

# 世界核电布局走向及对我国核电布局的启示

任德曦,肖东生<sup>①</sup>,胡泊<sup>②</sup>

(南华大学 经济管理学院,湖南 衡阳 421001)

**[摘要]** 论文从福岛核电站外部自然事件的地震、海啸叠加超设计基准引起的7级核事故,提出了核电布局、选址对核电站安全的重要性;分析了世界核电分布的地区、国家、堆型、发电的现状,揭示了未来核电发展布局的走向;阐明了核电站布局、选址的八大原则;重点探讨了世界各国滨海与滨河(沿海与内陆)核电站布局,并以法国实例介绍了法国内陆核电站布局状况;最后,深入探讨了我国核电站布局,认为,沿海、东部是我国核电布局的重点,我国建成、在建的45座核电机组均布局在沿海,为滨海电站,东部的黑龙江、吉林、辽宁、江苏、山东、福建、广东、广西均可建滨河、滨湖核电站;中部崛起急需核电,是我国内陆核电站的重点,是我国核电大国、核电强国的标志;西部重点发展水能、风能、太阳能,而核电、火电作为基本负荷电源,支撑上述清洁能源的发展,有几个省市需要独立发展核电。

**[关键词]** 核电布局; 世界核电布局; 滨海核电站; 内陆核电站东、中、西部核电布局

**[中图分类号]** F407.23 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1673-0755(2013)05-0001-10

## 一 福岛地震、海啸外部事件引起了对核电布局的思考

2011年3月11日发生了福岛核电站事故,事故基本原因是9级地震引发的大规模海啸,地震、海啸叠加因素造成了福岛第一核电厂1、2、3、4号机组断电,堆芯融毁,氢气爆炸、起火,压力容器破损、机组报废,放射性污染环境,20KM范围内人群撤离。叠加的外部自然事件,引起人们对核电站布局的高度关注。

日本民众与政府主张“去核电”,认为在一个地震、海啸多发、频发的国家布局核电是不安全的。世界有核电国家也进行了安全大检查,进一步加强了核电安全。我国在2011年3月16日发布了“国四条”,开展了核电站安全大检查,停止审批、新开工核电站20个月(2011年3月至2012年11月)。核安全规划与核电规划批准后,2012年11月我国重新启动核电建设,但是湖南桃江、湖北大冶、江西彭泽三个已投入百亿资金进行前期准备多年的核电站,“十二五”计划不得开工。世界核电布局,选址提到了新的安全高度。

三哩岛、切尔诺贝利核电站事故,在总结事故原因时,关注的是核电站内部,如安全设计、人因失误、核电站技术进步问题,逐渐淘汰了石墨水冷堆,开展

人因工程研究,重视核电安全文化建设。美国9.11恐怖袭击后,核电站防飞行物袭击作为安全重大问题提出,核电站设计了双层安全壳。福岛核事故是一个严重外部自然事件引起的叠加的超设计基准、多因素造成的事故。国际原子能机构(IAEA)理事会2011年9月核准,获151个国家支持的核安全行动计划,有12个重点领域,特别是在核电安全评估、同行评审、应急准备与响应、核电规划、宣传与信息传播等六方面为重点关注。专家组的评审主要关注的是:外部危险、安全裕量评估、电站薄弱环节、严重事故管理和开展的监管活动。如何从福岛事故吸取教训,IAEA在安全文件中第一次将核电选址与外部事件设计(SEED)、应急准备评审(EPREV)提到安全高度。

## 二 世界核电分布与未来核电布局走向

### (一)世界核电站分地区布局考察

将世界分成七大地区考察核电布局。包括北美洲、拉丁美洲、西欧、中欧和东欧、非洲、中东及南亚、远东。运行核电站最多的是西欧与北美。2009年两地区运行核电站共251座,装机容量2.36亿KW,占世界总机组数的441座的57%,占世界总装机容量3.75亿KW的63%;其中北美机组与装机容量占25%、30%,西欧分别占29%、33%。北美主

