

◀ 替代能源与新能源 ▶

世界核电重启与中国的核电大国、核电强国之路

任德曦, 胡泊

(南华大学, 湖南 衡阳 421001)

摘要 福岛核泄漏事故至今已逾 5 年, 世界核电进入新一轮复苏重启, 全球核发电量从减少到回升, 核电装机容量在增加。截至 2016 年 7 月 1 日, 全球在运核电机组 444 台, 在建机组 62 台, 运行与在建机组都在增加。美、英启动建设新机组, 日本停运核电站开始恢复运行, 俄罗斯、韩国成为核电出口大国, 中、俄、印坚持推进核电建设, 一批无核电国家正在建设、计划建设或拟建核电机组。中国核电走过了一个渐进与积极发展的历程, 相继提出了“积极推进核电建设”、“安全高效发展核电”的方针。我国建成与在建核电机组 54 台, 装机容量 53613MW, 占世界核电机组总台数的 10.7%、总装机容量的 11.8%, 居世界第三位。而且对新建核电采用了最严格的安全标准, 核应急提高到更高水平。但我国核电比重较低, 要真正成为核电大国、核电强国尚需努力。要举全国之合力, 在“安全第一、质量第一”的前提下运行与建设好现有核电站, 做好“十三五”新建核电站的布点、机组选型与工程开工, 继续做好四代高温气冷堆、快堆的开发工作以及聚变堆的研究工作, 将引进的 AP1000、EPR 建设好、运行好、改进好。

关键词 核电重启 在运机组 装机容量 安全高效发展 核应急 核电强国

1 前言

2011 年 3 月发生的福岛核泄漏事故, 使全球正在复苏、延寿、增容的核电发展形势戛然而止, 开始了世界性的核电安全大检查、安全评估以及安全标准的提高、新建核电站的升级。福岛核泄漏事故至今已逾 5 年, 世界核电发展进入新一轮复苏重启。除少数国家提出减核去核电外, 几十个国家都制订了新的核电规划, 增加核发电, 十几个国家在建设新电站。全球核发电量从减少到回升, 核电装机容量在增加, 未来核电发展形势较好, 全球核电正在重启。

2 全球核电正在重启

2.1 全球核发电量从减少到回升

2015 年全球核发电量约为 2441TW·h, 约占全球总发电量的 11.5%, 高于 2012 年的 2346TW·h、占比 4%, 也略高于 2014 年的 2411TW·h, 是 2011 年后连续第三年回升(见图 1)。

2015 年全球共有 10 台新机组、总装机容量超过 9000MW。并网发电, 其中中国 8 台, 俄罗斯和韩国各 1 台。

受福岛核泄漏事故的影响, 德国关闭了 1980 年以前投运的 8 台机组; 日本所有核电机组曾全部

停运, 长达两年“零发电”, 至 2015 年 8 月才启动了川内 1 号、2 号机组发电。由此导致全球核发电量从 2010 年的 2630TW·h 降至 2011 年的 2518TW·h 和 2012 年的 2346TW·h, 2012 年核发电量比 2010 年下降了 10.80%, 减少 284×10⁶kW·h, 世界核电占总发电量的比例从 14% 下降至 11.5%。

2.2 世界核电装机容量在增加

根据世界核协会(WNA)网站提供的资料, 截至 2016 年 7 月 1 日, 全球共有 30 个国家运行着 444 台核电机组(见表 1)^[1], 14 个国家正在建设 62 台核电机组, 运行与在建机组都在增加。

① 总装机容量增加。福岛核泄漏事故后, 退役了一批机组, 增建了一批机组, 2016 年 7 月在运机组为 444 台, 总净装机容量 387.757GW, 比 2010 年 5 月(438 台机组、净装机容量 374.127GW)增加机组 6 台、装机容量 13.63GW。

② 在建核电机组增加。2016 年 7 月在建机组

作者简介: 任德曦, 南华大学经济管理学院教授、原院长, 享受政府特殊津贴, 曾参与我国核军工首批建设, 从事后处理厂与反应堆工程经济管理 20 年, 在高校从事核能经济与核电管理研究教学 30 余年, 已发表论文 160 余篇, 主编和撰写专著 7 部。

62台、装机容量 66.029GW,比 2010 年 5 月(在建机组 54 台、装机容量 56.145GW)增加机组 8 台、装机容量 9.884GW。运行与在建共增加机组 14 台、装机容量 23.514GW。

③ 新建机组技术先进,大部分为三代或二代改进型。

④ 美国 30 多年无新建核电机组,现已开工在建 4 台机组,装机 5.0GW。英国拟建新机组,替换即将退役的机组。英国准备在 6 个新厂址建设 18GW。的核电装机容量,目前运行机组 15 台,为气冷堆,净装机容量 8.88GW。

