

## 中国核电40年

## 低头有勇气 抬头靠实力

本报记者 韩维正

一个自力更生 一个引进吸收  
秦山、大亚湾 双星闪耀

1978年，百废待兴的中国小心翼翼地打开了大门。这年5月，从来没有出过国的国务院副总理谷牧，带团去西欧五国考察访问。这是新中国成立之后，中央向西方国家派出的第一个政府经济代表团。这支队伍之中，就有时任广东省委书记（当时设有第一书记）、常务副省长的王全国。

在法国考察过核电站后，那不大的设备和拥有的巨大能量，给王全国留下了深刻的印象。紧锁的眉宇间，一个在广东建立核电站的想法油然而生，并且再也挥不去。

然而，刚刚打开国门的中国不仅缺电，还更缺钱。引进一个核电站的成本在40亿美元左右，但1978年全国的外汇储备总共只有1.67亿美元。怎么办？

王全国充分发挥特区的政策优势，拉上同样电力紧缺的香港中华电力公司，双方共同出资10%，剩下的90%向国外贷款，最后发的电大部分卖给香港，以换取外汇还贷。这一构思巧妙的方案被时人形象地称为“借钱买鸡、借鸡生蛋、卖蛋还钱”。

这个方案一旦通过，大亚湾将成为当时中国最大的吸引外资项目，这也不可避免地引起了许多争议。王全国带领广东的同志反复做工作，甚至说：“如果中央批准了这个项目，我愿意辞去省委书记职务，专干核电站。”

终于，1982年12月，国务院正式决定在广东建设大亚湾核电站，引进法国较为先进的90万千瓦压水堆M310机型，这是中国大陆第一座大型商用核电站。1987年8月，大亚湾核电站一号机组开工建设，1994年5月建成投入商业运行。

然而，伟大事业的道路从来不是一帆风顺的，大亚湾的蓬勃发展，却差点让中国核电事业的另一颗明珠——秦山核电站半途而废。这也多少折射出改革开放的中国在探索中走过的曲折历程。

时任国务院副总理的张爱萍将军，长期从事中国国防科技工业的领导工作，在他的传记《从战争中走来》中，记载了1981年10月的一次国务院常务会议。在那次会议上，由于要引进大亚湾核电站，不少人建议把中国自主设计的秦山核电站项目下马，理由是“技术落后”“功率太小”“避免浪费”。但张爱萍将军坚决不同意，他说：“大亚湾是引进，秦山是自己干，自己干和引进，并不排斥。即使要引进，自己搞过，谈判时，地位就大不一样了。同时也有利于消化……把鼻子拴在外国人身上，肯定是不行的。”

最终，在张爱萍将军和其他中央领导的大力推动下，1982年8月，国家决定在浙江海盐建设中国大陆第一座核电站秦山核电站。1985年3月秦山核电站正式开工建设，1994年4月正式投入商业运行。

尽管秦山核电站机组的功率只有30万千瓦，但完全由中国自行设计和建造，设备国产化率达到70%，技术源头正是中国自己的核潜艇。

秦山与大亚湾，是中国核电的“双子星”。一个自力更生，一个引进吸收，两条路线相辅相成、殊途同归，中国核电事业从此起步。中核集团科技委原副主任郑庆云，曾形象地把秦山和大亚湾比作中国核电的“种子、摇篮、老母鸡”。正是分别在这两座核电站的基础上，锻造出了中国核电的两支主力军——中核集团与中广核集团。

一半来自中核 一半来自中广核  
华龙一号是怎样炼成的

有了秦山、大亚湾之后，中国核电人走上了“一面面向外学，一面练内功”的自我升级之路。

中广核至今仍流传着“黄金人”的故事，说的是当年公司克服各种困难，筹集了1亿法郎，将千挑万选出的100多位年轻人送往欧洲学习，让他们取回现代核电站管理、运营技术的“真经”。由于平均每人花费100万法郎，在当时够买50公斤黄金，因而这批学员被称为“黄金人”。

同时，中核与中广核也分别开建秦山二期和岭澳一期等核电站，对大亚湾的法国核电技术进行消化吸收。中核集团借鉴大亚湾M310三环路反应堆设计，大胆创新，设计出堆功率为60万千瓦的两环路核蒸汽供应系统，至此掌握了二代核电的核心技术。中广核也通过“翻建+改进”策略，实现了对大亚湾技术的吸收。资深核电专家、中核集团计划局原副总工程师温鸿钧后来总结道：“通过这两大工程实践，我国基本具备了二代改进机型产业化发展的条件。”