**[收稿日期]** 2013-09-06

**[基金项目]** 原国防科工委(现国防科工局)《核能经济学》项目委办人[2007]191号文立项编号Z1052

**[作者简介]** 任德曦,男,湖南岳阳人,南华大学经济管理学院教授。

<sup>①</sup>南华大学MBA中心教授。<sup>②</sup>南华大学老科协教授。

要是美国与加拿大,西欧主要是法国、德国、英国、瑞典、比利时、西班牙、瑞士等国。

其次是远东与中东欧。远东包括日本、韩国、中国等国,运行核电站 94 座,装机容量 8052 万 KW,占世界机组与装机容量均为 21%;中欧和东欧主要是指俄罗斯、乌克兰、捷克、斯洛伐克等国,运行核电机组 67 座,装机容量 4738 万 KW,占机组与容量的 15% 与 13%。

再次,运行机组少的是中东、拉美、非洲。中东及南亚 21 座,拉美 6 座,非洲 2 座分别只占世界总机组的 5%、1.4%、0.5%,它们是发展中国家与石油能源丰富的国家。

最后,在建核电站最多的是远东与中东欧。世界在建核电站 60 座,装机容量 5858 万 KW,其中远

东 32 座,占 53%;中欧和东欧 17 座,占 28%,

## (二)世界核电布局按国家考察

### 1、世界运行核电机组分布

2009 年,世界有 30 个国家、地区布局核电运行机组 441 座,装机容量 3.75 亿 KW。按国家分,美国机组最多,为 104 座,装机容量 1.01 亿 KW,分别占世界总数的 23.56% 与 26.93%;法国 58 座,装机容量 63130MW,占 13.5% 与 16.8%;日本 54 座,装机容量 46823MW,占 7.26% 与 6.13%;按机组数排在其后 5~10 位为韩国 21 座,占 4.76%;英国、印度均为 19 座,占 4.36%;加拿大 18 座,占 4.1%;德国 17 座,占 3.85%;乌克兰 15 座,占 3.4%;中国 13 座,占 2.95%;详见表 1。

表 1 核电站按反应堆类型分布情况<sup>[1]</sup>

国家	PWR		BWR		GCR		LWGR		PHWR		2009 年机组总计		2009 年核发电量	
	数量	兆瓦(电)	数量	兆瓦(电)	数量	兆瓦(电)	数量	兆瓦(电)	数量	兆瓦(电)	数量	兆瓦(电)	twh	占总发电量%
阿根廷									2	935	2	935	7.6	7.0
亚美尼亚	1	375									1	375	2.3	45
比利时	7	5934									7	5934	45	51.7
巴西	2	1884									2	1884	12	3.0
保加利亚	2	1906									2	1906	14.2	35.9
加拿大									18	12569	18	12569	85.3	14.8
中国	11	8748							2	1300	13	10048	65.7	1.9
捷克	6	3678									6	3678	25.7	33.8
芬兰	2	976	2	1745							4	2721	22.6	32.9
法国	58	63130									58	63130	391.7	75.2
德国	11	14033	6	6457							17	20490	127.7	26.1
匈牙利	4	1889									4	1889	14.3	43.0
印度			2	300					17	3889	19	4189	14.8	2.2
日本	24	19286	30	27537							54	46823	263.1	28.9
韩国	17	15943							4	2722	21	18665	144.1	34.8
墨西哥			2	1300							2	1300	10.1	4.8
荷兰	1	487									1	487	4.0	3.7
巴基斯坦	1	300							1	125	2	425	2.6	2.7
罗马尼亚									2	1300	2	1300	10.8	20.6
俄罗斯	16	11914			15 <sup>①</sup>	10219	1 <sup>③</sup>	560			32	22693	152.8	17.8
斯洛伐克	4	1762									4	1762	13.1	53.5
斯洛文尼亚	1	666									1	666	5.5	37.9
南非	2	1800									2	1800	11.6	4.8
西班牙	6	6006	2	1510							8	7516	50.6	17.5
瑞典	3	2799	7	6504							10	9303	50.0	34.7
瑞士	3	1700	2	1538							5	3238	26.3	39.5
英国	1	1188			18 <sup>②</sup>	8949					19	10137	62.9	17.9
乌克兰	15	13107									15	13107	77.9	48.6
美国	69	66945	35	33802							104	100747	796.9	20.2
总计	269	248295	92	83834	33	19168	47	28400	441	374697	2558	14		

中国总计包括中国台湾的 6 台机组,总计 4980 兆瓦(电)。<sup>①</sup>俄罗斯为 LWGR 15 台 <sup>②</sup>英国为 GCR 18 台 <sup>③</sup>FBR 为俄快堆;PWR:压水堆;BWR:沸水堆;GCR:气冷堆;PHWR:加压重水堆;LWGR:清水冷却石墨慢化堆;FBR:快中子增殖堆。