⑤ 俄罗斯已成为核电机组最大出口国。俄罗斯国家原子能公司已进入 40 多个国家市场,截至 2015 年底该公司 10 年的海外订单超过 1100 亿美元^[2]。韩国异军突起,向阿联酋出口 4 台机组,装机 5.6GW,而过去核电出口较多的美国、法国、日本、加拿大退居在后。

⑥ 14 国在建 62 台机组(66GW)中,前 5 位是中国 21 台(24GW)、俄罗斯 8 台(7.1GW)、印度 6 台(4.3GW)、阿联酋 4 台(5.6GW)、美国 4 台(5GW),五国共有 43 台机组(46GW),占总在建台数与容量的 69%和 70%。

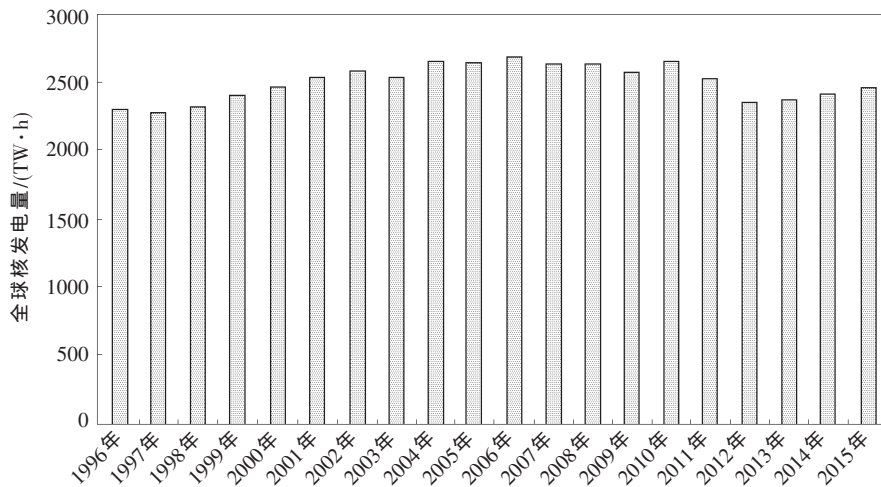


图 1 1996~2015 年全球核发电量

表 1 世界核电机组发展现状(截至 2016 年 7 月 1 日)

国家	2015年核发电量		在运机组		在建机组		计划中机组		拟建机组		2016年铀需求量/tU
	发电量/(TW·h)	占本国(世界)总发电量比例, %	数量/台	净装机容量/MW _e	数量/台	总装机容量/MW _e	数量/台	净装机容量/MW _e	数量/台	净装机容量/MW _e	
美国	798	19.5	100	100013	4	5000	18	8312	24	26000	18214
法国	419	76.3	58	63130	1	1750	0	0	1	1750	9211
日本	4.3	0.5	43	40480	3	3036	9	12947	3	4145	1728
中国	161.2	3	33	29577	21	24036	42	48330	136	156000	6072
俄罗斯	182.8	18.6	35	26053	8	7104	25	27755	23	22800	6416
韩国	157.2	31.7	25	23017	3	4200	8	11600	0	0	4926
加拿大	95.6	16.6	19	13553	0	0	2	1500	3	3800	1730
乌克兰	82.4	56.5	15	13107	0	0	2	1900	11	12000	1985
德国	86.8	14.1	8	10728	0	0	0	0	0	0	1689
英国	63.9	18.9	15	8883	0	0	4	6100	9	11800	1734
瑞典	54.5	34.3	9	8849	0	0	0	0	0	0	1471
西班牙	54.8	20.3	7	7121	0	0	0	0	0	0	1271
比利时	24.8	37.5	7	5943	0	0	0	0	0	0	1015
印度	34.6	3.5	21	5302	6	4300	24	23900	36	41600	1077

