



十三届全国人大一次会议  
全国政协十三届一次会议

# 新时代·预见科技

科技日报 5

2018年3月9日 星期五

特别策划

两会

## CAP1400·让中国核电『走出去』

本报记者 李艳



非能动堆芯冷却系统综合性试验设施 受访者供图

全国政协委员、中核集团董事长王寿君3月3日表示,中核集团与巴基斯坦、阿根廷、沙特、美国、加纳等国的核电合作已取得一系列新进展,中国核电正在稳步“走出去”。

中国核电之所以能够走出国门,缘于核电技术的飞速发展。

自2008年国务院常务会议审查通过《大型先进压水堆核电站重大专项总体实施方案》,到现在正好10个年头。压水堆国家科技重大专项总设计师、上

海核工程研究院院长郑明光在接受科技日报记者采访时表示,大型先进压水堆示范工程安全审查已在2016年通过,虽然开工时间还没有定,但是技术、装备、安全等各个方面的开工条件已完全具备。

CAP1400压水堆示范工程项目被认为是集创新型国家科技成果之大成的标志性工程。下一步,如果能顺利进入工程阶段并最终实现并网发电,许多领域将由此获益。郑明光表示,该工程能提供大量电能,服务缺电地区,对保障能源安全、实现低碳环保发挥

重要作用;另一方面随着项目的进一步推进,还将推动高端装备制造业能力水平的提升。这其中的影响是巨大的,未来人们能看到的不仅是中国核电要走出去,还要由此带动中国装备制造业走出去。

10年前,我国几经周折采购了美国西屋公司的AP1000核电技术。CAP1400的定位就是在引进消化吸收AP1000的基础上,实现再创新、自主知识产权和独立出口权。到今天,这些当初设立的、面临巨大挑战的目标基本实现。

### 中国核电形成面向未来的技术发展能力

10年前,与美国签下合同、引进AP1000的时候,核电界的老人们最担心的是我国的基础水平跟先进技术之间的“横沟”太大,担心是否能完整实现技术复现并创新开发出属于中国的非能动核电先进型号。

“如果说这些年我们最大的变化是什么?那就是我们更自信了。”郑明光说。

经过10年的努力,在AP1000技术的基础上,经

过产学研协同,我国200多家科研院所、大学、装备制造业等2万多人经过消化、吸收、再创新,成功研发了功率更大、安全性更高的大型先进非能动核电型号——CAP1400,成为我国真正具有自主知识产权和独立出口权的三代核电技术。

让郑明光更为信心满满的是,经过10年攻关,技术团队系统、完整地掌握了CAP1400关键技术及关键设备设计技术。同时,专项的实施构建起

了一个完整的设计研发体系和协同创新体系,包括完整的设计分析体系、设计软件体系、设计标准体系、试验验证体系、安全审评支持体系等,支撑CAP1400成为拥有完全自主知识产权与国家竞争力的核电型号,让中国核电形成面向未来的技术发展能力,为后续高质量、高水平、可持续、自主化发展提供了基础。这被认为是在一项项科研创新成果之外,重大专项技术攻关最宝贵的财富。

### 推进核动力技术应用于多个领域

官方数据显示,CAP1400项目突破了国产化标准设计、型号设计、试验验证、核电站安全评价、主设备消化吸收、关键设备超大型件研制、安全壳制造、核岛建造安装等10项关键核心技术。截至2017年底,已形成知识产权3492项,其中发明专利700项,获得中国授权专利1109项(其中发明专利250项),各类标准751份,形成新产品、新工艺、新材料、新装置等293项,新建43个试验台架,实现了我国三代核

电技术研发、工程设计、设备制造、试验验证的自主化。郑明光表示,这是多年来技术攻关的成果,这些突破和积累正是他和整个团队信心的源泉。

核电项目最重要的是什么?安全性和经济性,CAP1400正是“奔着这个去的”。CAP1400设计上满足国际最高安全标准,安全上经过完整充分的试验验证与安全审评,在多层防御的基础上系统地应用非能动和简化理念,充分考虑日本福岛核事故后的经验反馈,从