## 2、世界核电占本国发电量比重居前的国家

2009 年世界核发电量为 2558TWh,占世界总发

电量 14%。核电占本国发电量 14% 以上的国家有 22 个,法国 75.20%,斯洛伐克 53.50%,比利时

51.70%,乌克兰 48.60%,亚米尼亚 45%,匈牙利 43%,瑞士 39.50%,斯洛文尼亚 37.90%,保加利亚 35.90%,韩国 34.80%,瑞典 34.70%,捷克 33.80%,芬兰 32.90%,日本 28.90%,德国 26.10%,罗马尼亚 20.60%,美国 20.20%,英国 17.93%,俄罗斯 17.80%,西班牙 17.50%,加拿大 14.80%。见表1。

### 3、核电按堆型分布考察

在世界 441 座核电中压水堆 269 座,占 61%,沸水堆 92 座,占 21%,重水堆 46 座,占 10%,石墨气冷堆 18 座,占 4%。布局在英国,石墨水冷堆 15 座,占 3%。布局在俄罗斯,商业快中子堆 1 座。布局压水堆最多的国家是美国,为 69 座,法国 58 座,日本 24 座,韩国 17 座,俄罗斯 16 座,中国、德国各 11 座。

布局沸水堆最多的国家是美国 35 座,日本 30 座,瑞典 7 座,德国 6 座。见表 1。

### 4、世界核电站未来布局与走向

#### (1)世界核电未来布局

根据 IAEA,世界核协会(WNA)统计,在福岛核事故后,各国核电在建、计划中、拟建机组统计见表 2。在建机组 63 座,装机容量 62174MWe。计划中机组 160 座,装机容量 179655MWe,拟建 329 座,装机容量 376255MWe。按此预测至 2030 年或更后一点时间,核电新增机组 552 座,新增装机容量 618084MWe。增加最多的为中国 197 座,装机容量 208120MWe;印度 63 座,装机容量 68600MWe;俄罗斯 61 座,装机容量 53160MWe;美国 31 座,装机容量 39970MWe;日本 18 座,乌克兰 13 座,英国 13 座,加拿大、韩国各 9 座;波兰、南非各 6 座,巴西 5 座,阿根廷、巴基斯坦各 4 座;芬兰、法国、捷克、罗马尼亚、瑞士、斯洛伐克各 3 座;2 座的国家有:匈牙利、墨西哥;1 座的有亚美尼亚、保加利亚、荷兰、斯洛文尼亚。在建核电机组 63 座,分布在 14 个国家,其中中国 26 座,俄罗斯 10 座,印度 7 座,韩国、加拿大、日本各 3 座。

表 2 福岛核事故后世界各国核电走向(2012 年 5 月份)<sup>[2]</sup>

国家	在建机组		计划中的机组		拟建机组	
	数量(座)	装机容量(MWE)	数量(座)	装机容量(MWE)	数量(座)	装机容量(MWE)
中国	26	27640	51	57480	120	123000
印度	7	5300	16	14300	40	49000
俄罗斯	10	9160	17	20000	24	24000
美国	1	1218	11	13260	19	25500
日本	3	3036	10	3036	10	13772
乌克兰	0	0	2	1900	11	12000
英国	0	0	4	6680	9	12000
韩国	3	3800	6	8400	0	0
加拿大	3	2190	3	3300	3	3800
南非	0	0	0	0	6	9600
波兰	0	0	6	6000	0	0
巴西	1	1405	0	0	4	4000
阿根廷	1	745	2	773	1	740
巴基斯坦	2	680	0	0	2	2000
总计	63	62174	160	179655	329	376255

