工作。

从主控室出来，我们实地参观了改造后的“49-2”堆第二回路管道。它位于一层紧邻堆池后面一个10来平方米的房间内，经过隔热处理的管道纵横其间，多种阀门和压力仪表随处可见。张亚东结合现场设施，介绍水在回路中循环情况，特别结合换热器的位置讲解热量物理传导过程和确保安全的措施。

探访结束了，离开反应堆大楼，一阵凛冽的风吹过，顿觉寒意逼人，我下意识地裹紧了大衣。生产电力是民用核能传统利用方式，相对而言，核能供暖则鲜为人知。在京城西南的燕山脚下，运行半个世纪的中国“功勋堆”悄然间又立新功，圆满完成了核能供暖演示与验证。我们期待，不久的将来，核能可以取代燃煤锅炉，让人们在严冬里感受温暖的同时，看到更蓝的天。



“49-2”池式供热堆模型剖面图。　芮钰雅摄

张武昌作

时刻响应 国家召唤

欧阳自远

1952年，我高中毕业，正面临专业方向选择。国家号召青年学子投身矿产资源和能源开发，去唤醒沉睡的高山，让它们献出无尽的宝藏。我被深深打动了，决心报考地质。虽然没有遵从父母让我学医的意愿，但还是获得了他们的理解与支持。之后，我考入北京地质学院矿产勘探系。

经过4年学习，我积累了矿产勘探和地球科学专业知识。1957年，苏联发射了第一颗人造地球卫星，拉开了人类空间时代的帷幕，这给了我极大震撼，觉得如果用人造卫星找矿效率会大大提高。1958年，美国和苏联为了冷战的需要，开始月球探测，展开了一场最激烈的经济、科技和军事的竞争。

我坚信，中国一定会走进空间时代，决心为此做好准备。从1958年开始，我系统分析研究美苏探测月球的计划、方案、目标、实施步骤和探测成果，紧密结合中国实际思考中国空间探索之路并把研究陨石作为空间探索的起点，与志同道合的专家们一起逐步把研究拓展至宇宙尘埃等领域。

1993年，中国载人航天立项，我们认为，中国有能力开展月球探测，请求国家组织专家评审论证。

相关部门要求我们首先进行“中国开展月球探测的必要性与可行性研究”，从1994年至2003年，经过多次论证，该项目得到专家一致同意和支持。

2003年，由孙家栋和我来负责编写“中国首次月球探测立项报告”。2004年1月，国务院批准了我们的第一期绕月探测立项，并正式命名为“嫦娥工程”，我被任命为中国月球探测工程科学应用首席科学家。

中国的月球探测工程相继成功发射了嫦娥一号、嫦娥二号，实现了绕月探测，嫦娥三号和嫦娥四号实施月球正面和月球背面的落月探测，取得了一系列创新性探测成果，在一部分领域处于国际领先地位。

下一步，我们要完成月球取样返回，去探测火星、木星和木星系统、小行星和彗星以及进行行星际的穿越探测和建设月球科研基地。中国已经进入了深空探测的新时代。

除了空间领域之外，我还承担过一项特别重大的任务。由于我在中国科技大学进修核物理一年，在中国科学院原子能研究所做实验半年，当时国防科委的领导找我谈话，通知我要承担一项国家的重大任务。他说：“根据你学习的基础，首先要解决一个问题，中国地下核试验区要选择一个地方做，选场。第二，关于地下核试验的过程和影响，你们要做模拟实验。最重要的一个问题，地下核试验以后，放射性物质不能泄漏更不能污染当地的地下水，不然我们将成为历史的罪人。”

接受这样艰巨的任务后，我们老老实实、踏踏实实地开展工作。经过数年努力，我们选定的地下核试验场通过论证，各项实验取得丰硕成果，防止各种放射性污染的措施也十分有效，提交了十几份研究技术报告，经1969年中国的第一次地下核试验验证，获得圆满成功。

习近平总书记提出：“科技创新、科学普及是实现创新发展的两翼，要把科学普及放在与科技创新同等重要的位置。”我觉得做好科学研究是我的天职，提高广大公众的科学素质也是我义不容辞的责任。

我自己有一个统计，从2008年至2018年间，我一共进行了对各类型公众的科普报告617场，现场听众35.3万人；平均每年举行的科普演讲报告56场，平均每年的现场听众3.2万多人。

我尝试将科普报告与新媒体结合，一场报告的网上听众约20万—80万人次。这些年，我一共撰写和主编的科普书籍12部，撰写和接受媒体采访的科普文章300多篇。

我自己感到很幸运，是国家的重大需求引导和培育我成长，也塑造了我的人生，我内心充满了感恩的情怀，感谢我们伟大的祖国！

我虽然已经84岁了，但我还会加倍努力，为中华民族的伟大复兴和建设科技强国作出贡献。我们要仰望星空，脚踏实地，上下求索，实现梦想！

（作者为中科院院士，中国月球探测工程即“嫦娥工程”首席科学家。）

科技名家笔谈

栏目由本版携手科学出版社推出