

历经多年自主研发，“华龙一号”踏上出海之旅 核能利用，中国方案走向世界

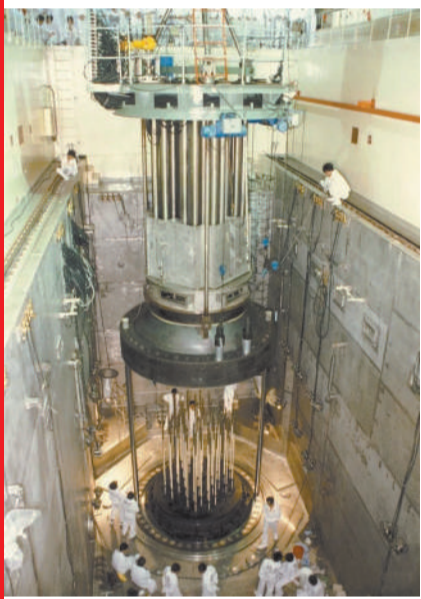
本报记者 陈瑜

运行当班主控值长王日清按动电钮，秦山一期30万千瓦级核电机组成功并网发电，1991年12月15日，中国大陆核电实现了从无到有的突破。

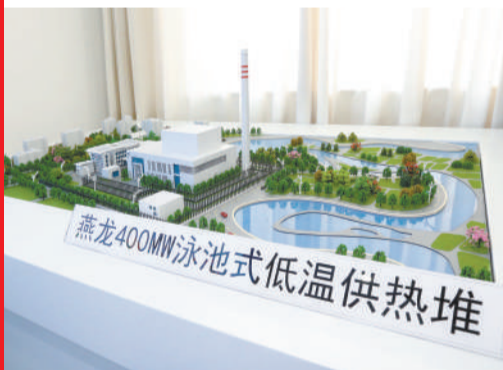
伴随着改革开放的大潮，我国商用核电在引进消化吸收国外先进技术的同时，始终坚持自主创新、打造自主核电技术的发展之路。

“党的十一届三中全会后，随着全党工作重点的转移，中央对核工业实行战略调整，从以军为主转向军民结合，推动核工业投入国民经济建设主战场。”中国核能行业协会专家委员会委员郑玉辉总结，40年来，我国开辟了核能和平利用的新局面，取得了世人瞩目的成就。

光影档案



1988年，正在吊装过程中的秦山一期反应堆压力容器。来源：网络



2007年，中核集团发布自主研发可实现区域供热的燕龙泳池式低温供热堆。



建设中的“华龙一号”机组福清核电现场。

跻身世界核电大国行列

早在1970年，周恩来总理就提出：从长远来看，要解决上海和华东地区用电问题，要靠核电。

1974年3月31日，人民大会堂新疆厅，我国核潜艇第一任总设计师彭士禄、我国大陆第一座核电站的总设计师欧阳予拿出大量设计图纸，外加一个有机玻璃制作的压水堆模型，向周恩来、邓小平、叶剑英、李先念、谷牧等中央领导人汇报。

30万千瓦压水堆建设方案和设计任务书在这次中央专门委员会上获批，并以周恩来总理最先提出建设核电站的日子——1970年2月8日命名，称为“728工程”。

虽然被批准，但中国核电发展之路并非坦途。

与同期“引进”的大亚湾核电站相比，立足自力更生的“728工程”是否必要的争论不断，甚至堆型确定后，还面临下马的可能。

幸运的是，通过自己建造实践掌握技术、培养人才的方向与决策没有被放弃。1982年8月19日，“728工程”正式上马，同年正式命名为秦山核电站。

上世纪80年代初，100多个科研单位、7个设计机构、11个施工单位，加上全国585家制造厂，来自西北、西南等核基地的核工业大军开始向秦山集结，由二机部统一归口。

中国核工业第二次创业的宏伟篇章就此开启，“九堆绕秦山”的壮美图卷就此展开。

彼时秦山脚下是一片海涂，核工业建设者在边调迁、边安家、边施工中完成了120万立方米土石方的开采和搬运任务。秦山核电站的全部技术图纸都是中国人自己设计和绘制，横向垒起来，长度足有1公里。

1991年12月15日，秦山一期30万千瓦级核电机组成功并网发电，我国大陆核电实现从零到一的突破。

截至2018年11月30日，我国大陆在运核电机组42台，装机容量4177万千瓦，位列世界第三；在建核电机组15台，装机容量1690万千瓦，已经多年保持世界第一。按照规划，2020年我国核电运行装机容量达到5800万千瓦，在建达到3000万千瓦以上。