\* 总计中包括 3 座以下的国家,未计明细

#### (2)世界核电布局的走向

1)新兴国家加快了核电的发展。中国、印度、南非、巴西、阿根廷等国加快了核电的发展。

2)核电大国继续加强核电发展。美国、法国、俄罗斯、加拿大、韩国坚持发展核电方针不变。

3)欧洲大部分有核电国家仍然扩大了核电发展。如英国、瑞典、荷兰、乌克兰、芬兰、西班牙、斯洛

伐克、罗马尼亚、匈牙利、保加利亚等。

4)中东等地区石油资源丰富的国家,为节约化石能源、改善能源电力结构发展核电。如伊朗、阿联酋、约旦、沙特阿拉伯。

5)能源短缺或改善能源结构的国家提出发展核电。如波兰、巴基斯坦、越南、泰国、孟加拉国、白俄罗斯、印度尼西亚、哈萨克斯坦、土耳其、尼日利

亚等。

6) 提出减核电、去核电国家主要是德国、日本等少数国家。德国在福岛核事故后,关闭了20世纪建设将退役8台机组。日本国内“去核电”,但在国外推销本国核电机组,并于2012年10月日立公司以11亿美元收购英国地平线核电公司,未来日本恢复核电可能性仍很大。

7) 美国在福岛核电事故后,新开工2座机组,是停建30年后新开工的机组。美国核电机组延寿、提升功率约相当新建40个百万千瓦机组。至2012年5月,美核管会(NRC)继续批准哥伦比亚、流浪者核电站延寿20年,在运行104座核电站中,批准延寿73座,寿期由40年延至60年。NRC批准提升功率143份,总共提升热功率18.32GW,电功率6440Mwe,两项合计相当新建核电机组40GW。

### 三 核电产业布局的原则<sup>[3][4]</sup>

#### (一)核安全与辐射防护原则

由于核电站、核燃料、后处理、核废物的处理与处置构成核电大产业体系,该产业又都有放射性,所以核电项目的布局首先考虑的是核安全,保证核设施对工作人员、公众、环境不会发生不适当的辐射危害。要求项目在选址、设计、建造、运行、退役中是安全的。为了核安全,必须贯彻“安全第一、质量第一”的方针。认真执行核安全是核能(电)发展生命线的指导思想。

核安全除核设施安全外,还要保证核材料安全、临界安全、核产品运输、贮存安全、放射性废物处置安全。核辐射防护就是要做好对核辐射的防治工作。制订辐射环境标准,做好辐射环境管理、辐射评价、监测与污染整治。认真执行剂量限制体系,即辐射防护三原则:辐射实践的正当性、辐射防护最优化和个人剂量限值。

实践的正当性。是指辐射与防护实践中的正当性。在引入任何伴有辐射照射的实践之前都必须进行判断,确定此实践(如建核电站)带来超过代价的净效益,否则不应引入该实践。只有当利益 $\geq$ 代价+危险时引入这种实践才是正确的。

辐射防护最优化原则。又称ALARA原则(As Low As Reasonably Achievable),基本内容是:在考虑了经济和社会因素之后,应将所有照射保持在可合理做到的最低水平,再进一步减小就不值得了。

个人剂量限值。为了避免发生非随机效应,必须对个人所接受的辐射照射加以严格限值。国际放射防护委员会建议,1990年修订辐射工作人员的年

剂量当量限值由50msv降为20msv;公众成员年剂量当量限值由5msv降为1msv。

#### (二)核电产业与需求接近或结合的原则

将核电企业与核电需求企业接近布局,有利于聚集发展、节约运能、减少电能损耗。如核电、核能海水淡化、高温裂解、农产品大型辐照站、辐射消毒、灭菌,都是可以与核电站、核热电站、辐照站靠近相结合布局的企业。

核能产品需求布局原则是一个广泛又深入的布局指导原则,大则可以是国家、地区,小至企业的特殊需要。如法国核电占本国电力需求70%以上,在全国布局了核电站。我国在华东、华南能源、电力短缺,而需求巨大的地区优先建立核电站。我国在山东石岛湾建立高温气冷堆,清华大学5MW供热堆THR均是与市场需求相结合。

#### (三)核资源替代与节约化石能源的原则

我国已是世界第一能源消费大国,可我国能源资源拥有量只有世界人均占有量的一半,石油、天然气人均资源量仅为世界的5.4%,7.5%<sup>[5]</sup>。中国是一个人均能源资源短缺的国家,必须寻求替代能源与节约能源。核能是化石能源最有前途的替代能源。核能资源丰富、高效、可靠,裂变能可供人类用几千年之需,聚变能可供人类用百百年,是一种可持续利用的能源。资源替代与节约布局原则就是在那些资源单一(例如煤炭)或短缺的地区布局核电。例如在我国沿海、中、东部缺少能源地区布局核电。