续表 1

国家	2015年核发电量		在运机组		在建机组		计划中机组		拟建机组		2016年铀 需求量/tU
	发电量/ (TW·h)	占本国(世界)总 发电量比例, %	数量/ 台	净装机容量/ MW _e	数量/ 台	总装机容量/ MW _e	数量/ 台	净装机容量/ MW _e	数量/ 台	净装机容量/ MW _e	
捷克	25.3	32.5	6	3904	0	0	2	2400	1	1200	567
瑞士	22.2	33.5	5	3333	0	0	0	0	3	4000	521
芬兰	22.3	33.7	4	2741	1	1700	1	1200	1	1500	1126
保加利亚	14.7	31.3	2	1926	0	0	1	950	0	0	327
巴西	13.9	2.8	2	1901	1	1405	0	0	4	4000	332
匈牙利	15	52.7	4	1889	0	0	2	2400	0	0	356
南非	11	4.7	2	1830	0	0	0	0	8	9600	308
斯洛伐克	14.1	55.9	4	1816	2	942	0	0	1	1200	905
阿根廷	6.5	4.8	3	1627	1	27	2	1950	2	1300	217
墨西哥	11.2	6.8	2	1600	0	0	0	0	2	2000	282
罗马尼亚	10.7	17.3	2	1310	0	0	2	1440	1	635	179
伊朗	3.2	1.3	1	915	0	0	2	2000	7	6300	178
巴基斯坦	4.3	4.4	3	725	3	1841	1	1161	0	0	273
斯洛文尼亚	5.4	38	1	696	0	0	0	0	1	1000	137
荷兰	3.9	3.7	1	485	0	0	0	0	1	1000	102
亚美尼亚	2.6	34.5	1	376	0	0	1	1060			88
阿联酋	0	0	0	0	4	5600	0	0	10	14400	0
白俄罗斯	0	0	0	0	2	2388	0	0	2	2400	0
波兰	0	0	0	0	0	0	6	6000	0	0	0
越南	0	0	0	0	0	0	4	4800	6	6700	0
土耳其	0	0	0	0	0	0	4	4800	4	4500	0
孟加拉国	0	0	0	0	0	0	2	2400	0	0	0
埃及	0	0	0	0	0	0	2	2400	2	2400	0
约旦	0	0	0	0	0	0	2	2000			0
立陶宛	0	0	0	0	0	0	1	1350	0	0	0
哈萨克斯坦	0	0	0	0	0	0	2	600	2	600	0
印尼	0	0	0	0	0	0	1	30	4	4000	0
沙特	0	0	0	0	0	0	0	0	16	17000	0
泰国	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5000	0
智利	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4400	0
马来西亚	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2000	0
以色列	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1200	0
朝鲜	0	0	0	0	0	0	0	0	1	950	0
全球总计 ^①	2441	11.5	444	387757	62	66029	172	181205	337	379200	65220 ^②

注: ①全球总计中包括中国台湾地区的6台核电机组, 装机容量为4927MW_e, 2015年核发电量为35.1TW·h, 占中国台湾地区总发电量的16.3%, 另外, 台湾地区还有2台总装机容量为2700MW_e的在建核电机组, 预计2016年台湾地区的铀需求量约为783tU; ②65220tU=7.6914tU₃O₈。