“我国全面掌握了压水堆、重水堆、高温气冷堆、快堆等多种堆型，30万、60万、100万、170万千瓦等不同功率的核电建造技术，具备同时开工30台以上核电机组的建设能力。”郑玉辉总结，从无到有，从小到大，我国核电从适度发展、积极发展到安全高效发展，已经跻身世界核电大国行列。

从“二代”向“三代”的技术跨越

虽然起步较晚，通过自主创新和引进、消化、吸收、再创新，我国较快掌握了世界先进核电技术。

在上世纪八十年代引进法国M310技术的基础上，通过持续的技术改进，我国研发成功CPR1000、CPI1000二代改进型堆型，并实现了批量化建设，为核电快速发展作出了重要贡献。

2006年，我国决定从美国西屋公司引进AP1000技术，建设第三代核电站。AP1000技术的最大特点是采用了“非能动安全系统”。

今年9月21日，中核集团旗下三门核电1号机组顺利完成168小时满功率连续运行考核，机组具备投入商业运行条件，这也是全球首台具备商运条件的AP1000核电机组。

作为国家重大科技专项支持的自主三代CAP1400核电项目，通过引进、消化、吸收和再创新，已完成型号研发和工程设计，具备开工建设条件。

当全球在建的三代核电机组相继陷入“泥潭”，我国自主研发的三代核电“华龙一号”成功打破了核电领域“首堆必拖”的魔咒。

2015年5月，“华龙一号”全球首堆示范项目——中核集团福清核电5号机组开工，去年提前15天精准完成吊装。

“作为首堆示范工程，工程的设计方案固化和装备制造是影响工程的两大风险领域。中核集团目前已经有力量化解了上述两大风险，有信心在2020年建成华龙一号全球首堆。”中核集团“华龙一号”总设计师、中国核电工程有限公司副总经理兼总工程师邢继近日在回答记者提问时表示，2019年是“华龙一号”首堆建设的关键之年，将由设备安装阶段转为调试阶段。

郑玉辉认为，就在建规模和发展前景而言，我国已成为全球三代核电发展的中心，具备了从“核电大国”向“核电强国”迈进的条件。

核电“走出去”上升为国家战略

随着我国核电规模化发展，核电“走出去”上升为国家战略。

2014年8月，一场评审会对进一步推进“华龙一号”国内落地和国外市场开发起到了关键性作用。

评审会由国家能源局、国家核安全局牵头，43位院士专家在对“华龙一号”总体技术方案进行评审后一致认为，“华龙一号”是目前国内可以出口的自主品牌的核电机组。

这次评审会，意味着历经30多年自主研发，中核集团和中广核集团合作开发的“华龙一号”得到了国家权威的认可。

“有了‘华龙一号’，中国核电走出去将从‘借船出海’走向‘造船出海’。”时任国家发改委副主任、国家能源局局长吴新雄在评审会上说。

“华龙一号”共计有6万多台套设备，生产、配套、组装涉及上海、四川等28个省市、5300多家企业，近20万人参与了项目研制和建设，装备国产化率可达80%以上。

在核电“走出去”战略和“一带一路”倡议推动下，我国核电国际合作稳步推进。

采用“华龙一号”技术的巴基斯坦卡拉奇K2、K3项目于2015年、2016年先后开工，其中K2项目于2017年10月成功实现穹顶吊装，已全面进入安装阶段。当年11月，中核集团与巴基斯坦原子能委员会签署恰希玛核电5号机组商务合同，这是我国“华龙一号”成功“走出去”的第3台核电机组，也是我国向巴基斯坦出口的第7台核电机组。

2016年9月，中广核集团与法国电力公司签署了英国新建核电项目一揽子合作协议，由中法共同投资建设的英国欣克利角C项目实质性启动；“华龙一号”在英国的通用设计审查（GDA）获得英国政府受理，已正式进入第三阶段；拟采用“华龙一号”技术的布拉德维尔B项目进入厂址勘察阶段。国家电投集团与西屋公司合作，采用AP1000/CAP1400技术，联合开发土耳其第三核电项目，已经签订项目可研备忘录。