用核能替代部分化石能源,可节约、综合、清洁利用化石能源,可改善能源结构,调整能源供应地区布局,减轻化石燃料,特别是煤炭运输的压力。用核能替代部分化石能源是能源替代、化石能源节约、降低社会成本、实现能源综合利用的战略思考。

#### (四)保护公众与保护环境的原则

核电是清洁的能源,不排放、少排放温室气体,不排放SO<sub>2</sub>和NO<sub>x</sub>,而化石能源是上述有害气体的主要排放者。1个1000MW煤电厂,年需耗煤约300万吨,排放CO<sub>2</sub>约600万吨,SO<sub>2</sub>2.6万吨,NO<sub>x</sub>1.4万吨,烟尘3500吨。

20世纪50年代,发达国家工业化使一些地区严重污染,伦敦成为“雾都”,曾出现数千人急性死亡。2012—2013年冬春之交,我国华北、中东部地区出现严重的“雾霾”天气,北京危及健康的PM<sub>2.5</sub>浓度在200—500mg/m<sup>3</sup>,最高地区达900mg/m<sup>3</sup>,北京停产130多家污染企业。这是由于重化工业发展,以煤炭为主体能源结构、汽车量的增加、冬季供热采暖等的叠加因素造成的。如果在这些地区是以

清洁能源为主体的能源结构,产业结构轻型化、高科技、低碳化发展,肯定“雾霾”的损害会大大减轻。

法国由于核电在能源、电力比重大,所以,CO<sub>2</sub>等温室气体在欧盟诸国之中,是排放强度最低国家之一,可向外转售CO<sub>2</sub>排放指标。

#### (五)规模发展与聚集布局原则

核能(电)产业除与核资源相关的天然铀、钍、锂矿开采、冶金与产地资源结合布局外,核电、铀同位素分离、元件制造、后处理、废物的贮存、处置均适合规模发展、聚集布局,其原因主要是:

1、厂址资源的稀缺。核电站址、高放废物贮存厂址要求严格,对一个合适厂址必须充分利用,而且必须长远规划保护未来可作为核能(电)预选厂址资源,以免再布局造成损失。

2、规模发展的经济、社会效益。核能(电)的规模发展是指核能(电)产业、产品、工程的扩展,包括产能增加、数量增多、工程量增大。例如核电在一个厂址机组的增多,单机容量的增大。双机组核电厂比单机组可降低造价约15%,4机组比双机组可降低造价20~25%。规模化发展可共用公共建筑、生活设施,减少占地,节约运行费用。

3、聚集发展与相关联产业的带动,有协同、互为服务效应。将核能(电)产业链企业、综合发展企业、服务配套企业聚集在同一地区,互为协同、带动、服务、促进,形成综合发展体,例如浙江海盐提出的“核电城”就是聚集发展的一种模式。

#### (六)地质可靠,近靠水源原则

厂址地质条件对选址关系极大。地质包括地震地质、工程地质和水文地质。为确保核电厂安全,必须保持核电厂在荷载作用下的地基稳定。厂址不要选在地震活动性高的强震区;不能靠近能动断层;不能产生地表断裂;不能有影响安全的地面塌陷、沉降或隆起。厂址要选择区域稳定,对抗震有利的地区。地下水位宜在基础底面以下。主厂房群宜建在稳定的基岩上。

核电厂运行时需要大量的循环冷却水和必要的生产、生活用水。轻水堆和重水堆电厂所需冷却水比同等规模火电厂高出约40%,1个1000MW的核电站,每天约需23亿升水。核电厂的冷却水如采用直流冷却约需50m<sup>3</sup>/s的水流量,采用冷却塔循环利用则只需3m<sup>3</sup>/s的水流量。

#### (七)场地适宜、交通便利原则

场地大小应首先满足厂区、隔离区要求,然后在隔离区外一定位置设置生活区。一个1000MW核电站厂区占地约33万m<sup>2</sup>(约500亩);隔离区以反

应堆为中心其半径不小于500m,占地160万m<sup>2</sup>(约2400亩);生活区占地约1万m<sup>2</sup>(约合15亩),面积总计约200万m<sup>2</sup>。场地要满足构筑物、各种管线布置要求。此时,要根据核电规划留有发展扩建余地,并有适当施工场地。大亚湾核电站建设期占地308万m<sup>2</sup>,征地250万m<sup>2</sup>。