2.3 世界上核发电量最多的国家

全球核发电量最多的国家是美国, 2015年其核发电量为798TW·h, 占全球核发电总量的33%。法

国和俄罗斯的核发电量紧随其后, 分别为419TW·h和182.8TW·h。这三个国家的核发电量占全球核发电总量的57%。

2015年,核发电量占全国总发电量的份额超过10%的国家共有20个(见图2),其中法国的核电份

额最高,达76.3%;其次为乌克兰和斯洛伐克,分别为56.5%和55.9%。

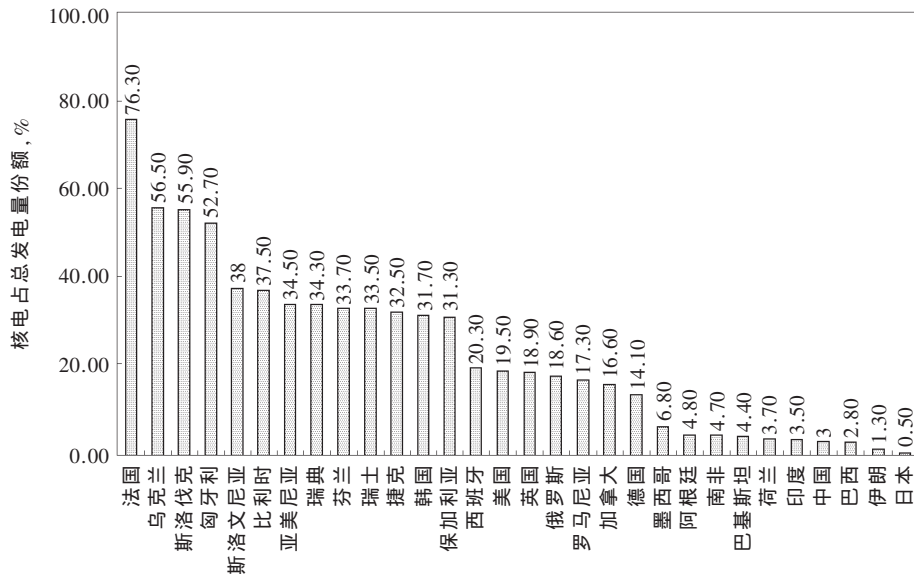


图 2 2015 年各国核电占本国总发电量份额

3 世界核电未来发展呈上升趋势

据国际能源署(IEA)2015年底的预测,全球电力装机容量到2040年将在2014年的基础上增加约4400GW_e,达到10570GW_e。低碳技术发电量将占到全球总发电量的一半。核发电量将从2013年的2478TW·h增至2040年的4606TW·h,增长86%。2015~2040年间,将有约148GW_e的核电机组退役,同期将有365GW_e的新核电容量并网发电^[3],总装机容量将达到600GW_e以上。煤电将从占比41%降至2040年的30%,到21世纪30年代初可再生能源将取代煤电成为最大的电力来源,其增长将占2040年前全球新增电力装机容量的近一半。

从表1可见,截至2016年7月1日,14个国家正在建设62台核电机组,总装机容量66.029GW_e;27个国家计划建设172台核电机组,总装机容量为181.205GW_e;34个国家拟建337台核电机组,总装机容量为379.2GW_e。如果这些在建、计划建设或拟建的机组均能完成建设,那么全球未来的核电装机容量将呈现上升趋势。

目前有17个无核电国家正在建设、计划建设或拟建核电机组:阿联酋(4台)和白俄罗斯(2台)正在建设本国首批核电机组;9个无在建机组的国家(即波兰、越南、土耳其、孟加拉国、埃及、约旦、立陶

宛、哈萨克斯坦和印度尼西亚)计划建设本国首批核电机组;6个无在建和计划建设机组的国家(即沙特、泰国、智利、马来西亚、以色列和朝鲜)拟建本国首批机组。在不久的将来,全球使用核电的国家将会增至32个甚至更多。

在可预见的未来,核电发展速度最快的国家分别是中国、俄罗斯和印度。上述三国在建、计划建设和拟建机组的数量,中国分别为21台(24.036GW_e)、42台(48.33GW_e)和136台(156GW_e),俄罗斯分别为8台(7.1GW_e)、25台(27.755GW_e)和23台(22.8GW_e),印度分别为6台(4.3GW_e)、24台(23.9GW_e)和36台(41.6GW_e)。

4 中国核电走过了一个渐进与积极发展历程

中国核电从1985年3月秦山核电站开工建设,用了30年时间,经历了探索、适度、积极、安全高效发展4个阶段。

4.1 核电探索阶段(1985年3月~1994年5月)

我国用10年的时间自主开发了秦山原型堆核电机组,引进了大亚湾二代商业堆核电站,共3台机组,建成装机容量2278MW,确定了我国压水堆核电发展技术路线。这3台机组分别是秦山核电厂(CNP300)310MW(1985年3月20日~1991年12月15日)、大亚湾核电厂(M310)2×984MW(1987年8月

7日~1994年5月6日)。

4.2 适度发展核电阶段(1996年6月2日~2005年12月)

我国又用了约10年时间,建成8台核电机组,装机容量6856MW,累计建成11台机组,装机容量9134MW。8台机组中引进了6台,自主建设了2台压水堆核电机组。这8台机组分别是秦山第二核电站(CNP600)2×650MW(1996年6月2日~2004年5月3日)、岭澳核电站(M310)2×990MW(1997年5月15~2003年1月8日)、秦山第三核电站(CANDU-6)2×728MW(1998年6月8日~2003年7月24日)、田湾核电站(AES-91)2×1060MW(1999年10月20日~2007年8月16日)。

4.3 积极推进核电发展阶段(2006年~2011年3月)

20世纪末我国进入重化工业时期,电力需求急剧上升,但电力发展相对滞后,“九五”计划电力弹性系数平均为0.714,而国际上工业化时期电力超前发展、系数大于1,由此出现了2003年、2004年连续两年的“电荒”。当时启动了《核电中长期发展规划(2005—2020年)》,提出“积极推进核电建设”的发展方针,规划至2020年建成核电40000MW,在建18000MW。2006~2010年开工建设26台机组,装机容量29485MW,是当时世界上在建核电站最多

的国家,在建机组占世界的48%,装机容量占49%。这是我国核电发展最快的5年、成果最大的5年,也是引进机组最多的5年,引进了4台AP1000、2台EPR,装机容量8500MW。

4.4 安全高效发展核电阶段(2011年3月~)

