

中国核能发出第一度电50周年之际，记者走进中国核动力研究设计院

探秘中国核电技术之源

本报记者 韩维正

1970年8月30日13时，中国西南大山深处的一个山沟里，突然爆发出一阵欢呼。中国第一任核潜艇总设计师、“中国核潜艇之父”彭士禄随即拨通了周恩来总理的电话。他按捺住激动的心情向周总理报告：中国第一艘核潜艇陆上模式堆实现满功率运行，发出了中国第一度核电，从此，中国人可以造自己的核动力装置了。

核动力装置是核潜艇的“心脏”，只有掌握了核动力技术的国家，才敢说掌握了核潜艇制造技术。而当核动力技术“军转民”，就变成了核电站。

各国核电站反应堆的技术，往往都来源于对核潜艇动力堆的开发。

如今，中国的核电技术已处于世界领先水平，“华龙一号”成为令人自豪的“国家名片”，但很多人仍然对中国核电的技术源流不甚清楚。在中国核能发出第一度电50周年之际，记者走进位于四川成都的中核集团中国核动力研究设计院（下称核动力院），考察中国核电技术的发展脉络。就是从这里，中国核动力事业一步步从无到有、从弱到强，走过了50年峥嵘岁月。

核潜艇：中国核动力的技术源头

中国核潜艇的诞生，起源于聂荣臻元帅的一份绝密报告。

1954年至1957年，美国、苏联的第一艘核潜艇先后下水服役。看到核潜艇在战略核反击中的巨大威慑作用，中国军方高层和科学家们陷入了沉思。1958年6月，聂帅以国防科委的名义起草了一份绝密报告，向党中央建议研制中国自己的核潜艇。很快，报告得到了毛泽东、周恩来、朱德等主要领导人的批复支持。

同年10月，中国组建了一个34人的访苏代表团，希望“老大哥”能对中国的核潜艇项目予以援助。然而，苏方要么避实就虚，要么闪烁其辞，甚至不承认自己拥有核潜艇。对此，中央下了决心：“苏联不援助，我们就自己干”、“核潜艇，一万年也要搞出来”。

没有外援，缺少技术资料，自己干谈何容易。中国第一任核动力总工程师赵仁恺回忆，设计组的研究工作就是从自学美国格拉斯登的《原子核反应堆工程原理》和苏联的《原子核动力装置》两本教科书开始的。

这种情况下，中国专家也在想各种办法从苏联专家处“挤牛奶”。1959年9月，中国核动力早期领导人孟戈非偶然从《参考消息》上看到，赫鲁晓夫亲口承认苏联拥有核潜艇，孟戈非与赵仁恺等人抓住机会，约谈苏联专家组组长沃尔比约夫，向他询问有关反应堆和核潜艇方面的问题。意识到中苏关系即将破裂的沃尔比约夫没有拒绝，向赵仁恺介绍了核动力研发的一般程序、反应堆物理、热工设计和反应堆启动时可能出现的问题，以及建造陆上模式堆的必要性。这次出于专家个人行为的口头讲解，解答了赵仁恺在设计中的一些疑惑，也坚定了他对中方自主设计方案的信心。

1965年，随着国民经济好转和第一颗原子弹试爆成功，中央决定在四川境内的山区建造核潜艇陆上模式堆，工程基地代号“909”。为了配合建造陆上模式堆，一批大型核动力试验装置也在这里建立起来，这使得909基地成为中国唯一的核动力试验研究基地。同时在“三线”建设的方针下，中国核动力的技术骨干力量也开始从北京向四川转移。许多科研人员、大学生接到通知后义无反顾来到这里。一位当年的技术人员回忆道：“909在什么地方？不知道。到909干什么？不知道。但我知道，祖国需要我。”

就这样，在西南大山深处，聚集起一支号称“八千会战大军”的队伍。没有计算机，就轮流使用手摇计算机验算物理公式；没有装卸设备，就发动群众用手推、拉、顶、吊等方法把大型零部件“盘”进厂房……经过广大技术人员和工程人员5年的艰苦奋战，1970年8月，核潜艇陆上模式堆满功率运行；1974年8月，中国第一艘核潜艇“长征一号”正式服役。