厂址出于安全考虑,一方面核电厂附近不希望有大的工业企业及海、陆、空交通干线,但另一方面又希望交通便利,因为建设期与运行期有大件运输与燃料运输的需求。例如,直径4.5m重300t的压力容器,直径5m、长21m、重350t的蒸汽发生器,重量350t、长11m高宽均在6m的发电机等,必须运抵建设现场。

#### (八)防止事故、确保安全原则

厂址选择必须考虑厂址所在地域可能发生的外部自然事件或人为事件对核电厂的影响。首先是避开自然灾害和可能人为事件,不能完全避免(如远离后),则须设计采取防护措施。厂址要在遭受外部灾害后,达到四项基本目标:保持反应堆冷却剂系统的完整性;使反应堆停堆并排出余热;保持电源、水源的安全性;使厂区范围内放射性物质的释放限制在容许的水平,确保安全。

核电厂选址必须考虑核事故应急,将站址布置在人口适宜的地区。设置人口隔离区、限制区、人口稀少与人口评价区。一旦发生事故,人口易于疏散与撤离。

## 四 世界核电站内陆、沿海布局

### (一)核电站全球滨河与滨海布局

核电站布局在沿海或内陆,在安全与环保要求上没有本质差别。内陆核电站通常是指滨河、滨湖核电站,沿海电站是指滨海核电站。世界各国主要是根据所处地理位置、地质、水文、地震、环境、电力需求、建厂条件、投资或成本等因素在权衡选择。日本福岛事故后,除上述因素外,安全、社会认知提到了第一位。我国“十二五”也因此暂停内陆中部湖南桃江核电站、湖北大畈核电站、江西彭泽核电站开工建设。

2010年世界在运行的441台核电机组,沿海内陆机组布局各占一半<sup>[6]</sup>,装机容量内陆约占2/3。

世界滨海核电站较多的国家主要是海岛国家,如日本、韩国等国。日本54台机组,韩国21台机组几乎都是滨海电站,我国由于沿海经济发达,又缺能、缺电,所以,至2012年底,建成与在建的45台机组均分布在沿海。滨海电厂在水冷却、热排放、应急、废水排放方面有优势,回旋余地大。

美国、法国、加拿大、俄罗斯、西班牙、瑞典虽滨临海洋,核电站却主要分布在内陆,为滨河、滨湖电站。内陆核电站布局接近需求,对改善内陆能源、电力结构,节约运力,减少电网损失,发展清洁能源,带动经济发展有重要意义。

美国 65 个核电厂,104 台在运行机组中有 39 个核电厂,64 台机组位于内陆地区,占美国所有核

电机组的 62.0%,其中在密西西比河流域,美国共建有 32 台机组,占美国内陆核电厂的 50%。

加拿大 14 台运行核电机组中内陆 12 台,占 85.7%;俄罗斯 31 台核电机组内陆机组 18 台,占 58%;德国 18 台机组,有 15 台在滨河,内陆占 82%;其他如瑞士、乌克兰、比利时、捷克、斯洛伐克核电机组均分布在内陆。见表 3。

表 3 世界核电站布局在内陆主要国家情况<sup>[6]</sup>

国家	运行总机组数(个)	内陆机组数		备注
		内陆数(个)	占总数%	
美国	104	64	62	东西靠太平洋、大西洋;密西西比河布局 32 台,占内陆机组 50%
法国	58	40	69	西、北靠大西洋、南临地中海,8 条河均分布有核电站,罗纳河布局 14 台机组
俄罗斯	32	19	58	南靠黑海、里海,北临北冰洋
加拿大	18	15	86	国土三面靠海,东、西、北依太平洋、大西洋、北冰洋
德国	17	14	82	北靠大西洋、北海
印度	20	9	43	东南西靠印度洋的阿拉伯海、孟加拉湾
乌克兰	15	15	100	南依黑海
西班牙	8	6	78	西靠大西洋,东南临地中海
比利时	7	7	100	靠大西洋北海
瑞典	10	10	100	东临波罗的海
瑞士	5	5	100	内陆国家
捷克	6	6	100	内陆国家
斯洛伐克	4	4	100	内陆国家
世界总计*	441	220	50	装机容量约占 2/3

