

致力项目开发 点燃发展引擎

——多种核能与核技术新项目开发概要

毛晓明

(中国核工业集团中原对外工程有限公司,北京 100191)

[摘要] 作为中国核工程开发海外市场的旗舰,中原对外工程有限公司将项目开发作为发展引擎,在百万千瓦级核电项目开发、研究性核反应堆项目开发、多功能医院中子照射器开发研究及多用途模块式小型反应堆项目开发工作中不懈努力,为和平利用核能、核技术做出贡献。

[关键词] 百万千瓦级核电项目;研究性核反应堆;医院中子照射器;模块式小型反应堆

[中图分类号] TL3 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2012)08-0014-03

1 前言

1983年,为执行中国与阿尔及利亚核能合作协议,经国务院批准,中国核工业集团中原对外工程公司(以下简称中原)成立了。20多年来,中原在海外市场坚韧经营,经过了阿尔及利亚研究堆、巴基斯坦恰希玛核电站等多个大型海外核工程的磨练,由小到大,由弱到强,已经成长为我国核工程海外市场开发建设的一艘旗舰。

中原深知项目开发对公司发展的重要性,更深知只有不断进行技术创新与管理提升,与业主坚持不懈的沟通和协调,才能使公司在国际核工程市场中占有一席之地,才能使公司有持续发展的不竭动力。

2 百万千瓦级核电项目开发

中原正在开发的阿根廷核电项目,是百万千瓦级核电站,采用中国核工业集团拥有自主知识产权的第三代ACP1000核电技术。

ACP1000核电技术是在国内已建多座百万千瓦级压水堆核电厂的基础上,尽量利用成熟的工艺和技术,通过系统的重组和改进,加强了严重事故的预防和缓解措施而形成的,其技术改进包括:通过增

设能动与非能动相结合的反应堆堆腔注入冷却水来实现堆芯熔融物在压力容器内滞留、非能动安全壳热量排出、反应堆冷却剂系统二次侧非能动热量导出等手段,进一步完善了严重事故的预防和缓解措施;进行了安全改进,电缆敷设实现彻底实体隔离,比已建核电厂采用防火包覆更为有效,可以有效降低因内部火灾导致的安全系统共模失效问题;提高了抗震设计基准,采用了双层安全壳并考虑安全相关构筑物防商用飞机冲撞等设计,有效提高了应对极端外部事件的能力;考虑了国家核安全局在日本福岛事件后提出的核电厂安全改进要求,改进了严重事故工况下应急指挥中心和运行支持中心的可居留性和可用性、水压试验泵的可靠性,设置了移动电源等临时供电措施和移动泵等附加供水措施等,满足我国最新核安全法规的要求。

中原积极参与了阿根廷百万千瓦级核电项目投标工作。2010年底,ACP1000核电技术方案通过了阿根廷核电公司资格预审,并于2011年初成立了驻阿核电工作组,长期在阿工作,保持与阿根廷计划与投资部、原子能委员会和阿根廷核电公司的密切联系。我方已向阿根廷核电公司提交阿根廷第四座核电厂融资建议书、潜在海外市场分析报告、联合设计建议书、合资公司法律建议书、技术转让建议书、燃

[收稿日期] 2012-05-31

[作者简介] 毛晓明(1952—),男,山西夏县人,研究员级高级工程师,长期从事国际核项目的开发研究;E-mail: maoxiaoming@czec.com.cn

料供应和制造建议书。目前,中原正密切跟踪,适时调整投标策略,等待阿方招标开始,力争取得突破。

3 研究性核反应堆项目开发

阿尔及利亚比林核研究中心项目一、二期工程是我国第一座大型核设施出口项目,包括一座热功率 15 MW 的重水研究堆(和平堆)及其附属设施,核燃料元件和材料辐照后检验热室,高温高压、低温低压两个燃料元件考验回路。该重水堆是以中国原子能科学研究院研究性重水堆为参照而设计建造的,1992 年 7 月达到额定功率。该重水堆主要进行中子辐照试验,设置了多个辐照孔道用于基础科学研究、材料试验、各种放射性同位素和放射性药物生产以及人员培训。

2010 年 4 月,中原应阿方要求,组织专家组赴阿对该重水堆进行复验考察。结果表明,反应堆主要部件状态良好,可继续运行 15~18 年。

为了满足利用研究堆连续生产商用裂变钼和其他放射性同位素,阿方提出:对和平堆及其附属设施进行现代化改造,并新建三期放射性同位素及放射性药物生产和研究设施、放射性废物处理和贮存等设施以及建造重水研究堆燃料元件中间工厂,使比林核研究中心成为一个完整的核研究中心。

中原积极推进,已与阿方进行了多轮磋商,并于 2011 年 12 月签订了一、二期工程升级改造,三期工程,燃料加工厂一揽子合作框架协议。目前阿政府已经批准了该框架协议,商务谈判进入议事日程。