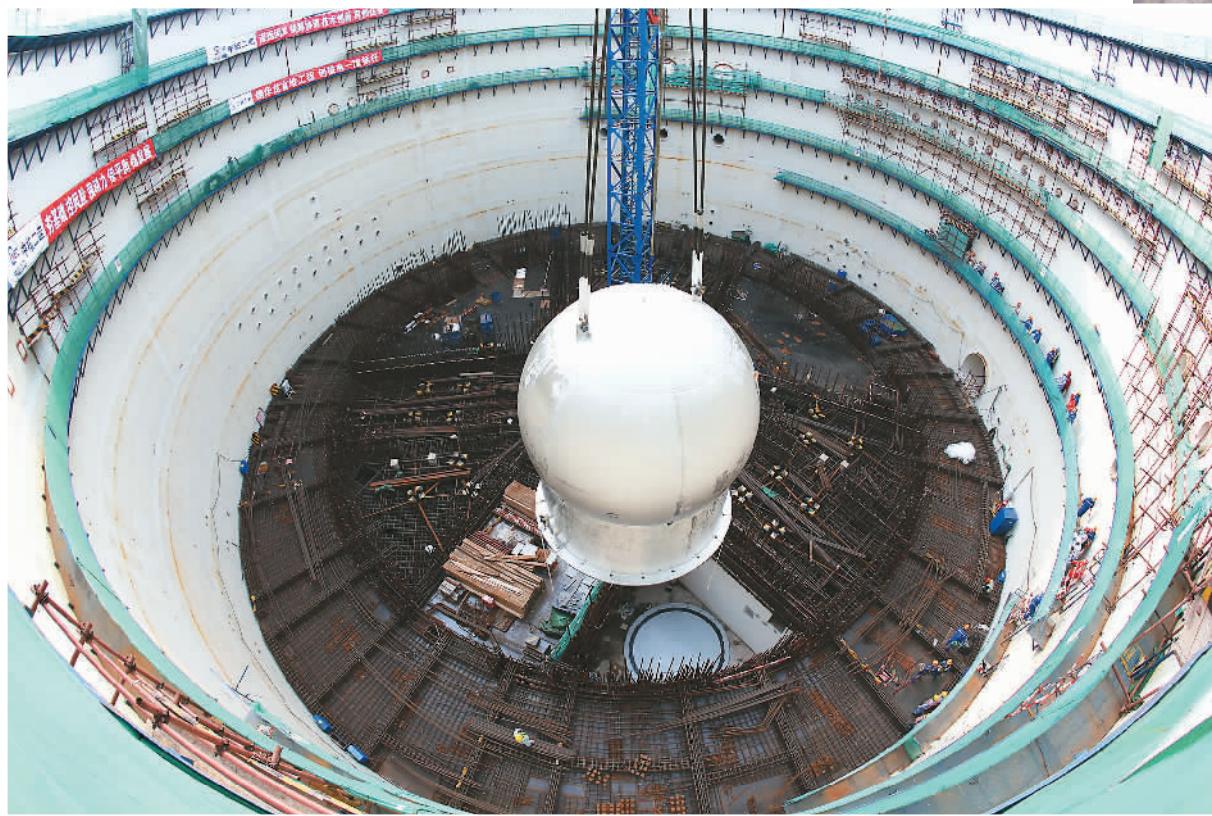
“一万年太久，只争朝夕！”独立自主研制的中国核潜艇动力装置，没有让共和国等太久。