\* 非上述相加数; \* 整理成表,并加注。

## (二)法国内陆核电站案例

法国地处西欧,西滨大西洋,有 3000 公里海岸线,国土面积 56 万平方公里,降水量在 500—1000 毫米以上,有 8 条河流,各主要河流均有较大降水量,满足核电供水与排放需要,枯水期以湖泊、水库调节。法国共有 19 座核电厂,58 台压水堆核电机组。在 19 个核电厂中有 4 个位于滨海,1 个位于海口,其余 14 个为内陆核电厂,共 40 个机组,内陆滨河机组占 69%。2011 年核电发电量 4235 亿 KWh,占该国总发电量的 78%。

法国内陆核电站均为滨河上布局,8 条河流每条河流沿岸均建有核电站<sup>[7]</sup>。

法国最大的河流是流入地中海的罗纳河(Rhone),平均流量为 1100m<sup>3</sup>/s,最小流量为 200m<sup>3</sup>/s。罗纳河沿岸建有 4 座核电厂,共有 14 台核电机组。在法国第二大城市里昂上游约 30 公里处有 Bugey 核电厂(4 × 900 MW),在里昂下游有 St Maurice 核电厂(2 × 1300MW)、Cruas 核电厂(4 ×

900MW)、Tricastin 核电厂(4 × 900MW)等。这说明,像罗纳河那样的接纳水体能够承载共 14 个核电机组的低放射性废水稀释扩散功能。

同样,在流入大西洋的卢瓦尔河沿岸共建有 5 座核电站、14 台压水堆机组(其中 10 × 900MWe、2 × 1300MWe、2 × 1450MWe)。其中,平均流量和枯水流量很小的维纳河(Vienne)是卢瓦河的一条上游支流,在这条河流上建有 Civaux 核电站(2 × 1300MW),电站采用坝前取水与坝后排水的方式,低放射性废水与电厂冷却塔排污水混合,在整段拦河坝中形成多点、均匀排放。

默兹河建有 2 台机组,加龙河建有 2 台机组,塞纳河建有 2 台机组,莫泽尔河建有 4 台机组,维埃纳河建有 2 台核电机组。

## 五 中国核电布局的发展

我国核电布局将从沿海、东部、向内地发展,向中部推进。西部由于它有丰富的清洁能源,除部分

省市提出核电要求外,整个西部在2020年前不会启动核电站建设。

中国核电布局将根据安全环保要求,能源、电力需求,能源资源与布局条件综合考虑。总体趋势是:沿海、东部是核电布局主体,是中国核电基地;中部崛起需要核电,特别是缺能、缺电省份;西部是水能、风能、太阳能的主体,核电、火电作为基本负荷,是水能、风能、太阳能的支撑保证能源。内蒙、新疆、四川、重庆、甘肃、陕西、贵州、西藏等省市需要综合利用火电、水电、风电、太阳能,四川、重庆等省市需要核电。西部在利用风电、水电、太阳能发电时,核电、火电为基本负荷电源,保证清洁能源的稳定供应。

#### (一)沿海、东部是中国核电布局的重点

中国沿海、东部包括东北的辽宁、吉林、黑龙江,包括北京、天津、河北、山东、江苏、浙江、福建、广东、广西、海南、台湾及港澳。这些地区国土面积占20%,人口却占48%,是我国发达地区,经济中心,也是能源、电力需求与资源短缺最大、比例最高的地区。我国北煤南运、“西煤”、西电东送、西气东输的能源电力供应格局,是为保证该地区经济、社会、生态发展,满足人民日益增长的能源、电力需求。所以发展核电必须以沿海为基地。我国为之奋斗30年,在2015年将建成的4000万kw核电,布局为滨海电站是完全正确的。2020年将建成的6000万kw核电站基本是滨海电站。表4为建成核电站机组共17台;表5为在建机组28台。

表4 中国滨海建成核电机组(截止2013年4月)