2011年3月日本发生福岛核泄漏事故,世界核电国家开始进行安全大检查,全球核电发展、增容、延寿态势戛然而止。中国国务院发布了“国四条”,对核电安全大检查,停止审批与开工新的核电站。2012年5月10日国务院通过了《核安全规划》、《核电安全规划》、《核电中长期发展规划(2011—2020年)》,重新启动核电建设,提出了安全高效发展核电的方针。在2011~2020年核电规划中提出至2020年建成核电装机容量5800×10⁴kW,在建装机容量3000×10⁴kW。

5 积极发展与安全高效发展核电方针的成就

5.1 积极与安全高效发展核电方针推动我国新开工45台机组建设

2006~2016年,中国核电执行了“积极推进核电发展”与“安全高效发展核电”的方针,11年间取得了巨大成就。建成与在建核电机组45台,装机容量48861MW,平均每年开工4台百万千瓦机组,这些机组均布局在沿海(见表2)^[4]。

表2 2006~2016年中国核电项目

核电厂名称	堆技术/压水堆	机组号	装机容量 (容量合计)/MW	开工时间 (首机组)	首机组并网与商运
秦山第二核电站	CNP	3、4	2×650(1300)	2006-04	2010-08~2010-10
岭澳核电站	二代改进CPR	3、4	2×1080(2160)	2005-12	2010-07~2010-09
红沿河核电站	二代改进CPR	1、2、3、4、5、6	6×1118.7(6712.2)	2007-08	2013-02~2013-06
宁德核电站	二代改进CPR	1、2、3、4	4×1089(4356)	2008-02	2012-12~2013-04
阳江核电站	二代改进CPR	1、2、3、4、5、6	6×1089(6534)	2008-12	2013-12~2014-03
福清核电站	二代改进CPR	1、2、3、4	4×1089(4356)	2008-11	2014-08~2014-11
秦山核电站扩建工程 方家山核电站	二代改进CPR	1、2	2×1089(2178)	2008-12	2014-11~2014-12
三门核电站	三代AP1000	1、2	2×1250(2500)	2009-04	在建
海阳核电站	三代AP1000	1、2	2×1250(2500)	2009-09	在建
台山核电站	三代EPR	1、2	2×1750(3500)	2009-11	在建
昌江核电站	CNP	1、2	2×650(1300)	2010-04	2015-10~2016-01
防城港核电站	二代改进CPR	1、2	2×1089(2178)	2010-07	在建
石岛湾核电站	高温气冷堆核电站 示范工程	1	1×211(211)	2012-12	在建
田湾核电站	三代VVERAES-91	3、4	2×1120(2240)	2012-12	在建

续表 2

核电厂名称	堆技术/压水堆	机组号	装机容量 (容量合计)/MW	开工时间 (首机组)	首机组并网与商运
福清核电厂	三代华龙一号 HPR1000	5、6	2×1150(2300)	2015-05	在建
防城港核电厂	三代华龙一号 HPR1000	3、4	2×1150(2300)	2015-12	在建
田湾核电厂	二代改进 CPR	5、6	2×1118(2236)	2015-12	在建
合计		45台	48861		

注:根据《中国核能年鉴 2015 年》整理编表。

我国在 1985~2005 年的 21 年间只建成 11 台机组,装机容量 9134MW,而 2006~2016 年这 11 年建设机组与容量是前 21 年的 4 倍和 5 倍,充分体现出积极推进与安全高效发展核电方针的成效。

5.2 我国核电安全发展取得新成就

福岛核泄漏事故发生后,国家提出安全高效发展核电方针,制定了核电安全规划,确定了核电建设新标准,并立即对核电、核设施进行安全大检查。

① 国务院发布“国四条”,立即对核电站进行大检查。“国四条”的内容是:立即对我国核设施进行全面检查,切实加强正在运行核设施的安全管理;全面审查在建核电站;要用最先进的标准对所有在建核电站进行评估与整改;严格审批新的核电项目,在安全规划批准前暂停审批新项目。

② 国家调集 300 名专家学者对 15 台运行核电机组、26 台在建核电机组、18 座民用研究堆和临界装置、9 座民用核燃料循环设施进行安全检查。历时半年对全国在运、在建核电厂的安全性进行了独立、全面、深入、系统的检查和评估,检查结论认为:我国核电厂的安全是有保障的。但考虑到福岛核泄漏事故的原因,提出了 14 个方面的改进任务,所有改进、提高措施均在当前或 4~5 年的运行、在建、设计中落实。

③ 2012 年 5 月国务院通过《核安全与辐射污染防治“十二五”规划及 2020 年远景目标》,10 月首次讨论通过了《核安全规划(2011—2020 年)》和《核电中长期发展规划(2011—2020 年)》,就安全、发展思想、方针、目标、原则做了规定,就核电至 2020 年提出了新的规划。中国与美国合作建设的中国国家核安全示范中心于 2016 年 3 月正式投入运行^[5]。