秦山二期：掌握二代改进技术的里程碑

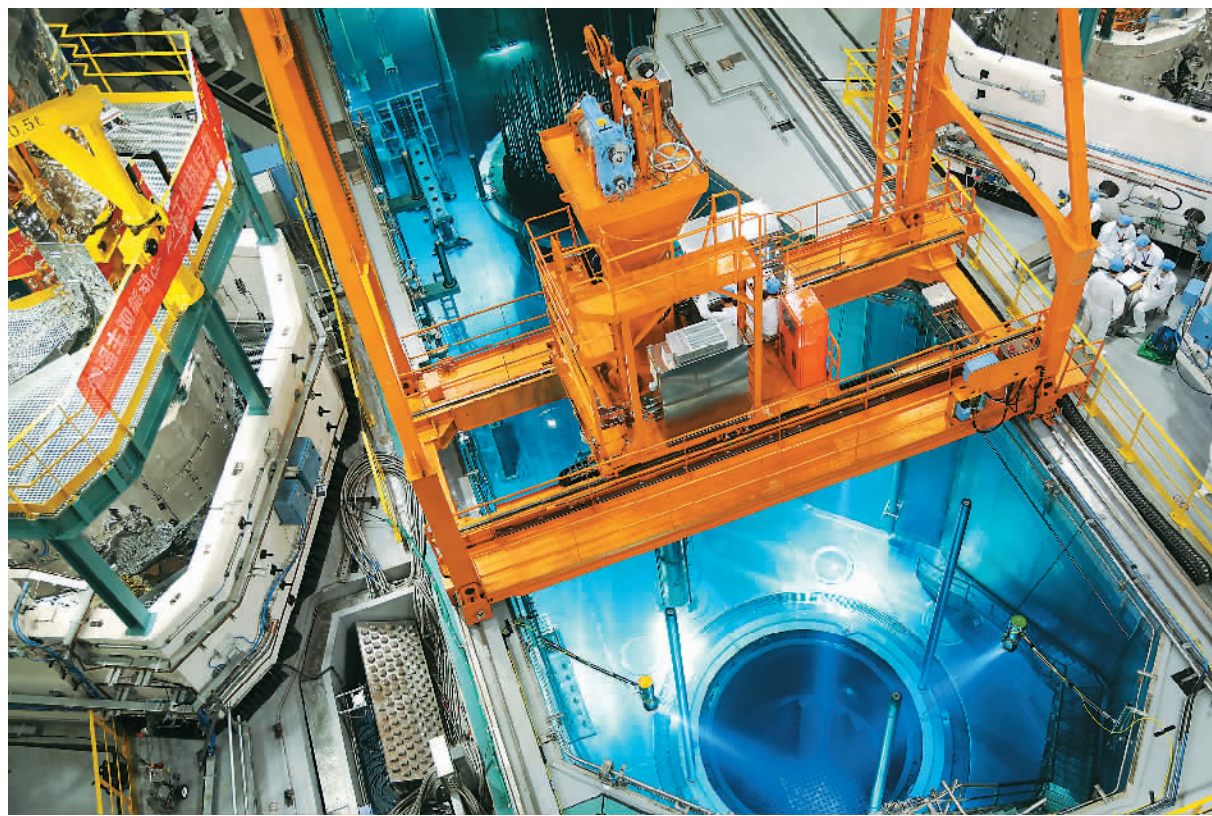
改革开放后，国家作出发展核电站的决定。此时，中国自主研发核潜艇动力装置的技术经验就发挥了作用。有了这份纯靠自己磨炼出的“基本功”，再想向上学习更先进的技术时，就会变得更加容易和透彻。

当时中国核电发展有两条路线：除了秦山一期核电站的自主设计路线之外，中国还和法国合作建设了大亚湾核电站，走“引进消化吸收”的路线。于是，当时法国人更为先进的二代改进型压水堆M310，就成了中国核动力人首先学习、吸收的对象。

这个任务，由核动力院在为秦山二期设计反应堆系统时完成了。当时，法国M310是三个回路90万千瓦，而秦山二期则要设计为两个回路60万千瓦。为了适应中方的需求，核动力院科研人员决定把M310的堆芯燃料组件从157盒减少到121盒。这可不是随意拿走几盒燃料