设计、工程措施和管理上预防设备疲劳、人因、环境条件变化带来的风险,确保安全。经济上,首两台机组每千瓦造价为2300美元,批量化后造价至少再降低10%,这一价格让CAP1400“走出去”的竞争力进一步提升。

未来CAP1400的发展,将毋庸置疑地推动我国先进非能动核电技术的发展,更重要的是会推动核动力技术在军民融合、空间技术、城市供热、海上供淡水供电等多种领域的应用。

### 装备国产化为“出海”奠定基础

2017年12月,随着由上海核工院、国核自仪共同实施的压水堆重大专项“核岛泵、阀、电气设备”及测量仪表研制“通过预验收,三代核电全部关键设备及材料基本实现国产化及自主化。

不少核电领域的专家都清楚,我国核电产业受制于人的“卡脖子”问题,存在于研发、设计、制造等各个领域。而其中,受材料和生产水平之限,装备无法实现国产化成为最大的瓶颈。早年间,圈里人都知道郑明光和他的团队面临的压力真不小,基础理论薄弱、人才体系不全、材料装备水平跟不上、知识

产权壁垒处处存在等等,但最大的压力却是一个设备设计出来找不到能生产的厂家。

这其中蒸汽发生器690U型管的研发生产就格外艰难,国外把相关的研究数据、关键工艺视为核心技术,对我国实行严格封锁。项目组最早想去法国采购,多次尝试都未能成功。后来,干脆横下心来自己做。一家能生产还不够,要几家都能做才行。为降低设备研制风险和同时培育良性的竞争氛围,CAP1400在研发设计的同时开展设备研制及国产化——对一些关键设备都安排两到三家厂家进行培

育,对特别重要的设备如主泵甚至采用两条技术路线并行的策略,借助于专项的支持,国内相关制造企业完成了从不会到会、从二代到三代的蜕变,装备制造能力实现了整体跨越。

中国一重原副总裁王宝忠说:“核电重大专项在实施过程中,将设计创新与装备制造相结合,使具有自主知识产权的CAP1400压力容器实现了设计结构创新化、锻件制造一体化、焊接及检测自动化的目标,锻件制造技术达到了国际领先水平,为核电装备走出去奠定了坚实的基础。”

### 科研人员有话说

## 搞核电,一不小心就“摊上大事儿”

本报记者 李艳

最近,华能石岛湾高温气冷堆示范工程2号反应堆压力容器顶盖吊装就位,准确落于反应堆压力容器主法兰面上,这一动作标志着2号反应堆核心设备部件基本安装完成,工程建设取得重大进展,具有重要里程碑意义。

对关注核电的人们来说,华能石岛湾高温气冷堆核电站的一举一动都是新闻。它是全球首座将四代核电技术成功商业化的示范项目,也是中国“十二五”获批的第一个核电项目,更是全球首座球床模块式高温气冷堆示范工程。正因为如此,负责建设运营这一项目的华能石岛湾核电团队一直被认为是肩负使命的“先锋队”。

过去的一年,这支“先锋队”遇到的挑战可真不少。

华能石岛湾核电公司总经理毛巍在接受科技日报记者采访时表示,2017年,先后遇到了设备变更、安装不符合项等情况,最终解决了蒸汽发生器和主氮风机等关键主设备制造、核燃料试制、反应堆安装等诸多意想不到的难题。这些问题哪个处理不当都是大事。

“作为产、学、研、用结合的示范项目,受工程建设施工经验不足、缺少成熟设计参考等因素影响,工程的安全质量进度和设备安装、分步调试等方面仍面临着巨大挑战。尤其是在高温气冷堆调试方面,面对如此参数的世界首堆,目前国际上尚无成熟经验可以借鉴。”毛巍说,“正因为如此,2号反应堆压力容器完成顶盖扣盖更是意义重大。”