正是凭借“一面面向外学，一面练内功”，中核与中广核在2013年前后，分别开发出了拥有自主知识产权的三代核电技术：ACP1000和ACPR1000+。这两个型号都是百万千瓦级的机组，其技术性能与安全性能早已超越它们当年的老师M310。

40年前，面对巨大的技术落差，中国核电人常常被迫放下身段，向外国工程师虚心求教。那时的核电技术人员中流传着一句话：“低头要有勇气，抬头要靠实力。”

2018年10月15日，针对美国政府对我国核电行业的“禁令”，中国核电官方平台平静地表示：“华龙一号属于中国自主知识产权的三代核电技术，设备

国产化率超过85%，进口设备基本没有美国提供的产品，即使有，我们认为也不存在唯一性，所以此次禁令不会对华龙一号的建设产生影响。”

这是一个40年前无法想象的回应。看似云淡风轻的回应，却凸显了中国核电从无到有，从弱到强的发展历程，也彰显了一代代中国核电人付出青春，咬牙苦干的奋斗历程。



3月21日，国内第二台“华龙一号”（中核集团福清核电6号机组）完成反应堆穹顶吊装。  
新华社记者 魏培全摄



10月31日，由哈电重装备研制的全球首台球床模块式高温气冷堆蒸汽发生器在河北秦皇岛通过验收。  
新华社记者 杨世尧摄

然而，虽然两家公司都取得骄人成果，但长期以来中国核电技术路线的不统一，始终是一个问题。国家能源局前局长张国宝就曾表示，多种技术路线使得本来就基础薄弱的中国核电，“技术和人才更加分散了”。在国际上，无论是美国的AP1000、法国的EPR，还是俄罗斯的VVER，都是一个国家一种技术路线，这样有利于减少内耗，促进出口。

于是2013年3月，新任国家能源局局长上任后的一个月，就提出将中核ACP1000和中广核ACPR1000+技术进行融合的设计。并于4月召集双方领导专门召开协调会，商议将两家技术进行合并。

据资深核电专家、中核集团科技委前常委张禄庆回忆，虽然双方都在大亚湾M310技术的基础上发展而来，但两种技术的堆芯、汽轮机、安全系统等多种技术指标都已存在较大差异。以何种方式合作，融合后的各项技术指标分别采用谁家的技术，一度成为双方争论的焦点。

最终，在最大程度结合各自特点优势的基础上，双方于2014年初达成一致意见：以“统一的技术路线，统一的标准，一个华龙、一面旗帜”精神为指导，对外统一使用“华龙一号”的品牌。在技术上，堆芯采用中核“177组燃料组件堆芯”方案，专设安全系统则采用中广核“三个实体隔离的安全系列”方案。

就这样，一半来自中核、一半来自中广核的“华龙一号”诞生了。这是中国唯一具有完整自主知识产权的三代核电品牌。与当前三代主流机型相比，“华龙一号”凭借良好的安全性与超高的性价比，具有明显竞争力。不仅出口到巴基斯坦，也打入了老牌核电强国英国的市场，成为继高铁之后又一张亮丽的“国家名片”。

根据国际惯例，在出口核电站之前，本国内通常应有同一型号的参考电站。“如果国内都不建，凭什么要求人家信任你？”中国核能行业协会专家委副主任赵成昆对此解释道。如今，出口巴基斯坦和英国项目的参考电站，正分别在福清与防城港有条不紊地建设中，预计2020-2021年投入商用。

一边三代并跑 一边四代领跑  
“不会熔毁的反应堆”来了

如果说“华龙一号”担负的任务，是让中国拥有能跟世界主流三代核电技术“并跑”的商业产品，那么由清华大学核研院负责的高温气冷堆（HTR-PM）建设，则意在实现中国核电在第四代核电技术上的“领跑”。

那么与第三代技术相比，第四代核电技术有何特点？据清华大学核能与新能源研究院院长张作义介绍，作为四代核电技术的高温气冷堆是一种近乎理想的安全的核反应堆，在严重事故下，包括丧失所有冷却能力的情况下，不采取任何人为和机器的干预，依靠材料本身的能力，就能够保证反应堆放射性不会熔毁，不会大量外泄。业内人士将其称为“固有安全性”。