④ 按照国际原子能机构(IAEA)修订后的核电站国际安全标准执行。对我国新建核电采用最严格

的安全标准,提出核电设计新理念,采用新的核电标准,每堆年发生严重堆芯损坏事件的概率低于十万分之一 $[10^{-5}/(\text{堆}\cdot\text{年})]$,每堆年发生大量放射性物质释放事件的概率低于百万分之一 $[10^{-6}/(\text{堆}\cdot\text{年})]$,比原来的安全标准提高了一个数量级。2014 年 9 月环保护、国家能源局、国家原子能机构联合发布《安全文化政策声明》,向全行业、全社会倡导加强核安全文化。

⑤ 核应急提高到更高水平。国务院新闻办公室发布了《中国的核应急》白皮书,向全世界阐明中国的核安全观,举行了首届核应急高峰论坛,建立了 320 人的国家应急救援队,各核电集团建立了自己的互助救援基地,建立军队联动机制,开展应急培训与应急演练,“一案三制”(即核应急预案和法制、体制、机制)建设已较为完善,核应急提高到更高水平。

⑥ 我国核电站运行安全业绩优秀。从 1991 年 12 月秦山第一台核电机组并网发电,至 2015 年底投运 30 台机组,运行 200 堆·年未发生 2 级以上事件、事故,核电运行安全业绩优秀。

6 我国核电发展新起点

随着“华龙一号”示范工程福清 5 号、6 号机组及防城港 3 号机组开工,中国核电发展步入了新阶段,这标志着我国核电自主创新的新起点,我国迈向核电大国、核电强国的新起点,我国核电“走出去”的新起点。

6.1 中国核电自主创新的新起点

中国核电从建设伊始,就坚持自主开发的理念与方针,从 CNP300 原型堆、CNP650 商业堆、二代改进堆(例如 CPR)核电站建设,到 2005 年 CNP1000、2010 年 CP1000 始终不断自主开发。2013 年,中国核工业集团公司的 ACP1000 与中国广核集团有限公司的 ACPR1000+ 两项技术融合,上报国家发改委。

2015年4月国务院核准建设“华龙一号”三代核电技术示范机组,12月7日“华龙一号”首台示范机组在福清开工建设,标志着我国核电自主创新上了一个新台阶。

“华龙一号”采用177组自主研发的堆芯和燃料组件技术,应用先进的能动与非能动相结合的安全设计理念,单堆布置,双层安全壳,数字化技术。充分考虑福岛核事故的最新反馈,进行相应的安全改进,采用完善的严重事故预防与缓解措施,满足我国和国际最新核安全法规标准要求。

6.2 中国核电走出去的新起点

我国虽然已出口巴基斯坦4台CNP300机组,但由于核电起步晚,项目缺少自主知识产权,百万千瓦核电机组不能出口。为了加快核电发展,缩短研发周期,我国采取了引进—消化吸收改进—再创新的路线。引进了4台二代压水堆M310机组、4台VVERAES机组、4台AP1000机组、2台EPR机组,这样多国引进、竞相引进,受到国内业界的批评,但确实给我国自主开发带来了新理念、新技术多方面的借鉴,给我们的再创新以启迪。

当世界三代核电AP1000、EPR等工程建设遇到技术问题,工期大幅延期,项目成本大幅上涨,世界核电处于困难之际,华龙一号落地开工。工程建设的高效和低成本令世界业界瞩目,成为世界核电“希望之星”。仅一年多的时间,核电走出去的喜讯不断传来。

2015年8月,中国与巴基斯坦合作的华龙一号首个海外项目——卡拉奇核电工程开工。在2015年土耳其举行的G20峰会上,中国与阿根廷两国企业签署了《重水堆核电项目合同》、《压水堆核电项目框架合同》。在2016年G20杭州峰会上,中阿双方就共同推进落实核电重大合作项目达成一致意见。阿根廷总统马克里表示,积极支持双方合作,实现重水堆项目2017年开工建设,力争压水堆项目于2019年开工建设^[6]。英、法、中合作建设欣克利角C(HPC)核电项目,2016年9月29日在伦敦签订协议,预计2019年开工,2025年投运,英国政府已批准项目合同生效。该项目有两台1600MW的EPR机组,总装机容量3200MW,发电量占英国总发电量的7%,每年可减排二氧化碳 900×10^4 t,三国合作

投资180亿英镑。

2015~2016年,我国与巴基斯坦、阿根廷、英国、埃及、伊朗、巴西、沙特、马来西亚、印度尼西亚、阿尔及利亚、约旦等20多个国家就华龙一号、高温气冷堆的合作建设进行磋商、达成协议或开工建设。