2018年,石岛湾项目土建施工上半年就将进入收尾阶段,下半年将全力推进蒸发器等关键主设备

的到货安装。毛巍表示,越是全力攻坚,越是到了考验团队的时候,所以大家的紧张感更甚以往。他说:“我们要高效组织安装调试,下半年将全面进入‘只等蒸汽发生器’的状态,年内实现蒸汽发生器安装就位,年底完成1号反应堆压力容器顶盖扣盖,确保2号反应堆冷试。”

困难之外还有收获的喜悦。与外界认为的只负责工程建设运营工作不同,华能石岛湾团队还承担了大量的科研任务。官方数据显示,由华能石岛湾公司牵头实施国家科技重大专项高温气冷堆分项目18个科研课题,涉及设备制造、运维技术、燃料生产、运输研究等,各项研究课题均为高温气冷堆中的重要系统,直接影响高温气冷堆核电站的运行安全性及经济性,各项课题的研究,成功填补了国内多项技术空白。

### CAP1400的创新之路

目前,CAP1400项目已具备开工条件,如能进入工程阶段并实现并网发电,许多领域将获益。

常用CAP1400代表 **大型先进压水堆核电站**,它是我国 **第三代** 核电技术的代表。

C → “中国”英文单词的首字母  
A → “先进”英文单词的首字母  
P → “非能动”英文单词的首字母  
1400 → 140万千瓦等级

#### 成果展示

CAP1400不仅满足三代核电技术要求,且关键安全指标较传统核电提高100倍,符合当前最高安全标准。

- 严重事故率降低 **100倍**
- 无操纵员干预 **72小时**
- 单机组年发电量 **114亿千瓦时**
- 增加电站抗地震、外部海啸等极端自然灾害的能力
- 在电厂断电情况下,反应堆可在事故发生72小时内无须人工干预自动保证安全
- 机组利用率≥93%,年发电量114亿千瓦时
- 建造周期 **48个月**
- 单机组输出功率 **1500兆瓦**
- 设计寿命 **60年**
- 采用模块化建设、批量化建设后,核电项目建造周期可至48个月
- 电站整体和主设备寿命达60年,设备易于运行操作与维修

#### 大事记

- 2006年 引进美国西屋公司的AP1000核电技术
- 2008年 批准《大型先进压水堆核电站重大专项总体实施方案》
- 2011年 完成初步设计方案
- 2016年 示范工程通过安全审查
- 2017年 三代核电全部关键设备及材料基本实现国产化及自主化

制图:许茜

### 他山之石

## 美国核电原创力从哪里来

本报记者 李艳

10年前,美国核电发展顺风顺水,曾被认为是“摇钱树”,但后来逐步停摆,几年前时任美国总统的奥巴马宣布重新推动核电产业的发展。一系列曲折背后当然有许多复杂的原因。但必须看到的是,尽管美国核电在产业发展和建设上面临诸多困难,但是在理论创新和基础研究上一直在不断推进,有许多值得称道之处。

在技术路线上,美国主推的是压水堆和沸水堆路线。近年来,美国开发了数种先进设备的型号和技术,包括沸水堆方向的ABWR(唯一商运的三代技术)、ESBWR(三代加技术),以及AP1000等。

美国一直有较好的理论创新和基础研究体系。核电领域的基础研究,由能源部主导,各个大学和企业都参与其中,这一模式效果较好。业界普遍认为,在整个创新链条体系中,大学更适合进行理论创新,而工程建设和产业化则企业更加擅长。所以历史上核电领域的一些重要理论和技术体系都源自美国。

我国的科技重大专项很大程度上解决的是产业化的问题,比如CAP1400项目引进的是美国西屋公司的技术理念,拿到国内来进行扩功率、增加非能动系统、功能升级、设备国产化等再创新工作,但归根到底前沿性、基础性工作做得并不够,还不具备原创研发能力。

不过专家们认为凡事要有一个过程,在核领域,我国从原来的技术代际差到现在产业领域实现巨大发展,再到理论创新和基础研究走向前沿还需要一定的时间。

主 编 罗 冰  
副 编 林莉君  
责任编辑 滕继濮  
陈 萌  
许 茜