中国在高温气冷堆的研制上走上了发达国家的前面。1995年6月，一台10兆瓦高温气冷实验堆（HTR-10）在清华大学核研院动工兴建，到2000年底成功实现临界，2002年底达到满功率运行。

世界权威杂志《核工程与设计》在2002年专刊社论中指出：“事实上，HTR-10是世界上第一个有理由被称为‘固有安全’的反应堆。因此，这是第四代反应堆的第一个——它不仅存在于纸上，而且存在于现实中。”2012年12月9日，山东荣成石岛湾高温气冷堆示范工程开工建设。

与“华龙一号”“国和一号”（CAP1400）等三代核电自主品牌“引进消化吸收再创新”的发展路径不同，高温气冷堆是名副其实的“中国创造”。张作义指出：

“关于第四代核能技术，国际上美国、德国、日本、俄罗斯都做了大量的研究，但只做到方案研究，而我们国家是世界上第一个实际建造电站的。我们没有‘洋拐棍’，没有外国人现成的东西可以引进消化吸收的，没有，都是自己独立克服。”

张作义回忆，福布斯杂志在2016年11月发表的评论文章说，中国关于高温气冷堆的报告“获得了全场持久的掌声，响起了只有在足球场上才能听到的喝彩声”。

2018年10月31日，由哈电集团（秦皇岛）重型装备有限公司承建的蒸汽发生器通过出厂验收，标志着高温气冷堆示范工程关键设备的研发制造难题已全面攻克。对此，哈电重装备党委书记、董事长王守革自豪地说：“这台高温气冷堆核蒸汽发生器的研制成功，从设计、材料、工艺各个环节都实现了完全的自主创新，为我国核电在‘一带一路’中顺利走出去开辟了一条全新道路，可以完全不受人制约。”

前中国核建党组书记、董事长王寿君表示，目前，中国已经系统掌握核电高温气冷堆全部技术，95%以上的设备可以实现国产化，在国际上处于领先地位。据中央电视台9月的报道，荣成高温气冷堆示范工程计划于2019年底前后建成发电。

## 做标准者有市场

王萌

领世界先进水平。

然而，与发达国家相比，中国标准国际化工作还存在较大差距。中国标准国际认可度不高，与中国贸易大国地位不相称。在一些重点领域、重大战略中，标准化手段运用得还不够。

一个鲜明的例子是，在交通基础设施建设方面，由于国际市场对中国标准的了解、不认可，使得国内企业在打入海外市场时，不得不采用其他国家的标准。不同国家繁杂混乱的标准体系，不仅增加了设计单位的工作量，更有可能导致设计考虑不周，设计

不达标、设计成果得不到核审通过等问题。

标准是世界的通用语言，正是有了标准，不同地区的经贸活动才成为可能，不同语言的人们才能享受相同的产品和服务。伴随着经济全球化深入发展，标准化在便利经贸往来、支撑产业发展、促进科技进步、规范社会治理中的作用日益凸显。而在经济学家口中，标准之争被称为“赢者通吃”。谁制定标准，谁就拥有话语权，谁掌握标准，谁就占据制高点。

标准是走向国际市场的“通行证”，得标准者得市场。当今世界，产业、技术和创

新发展日新月异，人工智能、大数据、云计算等为代表的新一代信息技术产业发展迅速。国际的技术研发和专利布局尚未完成，全球性的技术标准尚在形成中。对企业而言，“一流企业做产品，二流企业做品牌，三流企业做标准”，标准决定质量，有什么样的标准就有什么样的质量；对产业而言，标准化是构建产业链的关键，是产业成熟的必经之路；对国家而言，标准是国际经济科技竞争的“制高点”，标准化水平的高低，反映了一个国家产业核心竞争力乃至综合实力的强弱。

近几年，中国大力推进标准化事业改革

发展。近日，工信部发布《工业和信息化部工作服务于“一带一路”建设的实施意见》，明确指出，到2020年，与“一带一路”沿线国家共同制定国际标准80项以上，成体系部署标准外文版研制计划400项以上。届时，中国标准与国际标准和各国标准体系兼容水平将不断提高，中国品牌效益将明显提升。

世界需要标准协同发展，标准促进世界互联互通。我们要加强国际标准制定，推进标准的海外应用。同时，鼓励行业领军企业或骨干企业走出去的同时，把更多中国标准带出国门，发挥国家、行业、企业的合力。

品牌论