此外，我国还与阿根廷、罗马尼亚、南非、沙特等国分别签署有关协议，积极推进核电和相关领域合作。

亲历

克服水土不服 让中国核设施扎根非洲

本报记者 陈瑜

1991年底，我国大陆第一座30万千瓦核电站秦山核电站并网发电，15天后，中巴两国在北京签订了合作建设巴基斯坦恰希玛核电站的协议，我国从此跨入了核电站出口国的行列。

事实上，我国核技术走出去的时间更早。

1982年，北非地中海边上的明珠——阿尔及利亚提出向我国购买研究堆的需求。

经当时中核总领导权衡，熟悉101重水研究堆的历史和现状的中国原子能科学研究院（以下简称原子能院）被确定为援阿重水研究堆反应堆工艺设计单位。我国第一个大型核设施出口工程——871工程由此应运而生。



原子能院高级工程师张文惠回忆往昔

1991年，作为技术骨干的原子能院高级工程师张文惠担任了871工程调试队运行队长，和同事一起前往阿尔及利亚，为其建造15MW多用途重水研究堆——比林堆，又名和平堆。

今年80岁的张文惠回忆，当时调试人员一般不能外出，活动范围就是用铁丝网围出来的厂区和生活区。那里的生活条件也很艰苦，因为路途远，货物运输周期长，一般货物都要走3个月。除了生活上的困难，尽管有国内的101堆作为参照，工程在推进过程中也时常水土不服。

101重水研究堆是前苏联于1958年向我国提供的一座7000千瓦的重水型实验性反应堆。但在比林堆建造中，技术人员却设定了新目标：以101堆为原型，比101堆更先进。通过调研、实验，技术人员将工艺管插座改成了铝材，从技术上彻底解决101堆的冷却剂“漏流”问题。通过改进，比林堆功率比参照堆功率提高了50%，额定功率达到15MW。

1992年，871工程竣工。这项工程为我国赢得了良好的国际信誉，被誉为“南南合作”的典范，并于1995年获得国家科技进步一等奖。从引进苏联技术，到出口“中国方案”，在反应堆的发展之路上，我国并没有墨守成规、一成不变、止步不前，而是敢想、敢改、敢做，走出了一条真正属于自己的创新之路。

由于部分系统、部件、设备老化，2014年12月，中核集团中原公司与阿尔及利亚核研究中心正式签署了比林核研究中心一二期升级改造合同。2015年4月，中核集团又与阿尔及利亚原子能署签署了《中国核工业集团公司与阿尔及利亚原子能署核能全面战略合作协议》，中阿核能合作续写新篇章。

作为历史上我国核电项目出口海外的第一站，巴基斯坦也是中国自主三代核电技术“华龙一号”落户海外的第一站。

电力不足是巴基斯坦的“老大难”问题，当地人民长期处在拉电、限电的生活中，到了夏天更是困苦不堪，在卡拉奇街头甚至出现了抢购冰块的现象。据媒体报道，巴基斯坦夏季用电缺口有时可达5000兆瓦，不仅生产用电不能满足，居民生活用电也时常难以保障。夏季用电高峰期间，首都伊斯兰堡每天停电时间可达12个小时，在大部分农村地区，每天停电可达18个小时以上。

2017年11月，中核集团与巴基斯坦原子能委员会签署恰希玛核电5号机组商务合同，这是我国“华龙一号”成功“走出去”的第3台核电机组，也是我国向巴基斯坦出口的第7台核电机组。

巴基斯坦核电项目的成功建设经验让“华龙一号”走得更稳、更为海外市场所认可。

“随着改革开放的深入，中国与世界一道共同发展。核工业的发展也是如此。”在中核集团近日举行的改革开放40周年新闻发布会上，中核集团董事长余剑锋说，作为唯一实现批量出口核电机组和核设施的中国企业，中核集团坚持核电“走出去”，服务世界，促进和平利用核能，已成功向阿尔及利亚、巴基斯坦等7国出口了7台核电机组、7座研究堆和1台次临界装置。在核能领域，中核集团将持续推动以“华龙一号”为代表的海外项目本地化采购，积极协助“一带一路”沿线国家工业体系建设，促进当地经济发展、创造就业岗位、增进人民福祉。预计未来5年中核集团海外本地化采购总金额将超过36亿美元，涉及南亚、中东、南美等多个国家和地区。“统计，未来5年中核集团进口采购和海外业务本地化采购整体需求将超过120亿美元。”

（本版图片除标注外由受访者供图）