2016年4月22日，“华龙一号”全球首堆中核集团福清5号机组核岛三台安注箱吊装完成。中核集团供图



2020年9月4日下午，中国自主三代核电“华龙一号”全球首堆中核集团福清核电5号机组开始装料，预计将于年底实现并网发电。张涛摄

组件那么简单，核反应堆牵一发而动全身，这个变化意味着反应堆的堆芯系统必须重新设计。

“敢动反应堆的堆芯，就如同敢动芯片的电路一样；敢提出自己的堆芯，就如同敢提出自己的芯片电路一样。”在北京大学政府管理学院教授路风看来，核动力院人之所以敢于“魔改”法国M310，就是源于自主开发核潜艇动力堆以来的能力积累，而在四川不断完善核动力试验基地，也使得中国人有能力对自己的新改动、新设计进行验证。

通过秦山二期的“折腾”，中国实现了对法国M310机组核心技术的吸收，也对百万千瓦级机组的设计心里有了数。这时，核动力院的技术人员把眼光投向了未来。

“堆芯如果受制于外国，自主核电就无从谈起。”1997年，时任中国核动力院副院长的张森如与20多名科研人员创造性地提出了“177堆芯”的概念：在法国的157堆芯方案上，再增加20组燃料，不仅发电功率提高，安全性也上升。

“177堆芯”是我国三代核电区别于国外技术的最



▲1969年，第一代核潜艇陆上模式堆的压力容器正式安装就位。容器外面贴着一幅字：“中国人民有志气、有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。”中国核动力院供图

主要特点，也是“华龙一号”的灵魂，相当于给汽车搭载了发动机。”中核集团华龙一号副总设计师刘昌文告诉记者，发动机变化，车身也得随之变化，反应堆的一系列主要设备都需要重新自主设计。

刘昌文讲了一个蒸汽发生器的故事：在“华龙一号”早期的设计过程中，本打算向国外公司购买这项设备。然而在谈判中对方坚持要求：如果将来使用这种蒸汽发生器的核电技术用于出口，必须经过其同意。“相当于给车买一个轮胎，结果轮胎商不允许这辆车出口。”刘昌文说，在场的中国专家都非常生气，“从那时起，我们更加坚定了研发完全自主知识产权的三代核电技术的决心”。

于是，经过近20年的潜心研发，“华龙”终于腾飞。据悉，位于福清的“华龙一号”全球首堆，预计在今年年底实现并网发电。

玲龙一号：“华龙”之后的新名片

“华龙一号”当然不是中国核电发展的终点。在掌握三代核电技术之后，中国核电的下一步路在何方？

中核集团玲龙一号副总设计师秦忠给记者指出了三个方向：一、在保证安全基础上，提高当前反应堆的经济性，降低发电成本，这个任务将由“华龙”后续工程完成。二、开发具有固有安全性的“四代核电技术”，目前仍在试验研发中。三、瞄准核能非电市场，开发核电小型堆，核动力院研发的“玲龙一号”，就是国内三代核电小堆的代表。

核能不仅可以用来发电，还有城市供热、工业供汽、海水淡化等多种用途。后者统称为核能的“非电应用”。“核能非电市场比电力市场大得多。”秦忠告诉记者，前者规模大约是后者的1.6倍左右。面对巨大的市场需求，单一发展大型核电机组已不能完全适应核能广泛应用的要求。基于此，一种具有更高的安全性、适宜的经济性、更短的建造周期，革新型的模块小型堆应运而生。

“我们的小型堆应急计划区半径小于500米，也就是说，即便在最坏的情况下，小堆的影响面积也只有方圆500米，不会对更远的地区造成影响。”秦忠说，这意味着小堆在厂址选择上更为简易灵活，过去常常困扰大型核电站的选址问题，将得到一定缓解。“这可不是简单地堆大堆‘小型化’那么简单，这是我们中国人完全正向设计的新型反应堆。”

据玲龙一号总设计师宋丹戎介绍，小堆还可应用于中小电网和区域电网，许多领土、人口较少的小国和发展中国家对此极为感兴趣。2016年4月，“玲龙一号”成为全球首个通过国际原子能机构（IAEA）通用安全审查的小型堆，更为“玲龙一号”的安全性树立了信心。如今，“华龙”“玲龙”，一大一小，差异互补，中国核电“双龙出海”的格局正在形成。