7 中国将圆核电大国梦

中国核电历经30年的艰辛努力,已步入世界核电国家前列,建成机组迅速增长,核电机组技术从二代向三代升级,核电的量变与质变同步发展,将圆核电大国之梦。

7.1 中国已步入世界核电发展前列

截至2016年7月,我国建成与在建核电机组54台(33台+21台),装机容量53613MW,占世界核电机组总台数506台(444台+62台)的10.7%,占世界核电总装机容量453786MW的11.8%,排名世界第三位。其中,2015年核发电量161.2TW·h,占世界核电总发电量的6.6%,居世界第四位;建成核电机组33台,占世界建成机组总台数的7.4%,在运装机容量29577MW,占世界在运总容量的7.6%,居世界第四位;在建机组21台,装机容量24036MW,占世界在建机组的33.9%、装机容量的36.4%,居世界第一位。

7.2 中国核电技术处于二代改进向三代升级,运行与在建项目总体技术水平居世界前位

我国核电技术二代改进核电站(如CPR)已经成熟,建设的百万千瓦机组有一多半已投入运行。三代核电站建设处于工程示范堆阶段,包括引进的AP1000和EPR。我国核燃料技术、核电装备制造技术与电站建设相配套,自主化率已达80%以上。

7.3 我国要成为核电大国、核电强国尚需努力

中国是一个有近14亿人口的发展中国家,今后能源、电力消费需求仍将继续增长,但我国人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半。我国能源、电力结构不合理,2015年煤炭占全国能源消费的65%,火力发电占总发电量的73%,而发达国家煤炭只占能源消费的25%左右;我国非化石清洁能源消费比重为12%,而发达国家在20%以上。我国是《巴黎协定》签约国,承诺至2020年非化石能源占到能源消费的15%,2030年达到20%。我国2007年已成为世界二氧化碳排放第一大国,2013年二氧

化碳排放量占到世界排放总量的 27%, 雾霾污染严重。鉴于此, 中国迫切需要进一步发展核能核电, 并努力建成核电大国、核电强国。

作为核电大国, 必然要走在世界核电国家的前列, 比如核发电量, 必须要占到世界核发电量及中国总发电量一定比重^[7]。根据世界核协会(WNA)的数据, 2015 年世界核发电量为 24417TW·h, 中国为 161TW·h, 占世界核发电量的 6.6%, 比重较低。另据国家统计局的数据, 2015 年我国的总发电量为 58105.8×10⁸kW·h, 核发电量为 1707.9×10⁸kW·h^[8], 核电仅占全国总发电量的 3%。在世界 30 个核电国家中, 我国核电份额排名第 27 位, 前 20 位的比重都在 14% 以上, 前 4 位在 50% 以上, 法国的核电比重为 76.3%(见图 2)。2015 年全国电力装机容量为 150828×10⁴kW, 而核电仅 2958×10⁴kW, 仅占 2.0%。

我国目前建成与在建核电机组虽处于世界第三位, 但运行发电量较少, 比重很低, 还不是名符其实的核电大国, 要成为核电大国还有一段路要走。预计到 2020 年我国核电建成运行机组达到 56 台, 装机容量达到 58000MW, 发电量达到 406TW·h, 与法国年核发电量相当, 仅次于美国, 在建核电站按照规划的 30000MW 计, 实现运行与在建核电规划 88000MW, 可占到世界第二位。我国核电发展的第一个目标——成为核电大国, 可望在 2021 年左右实现。

8 举全国之合力建成核电强国

由核电大国迈向核电强国, 表现在核电机组的安全、技术、质量、品牌、发电量、经济性等多方面。核电大国主要是在国内竞争, 表现为取得电力市场份额, 是数量质量主导型, 在安全、技术方面表现为核电站的安全、布点、改型、升级。而核电强国是在国际市场竞争, 表现为国际市场开发, 在安全条件下品牌、经济、投资等综合条件(软件)的竞争, 是以核电实力为基础的竞争。在我国完成核电大国目标之后, 要建成核电强国, 必须举全国之合力, 做好以下方面工作:

① 合力建设已开工的华龙一号福清 5 号、6 号机组, 并不断完善, 这也是国家领导人向国内外推荐的示范工程。

② 大力支持与巴基斯坦合作建设的华龙一号

卡拉奇核电工程, 这是为华龙一号在国外创品牌的首建, 只能成功, 不能失败。

③ 认真做好“十三五”新建核电站的布点、机组选型工作。要做好 3000×10⁴kW 核电站的定点、定型与工程开工, 这是我国自主开发的三代核电技术批量建设工程, 也是迈向核电大国、核电强国的形象展示。

