

# Development and Prospects of Nuclear Power in China

Jie Wei

CLP Huayuan Nuclear Power Engineering Technology Co., Ltd., Yantai Branch, Yantai, Shandong, 265100, China

## Abstract

The history and current technical development level of nuclear power in China is discussed, especially two milestones of China's nuclear power development with Project "728" and "Hualong One" are described, and the future development trend of nuclear power in China is looks forward.

## Keywords

nuclear power; engineering technology; energy

# 中国核电的发展与展望

魏杰

中电华元核电工程有限公司烟台分公司, 中国·山东 烟台 265100

## 摘要

论文论述了中国核电的发展历史和目前的技术水平,特别揭示了中国核电发展的“七二八”工程和“华龙一号”工程两个里程碑,展望了未来的核电发展趋势。

## 关键词

核电; 工程技术; 能源

## 1 核电的发展历史与现状

核能来源于核反应时原子核裂变释放的能量。1942年美国芝加哥大学建成世界上第一座核反应堆,产生可控的核裂变链式反应。随后,这种能量被应用于军事和民用领域。1951年美国首次实现核能发电,1954年,苏联建成世界上第一座装机容量为5MW的核电站,英、美等国也紧跟其后。由于核浓缩技术的发展,到1966年,核电的成本已低于火力发电的成本,核电真正迈入实用阶段。世界核电至今已有60年的发展历史,核电成为全球整体供电量的重要组成部分,在保障能源安全、改善环境质量等方面发挥了重要作用。

目前,火力发电仍然是中国电力供应的主导,不仅消耗了大量的不可再生化石能源,还造成了严重的空气污染。随着中国对能源需求的不断增加和化石燃料消费所带来的气候变化以及资源短缺问题,催生了中国的核能发电科学研究和产业化。至2020年12月,中国在役的核电站为49座,2021

年1月随着“华龙一号”首堆福建福清3号机组并网商业运行,目前中国在役的核电站达到50座。2021年在建的核电站5所,在役和在建的装机总量约为7000万kW。2020年核电发电量占全中国发电量的4.98%。但远低于全球核电15%的占比。中国的核电发展空间很大,以核电逐步造福人民的发展模式,必将成为碳达峰碳中和的最佳选项。

从核电的发展初期,到目前的核电应用状况,大致可以划分为4个阶段。

第一代是20世纪50年代开发的原型堆核电技术;

第二代是20世纪下半叶发展的大型商用核电技术;

第三代是世纪之交前后二十年发展起来的轻水堆核电技术;

第四代是当前及今后待开发的核电技术。

中国“华龙一号”是代表第三代核电技术水平的经典之作,可以相信继“华龙一号”之后,中国核电科技人员和建设者在创新中发展第四代核电技术,并将在不远的明天造福人民。

**【作者简介】**魏杰(1993-),男,中国安徽淮南人,本科学历,助理工程师,从事核电设备检修研究。

## 2 中国核电的发展成就

经过 50 多年的发展,中国已成为全球少数几个拥有完整核电工业体系的国家之一,无论是核电技术研发、工程设计、装备制造、建筑安装还是管理运营、燃料保障等,都可以支撑未来规模发展的需要。当前,提倡碳达峰碳中和的经济发展理念,中国核电发展在迎接机遇的同时,也面临着一些发展不充分、不平衡、不协调的问题与挑战。尤其要注意发展核电仍然要以安全为前提,踏实进取,保证核电安全高效高质量发展<sup>[1]</sup>。

### 2.1 “七二八”核电工程

华东地区特别是上海区域是中国经济发展的龙头,能源成为制约区域经济发展的瓶颈。周恩来在听取上海缺电制约经济发展的汇报后,1970年2月8日,在国务院有关会上指出,上海的工业产值占全国的1/6,但既没有石油,也没有煤炭。其他国家都在搞核电站,中国上海也要建设核电站,并批示二机部不能光是爆炸部,要和平利用核能搞核电站。由此诞生以七二八为代号的秦山核电站工程建设<sup>[2]</sup>。该电站是中国第一座自己研究、设计和建造的核电站,一期工程额定发电功率 30 万 kW,采用国际上成熟的压水型反应堆,1984 年破土动工,1991 年并网发电,设计寿命 30 年。“七二八”工程建设,展现了老一辈核电机人“自力更生、艰苦奋斗、科学严谨、敢为人先、团结协作,为国争光”的作风和精神。例如,作为参研单位的华东化工学院主要承担熔盐纯化工艺流程的研究,如氟化铍、氟化锂、四氟化钍、四氟化铀的制备、提纯和元素分析,以及这些化合物的熔点、沸点、密度、黏度、蒸气压、导热系数、热容等性状参数的测定,并对熔盐纯化所需的设备的构造、流程提出具体方案。主要工作放在华东化工学院的简陋的无机大楼实验室内“秘密”进行。“七二八”工程,是中国和平利用核能的重要里程碑,它的建成使中国成了世界上第 7 个能够自主设计、自主建造核电厂的国家。为纪念“七二八”工程 50 周年,上海市相关单位专门组织了一场别开生面的座谈会;中国中央电视台专门制作了五集纪录片《“七二八”工程揭秘》,以此宣扬中国第一代核电机人的不朽功绩。