4 多功能医院中子照射器的开发研究

20 世纪末,中原核专家周永茂院士自行探索以微型堆(即具有固有安全性,无人运行看管特色的低功率研究堆)为基础,开发出利用中子俘获疗法原理治疗癌症的医院中子照射器总体框架设计。它是一种低浓度($<20\% \text{ }^{235}\text{U}$) UO_2 堆芯,轻水冷却与慢化,金属铍全反射的水池内容器型中子源,配设两条不同中子能域的照射束,能够提供两名患者同时临床治疗的微型、安全、经济、高效的先进治癌装置,此装置获得 2006 年国家知识产权局颁发的“医院中子照射器”发明专利授权证书(第 286288 号)。2010 年初建成了由北京凯佰特科技有限公司投资,中原公司与中国原子能科学研究院共建的医院中子照射器 I 型机。该机位于北京市房山区,其堆功率为 30 kW,配设两条中子束,一条为热中子束,用作

生物医疗研究与浅表人体肿瘤的治疗;另一条为超热中子束,可用于人体较深癌疾的临床治疗。该机为世界上首座能建设在医院内,并由医师自行操控的中子俘获疗法专用治癌装置。现正由北京、苏州、西安各家有关医院进行人的癌患临床前照射的各种准备性实验研究。

在医院中子照射器 I 型机问世的同时,周永茂院士带领中原研发团队继续从事医院中子照射器升级换代的开发研究,开立了医院中子照射器 II 型机可行性研究专题。II 型机预期将在中子束的强度与性能,品质与数量,以及照射治疗的适应性与空间布局上有较大提升。现在公司正与西北核技术研究所协同,对设计方案进行优化评估。

此外,为拓展中子俘获疗法的应用领域与范围,周永茂院士拟订了《核医疗船布局》的可行性总体框架设计研究专题,并正与中国舰船研究设计中心和中国原子能科学研究院协同开发。该定名为“希望之星号”的远洋航轮为一艘万吨级医疗船,配备完善的中子俘获疗法专用的医院中子照射器以及高端的常规放疗机,计划用作以疑难乳腺癌为主的国际巡回靠岸治疗服务。预期于 2013 年做出船内布局的可行性评估。

5 多用途模块式小型反应堆项目开发

中核集团多用途模块式小型堆(ACP100)是一种 100 MW 级革新型能源系统,达到了国际先进反应堆技术水平。

在设计方面,ACP100 采用了成熟的压水堆核电技术,并在此基础上通过采用“非能动”的安全系统、核蒸汽供应系统“一体化”的反应堆设计和模块式建造方式,使 ACP100 具有安全性高、建造周期短、经济性良好和应用灵活性强的特点,可满足接近人口密集区域及内陆、沿海地区对核能发电、热电联供、水电联供等多样性需求。

ACP100 应用了国际上最为先进的“非能动”安全系统。与标准核电站的安全设施相比,这种非能动的安全设计实现了事故后 72 h 内无需人为干预、无需应急柴油机等功能,使核电站的安全系数得到了更为卓越的提升。这 5 大非能动安全系统为:应急余热排出系统、应急堆芯冷却系统、自动卸压系统、安全壳氢气控制系统和安全壳冷却系统。

ACP100 的设计采用核蒸汽供应系统一体化方式,使被誉为核电站“心脏”的核蒸汽供应系统在

ACP100 的设计中集成为一个整体的反应堆模块,由反应堆压力容器、堆内构件、燃料组件、控制棒驱动机构、蒸汽发生器(16台)、主泵(4台)等设备一体化布置组成。这种模块式设计取消了主管道、消除了大的冷却剂丧失事故(loss of coolant accident, LOCA),具有固有安全性高、结构紧凑等特点。

另外,ACP100 采用的反应堆厂房地下布置方式,可以有效抵抗大型飞机撞击,并减小强震带来的危害。

目前,国内第一座采用 ACP100 技术的多用途模块式小型堆——福建莆田小堆示范工程将于 2013 年底开工建设,并预计于 2016 年正式投入商业运行。该工程由中原作为工程总承包商进行工程建设,中原已做了大量的前期工作。2010 年成立了小堆项目部;2011 年编报发布了《项目管理大纲》、

项目一级进度计划、第一罐混凝土浇筑(first concrete date, FCD)前工作综合计划等重要工程文件;2011 年 12 月 31 日,与业主签订了《工程总承包框架协议》。

6 结语

开发是发展的引擎,创新是开发的灵魂。从阿尔及利亚核研究堆、巴基斯坦恰希玛核电站的建设,到百万千瓦级核电项目、多功能医院中子照射器、多用途模块式小型反应堆项目开发,中原技术上精益求精,管理上因地制宜,使我国出口核工程的安全性、可靠性及经济性不断提高,核技术应用的广度和深度不断提升,为和平利用核能、核技术,提高中国核工业的国际影响力做出了应有的贡献。

Igniting the engine, devoting to project development

——outline of project development in nuclear energy and technology

Mao Xiaoming

(China Zhongyuan Engineering Corporation, China National Nuclear Corporation Beijing, 100191, China)

[**Abstract**] As China's nuclear industry flagship in developing overseas nuclear market, China Zhongyuan Engineering Corp., with project development as its engine, makes unremitting efforts in the development of 1 000 MWe nuclear power plants, nuclear research reactors, In-hospital nuclear irradiation and modular small-type reactor, and contributes to the peaceful use of nuclear energy and technology.

[**Keywords**] 1 000 MW nuclear power plant; nuclear research reactor; in-hospital nuclear irradiation; modular small-type reactor