④ 继续全力完成在建的 21 台机组, 力争 56 台机组、5800×10⁴kW 装机容量在 2020 年完成, 实现国家规划, 这是建成核电大国、迈向核电强国的基础。特别是三门、海阳 4 台 125×10⁴kW 的 AP1000 机组, 台山 2 台 175×10⁴kW 的 EPR 机组, 这是世界两类型压水堆的首堆、首批示范工程, 在中国落地建成投产, 要跳出国际示范首堆陷阱, 将其建设好、运行好、改进好, 这也是中国核电实力的展示。

⑤ 完成四代 20×10⁴kW 高温气冷堆示范工程建设, 安排国内商业堆电站建设, 支持国外合作建设高温气冷堆工程。在快堆实验堆建成、试运行、验收的基础上, 安排快堆示范工程项目建议。继续做好已经取得重要成果的聚变堆的研究工作。

⑥ 举全国之合力, 在“安全第一、质量第一”的前提下完成上述核电站的研究设计、制造、建设、运行、燃料保证等相关配套任务。

9 展望

从 2016 年开始, 我国不仅在步入核电大国, 也在进军国际核电市场, 创建核电强国的条件。到 2020 年我国建成核电大国, 将继续迈向核电强国, 至 2025 年可望圆我国核电强国之梦。再经过几十年的努力, 当如比尔·盖茨所预言: “中国将成为世界核能的领导者”。

参考文献:

- [1] 世界核协会(WNA)网站. 世界核电现状[J]. 伍浩松, 译. 国外核新闻, 2016(8).
- [2] 英国《国际核电工程》网站. 俄原集团 2015 年营业收入大幅度上升达 127 亿美元[J]. 伍浩松, 译. 国外核新闻, 2016(8): 8.
- [3] 世界核新闻网站. 国际能源公署公布新版世界能源发展报告[J]. 伍浩松, 译. 国外核新闻, 2015(12): 1-2.
- [4] 中国核能行业协会. 中国核能年鉴 2015 卷[M]. 北京: 中国原子能出版社, 2015: 83-86.
- [5] 中国在核安全领域的进展报告[EB/OL]. (2016-04-01). <http://>

- news.xinhuanet.com/world/2016-04/01/c_1118505573.htm. 版社, 2014: 175.
- [6] 翁丛艺, 贺璐. 中阿就共同推动落实核电重大合作项目达到 [8] 国家统计局. 2015年国民经济和社会发展统计公报[N]. 经济
共识[N]. 中国核工业报, 2016-09-07. 日报, 2016-02-29.
- [7] 任德曦, 肖东生. 核能经济学[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出 (编辑 张峰)

Global Nuclear Restart and China's Road to Big Nuclear Power Producer and Strong Nuclear Power Producer

Ren Dexi, Hu Bo

(University of South China, Hengyang Hunan 421001)

[Abstract] Five years have passed since the Fukushima nuclear disaster, and the world is now undergoing a new round of nuclear restart. The global nuclear output begins to recover, and the installed nuclear power capacity is increasing. As of July 1, 2016, there are 444 nuclear power units in operation and 62 units under construction worldwide. The number of units in operation and under construction is increasing. The United States and the Great Britain started the construction of new units. Japan began to resume the operation of its decommissioned nuclear power plant. Russia and South Korea have become big nuclear power exporters. China, Russia and India insisted on promoting nuclear power construction. A number of non-nuclear countries are constructing or planning to construct nuclear power units. China's nuclear power industry has gone through a gradual and positive development course and successively put forward the policies of "actively promoting nuclear power construction" and "safe and efficient development of nuclear power". In China, there are 54 nuclear power sets in operation or under construction with an installed capacity of 53613MW, accounting for 10.7% of the total number of nuclear power units worldwide and 11.8% of the total installed capacity, ranking the third in the world. Moreover, the most stringent safety standards have been adopted for newly built nuclear power units, and the nuclear emergency level has been improved. However, the proportion of nuclear power in the energy structure in China is relatively low, so more efforts are still needed for China to become a big nuclear power producer and a strong nuclear power producer. The joint force of the nation should be used to operate and construct the existing nuclear power plants following the principle of safety and quality first, accomplish the layout, unit selection and project startup of newly built nuclear power plants during the 13th Five-Year Plan period, continue to promote the development of fourth-generation high temperature gas cooled reactor and fast reactor as well as the research on fusion reactor, and obtain achievements in the construction, operation and improvement of the AP1000 and EPR introduced.

[Keywords] nuclear restart, nuclear power units in operation, installed capacity, safe and efficient development, nuclear emergency, strong nuclear power producer

欢迎广大读者踊跃投稿

zhongwny@163.com