看似寻常最奇崛，成如容易却艰辛。回顾中国核电的技术源流，我们发现：以“华龙”和“玲龙”为代表的中国三代核电技术，其设计基础是秦山二期核电站，而开发秦山二期核电机组的技术能力起源于中国开发核潜艇动力堆的过程。

这告诉我们：核心技术是买不来的，那些能把引进技术“消化吸收”好的企业，往往也是那些自主开发做得好的企业。我们今天取得的成绩，是因为昨天先辈们的付出；而明天我们能走到哪里，则取决于我们今天的努力。

自研与引进的辩证法

韩维正

关于中国核电技术的技术源流，长期以来都存在不少争论。有一些声音认为，中国的核电技术其实都来源于国外，如果没有引进国外先进技术，中国就不可能研发出“华龙一号”。

这种看法之所以会产生，是因为中国核电在发展过程中，确实经历了几轮引进潮：先是大亚湾核电站引进法国二代改进型技术，后来又买过俄罗斯和加拿大的堆型，等到要发展三代核电技术时，又大举引进了美国AP1000和法国的EPR堆型……这些操作确实容易令普通读者眼花缭乱，而早年间“引进、消化、吸收”的宣传，又很容易让人以为，中国核电的每一次技术进步，都主要靠引进国外先进技术。

所以，到底中国核电是怎么发展起来的？自主研发和引进技术，分别在其中扮演什么角色？这是我此次采访最为关心的问题。

当我把问题抛给各位总工程师时，这些“老理工男”们显得很兴奋。他们找了很多生动、浅白的比喻来向我论述这种关系。其中有一个“师生比喻”给我印象最深：

在反驳“中国核电技术都来源于国外”时，有位总工程师说，我们的写字、作文可能都是语文老师教的，但难道就此可以说，我们毕业后写的小说、散文、诗歌、这些作品的知识产权都属于我们的语文老师吗？

那判断“毕业”的标准是什么呢？那位总工程师回答，如果你敢改动原有设计，并且改完确实能有优化，就证明你已经完全吃透过

门技术，可以毕业了。所以华龙一号的“177堆芯”方案就是中国核电技术已经“出师”和“自立门户”的一个明证，这是国际上都毋庸置疑的。

但另一位总工也补充道，并不是所有学生都可以“毕业”，放眼世界，其实能“毕业”的是少数。他说，从美、法等“核电老师”处引进核电站的国家多了去了，为什么最后只有中国能青出于蓝？不是因为中国人比别国人聪明，而是因为中国人自己干过。就像班里同学轮流传阅优等生的卷子，如果你压根儿没对试题进行过思考，就只能把优等生的答案

抄下来、背下来，等下次题目稍微一换，就不会了。但如果你本身就把试题认真答过一遍，虽然可能一时答不出来，但当你看到优等生的答案时，会有豁然开朗之感，甚至能从他的答案中总结出他的学习方法化为己用。前者引进的只是产品，后者引进的才是技术。决定二者区别的，在于你自己的积累和内功，而这个东西是买不来、引进不来的，只能靠自己干出来。

所以，针对“没有国外技术就没有华龙一号”的说法，这位总工程师认为，就算没有对国外技术的借鉴，中国核电的水平也会逐渐

达到这个水准，只不过会慢很多很多。他这就好像做数学题，用笨办法，慢慢算，大概终究也是能做出来的。但如果学到了几个公式定理，可能马上就做出来了。引进国外先进技术，可以看作是对中国核电起到了加速的作用，让我们可以踩在前人经验的肩膀上大步前进，而不用再把已经证明过的公式定理重新证明一次。

至此，自主研发与开放引进的辩证关系已经逐渐清晰：既不能放弃自研，坐等引进，那会让我们“长不大”；也不能躲进小楼，闭门造车，那会让我们“跑不快”。在自力更生的基础上博采众长，才是中国核电乃至一切工业发展的真正秘诀。

记者手记