### 2.2 “华龙一号”第三代核电技术结晶

随着中国经济改革开放的进一步发展,核电事业在核电机

人的不懈的创新奋中,从核电技术的引进、消化到创新,创造了多个新型的核电新技术及其装备,带动了一批装备制造业企业。

1999 年 7 月,中核集团启动了百万千瓦级压水堆核电厂概念设计。历经十余年的艰辛,老中青三代中核人的共同努力,研发出了具有完整自主知识产权的三代压水堆核电品牌——ACP1000。

中广核自 2005 年以来,同样在法国引进的百万千瓦级堆型——M310 型的基础上,也开展了自主研发的历程,通过多项技术改进,从 CPR1000 发展到 CPR1000+ 技术,再到最终的 ACPR1000+ 技术。

2013 年 4 月 25 日,中国国家能源局主持召开了自主创新三代核电技术合作协调会,中广核和中核同意在前期两集团分别研发的 ACPR1000+ 和 ACP1000 的基础上,联合开发“华龙一号”<sup>[3]</sup>。依托中广核防城港核电站 3、4 号机组和中核福清 5、6 号机组建设“华龙一号”中国示范项目。

“华龙一号”作为中国核电“走出去”的主打品牌,“华龙一号”提出的“能动和非能动相结合”的安全设计理念,采用 177 个燃料组件的反应堆堆芯、多重冗余的安全系统、单堆布置、双层安全壳,全面平衡贯彻了“纵深防御”的设计原则。特别是日本的核电事故之后,“华龙一号”设置了完善的严重事故预防和缓解措施,其安全指标和技术性能达到了国际三代核电技术的先进水平。

“华龙一号”凝聚了中国核电建设者的智慧和心血,实现了先进性和成熟性的统一、安全性和经济性的平衡、能动与非能动的结合。“华龙一号”是中国在 50 余年核电科研、设计、制造、建设和运行经验基础上,研发设计的具有完全自主知识产权的三代核电技术。

2021 年 1 月 30 日,全球第一台“华龙一号”核电机组——中核集团福建福清核电 5 号机组投入商业运行。2021 年 3 月 18 日,“华龙一号”核电机组海外首堆——巴基斯坦卡拉奇 2 号机组首次并网成功。这是中国自主三代核电“华龙一号”海外建设取得的重大里程碑。目前共有 12 座“华龙一号”机组在建,占中国现有三代核电半数以上,基本奠定了以“华龙一号”为主的第三代核电技术路线。

## 3 核电的未来发展

### 3.1 开发模块化,多用途中小型反应堆。

模块化主要的考虑是把一个大型的电站分散成若干个小

型的模块,每个模块都包括一个反应堆堆芯,与此同时,其他一些设备可以公用,如几个模块共用一个安全壳,或者涡轮机乃至整个二回路。这样的做的优势在于在供应可观发电量的同时,大大提升了堆芯的安全性。另外,分散成若干模块也更有利于功率调节,在电网功率需求产生变化时,小型堆比大型堆能够更容易的调节功率。今后发展的海上浮动堆,实质就是模块化小堆。让核电从大变小,这会明显增加核电的商业应用场景。

### 3.2 尽可能减少核废料

核废料泛指在核燃料生产、加工和核反应堆用过的不再需要的并具有放射性的废料。反应堆的核燃料是由铀矿石加工而成,在自然状态下,铀的放射性并不算高,短时间的接触几乎不会对人体造成放射性损伤,而使用过后核废料则具有高强度的放射性,几分钟的接触就可以导致死亡。

加强核燃料循环后段科技自主创新,在掌握关键技术的基础上加快推进商用后处理工作,通过引进与自主研发相结合,掌握大型乏燃料后处理及再循环工程的标准设计技术。

### 3.3 核电联合制氢

氢是清洁能源,广泛应用于氢燃料电池的交通工具、炼油和焊接及金属加工等领域。但氢属于二次能源,需要以一次能源来制备。以可持续方式大规模生产氢是实现氢广泛利用的前提。

高温气冷堆是中国自主研发的第四代先进核能技术,能够提供高温工艺热,是目前最理想的高温制氢的核反应堆。作为第四代核电技术,将核反应堆耦合热化学循环制氢装置,以核反应堆提供的高温作为热源,使水在 $800^{\circ}\text{C}\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 下催化热分解,从而制取氢和氧。核电联产氢能是实现节约资源和保护环境的有效途径,通过核能制氢,有利于推动中国形成绿色发展方式和生活方式,为百姓创造良好生产生活环境,为全球生态安全作出贡献。

## 4 结语

核电是安全、经济、高效的清洁能源,是人类应对气候变化的重要能源选择。经过50余年努力,中国自主三代核电技术跻身世界前列,积累了世界一流的核电设计、制造、建设、调试、运行的全套经验,形成了世界首屈一指的产业发展能力。面向十四五及未来较长一段时期,应坚持安全有序的发展方针,加快发展核电和核能的综合利用,全方位落实碳达峰碳中和国家重大战略部署。

## 参考文献

- [1] 高树超. 创新融合促进中国核电事业安全高效发展 [J]. 中国核电, 2019(2):120-123
- [2] 陆宪良. “728工程”上海大会战 [J]. 档案春秋, 2013(1):12-15.
- [3] 孙浩, 鲁昕. 核“能”制氢你知道吗? [J]. 国家电网报, 2019-03-19.