项目名称	地区	机组(台)	装机容量	开工时间	投运时间	所用技术	控股公司
秦山一期	浙江	1×31	31	1985年3月	1991年4月	CNP300	中核
秦山二期	浙江	2×65	130	1996年6月	2002年4月/2004年3月	CNP600	中核
秦山三期	浙江	2×70	140	1998年6月	2002年12月/2003年11月	Candu6	中核
大亚湾核电站	广东	2×98.4	197	1987年8月	1994年2月/1994年5月	M310	中广核
岭澳一期	广东	2×99	198	1997年5月	2002年5月/2003年1月	M310	中广核
田湾核电站	江苏	2×106	212	1999年1月	2007年5月/2007年8月	AES-91	中核
岭澳二期	广东	2×108	216	2006年5月	2010~2011年	CPR1000	中广核
秦山二期扩建	浙江	2×65	130	2006年4月	2010~2011年	CNP600	中核
红沿河核电站	辽宁	1×108/1号	108	2007年8月	2012年	CPR1000	中广核
宁德核电站	福建	1×108/1号	108	2008年2月	2013年	CPR1000	中广核
合计		17	1470				

表5 中国滨海在建核电机组(截止2012年3月)

项目名称	地区	机组	装机容量	开工时间	投运时间	所用技术	控股公司
红沿河核电站	辽宁	3×108/2,3,4号	324	2008年3月	2013~2014年	CPR1000	中广核
宁德核电站	福建	3×108/2,3,4号	324	2008年11月	2013~2015年	CPR1000	中广核
福清核电站	福建	4×108	432	2008年11月	2013~2014年	CPR1000	中核
方家山核电站	浙江	2×108	216	2008年12月	2013~2017年	CPR1000	中核
阳江核电站	广东	4×108	432	2008年12月	2013~2014年	CPR1000	中广核
三门核电站	浙江	2×125	250	2009年4月	2010~2011年	AP1000	中核
海阳核电站	山东	2×125	250	2009年9月	2014~2015年	AP1000	中电核
台山核电站	广东	2×175	350	2009年10月	2014~2015年	EPR	中广核
昌江核电站	海南	2×65	130	2010年4月	2014~2015年	CNP600	中核
石岛湾气冷堆	山东	2×20	20	2012年12月	2015年	HTR-PR	华核
防城港核电站	广西	2×108	216	2010年7月	2015~2016年	CPR1000	中广核
田湾核电站	江苏	1×112	112	2012年12月	2017年12月	VVER-1000/428	中核
合计		28	3056				

沿海优势还在于地理、布局条件、环境、安全优势。我国有18000公里海岸线,5400多个岛屿星罗棋布在沿海的海域上,滨海地质稳定,面向太平洋,周边有多国、地区互为屏障,海啸风险较小。水冷却条件好,热污染扩散、水体热容量有优势,核污染放射性稀释排放回旋余地与风险比内地相对较小。从

以后核电布局来看,我国60%以上的核电站应布局在东部滨海,也可在东部滨河、滨湖布局核电站。如黑龙江、吉林站址,江苏的长江站址,浙西、粤东、粤北站址等。法国3000公里海岸线可布18个核电机组,我国海岸线长度是法国的6倍,还有岛屿,至少可布局100个以上核电机组。我国东部沿海15个

省市地区的腹地广阔,江河湖泊纵横,水量充沛,山地、丘陵不乏核电站址,也应是核电布局的好地方。

(二)中部崛起需要核电,是未来滨河核电站发展区

我国中部的安徽、湖北、湖南、江西、河南、山西,地处中国腹地,沟通全国,面积占全国的11%,人口占全国27%,是中国经济可持续发展最有前途的地区。该地区具有世界著名的长江、黄河两大水系贯穿,有全国第一、第二的鄱阳湖、洞庭湖,有湘、资、沅、澧、修、赣、信、饶、抚九水棋布,地理、地址条件优越,交通方便,是内陆核电站站址可选择的优势地区,是滨河、滨湖核电站发展区。

中部最大的弱势是能源、电力短缺,除山西、河南有煤炭资源外,其余四省少煤、缺油、无气,水电也是径流发电者居多,有雨、有水就有电,无雨、少水、就缺电。湖南省水电装机容量曾达到电力装机容量一半。2003年遭遇百年大旱,500多万kw水电装机基本不能出力,只有40万kw勉强发电,不足水电装机容量的10%。全省“电荒”,拉闸限电,一直到2004年4月才缓解。

我国要建立核电大国与核电强国,必须在最需要核电的中部建立核电站。占全国27%人口,农业、工业具有优势和后发优势的中部地区如果没有核电,很难说我们是核电大国,如果在中部未布局三代、四代自主化核电站,就很难说是核电强国。中部发展、布局核电是我国核电大国、强国的标志。

我国中部必须发展核电,可总结如下要点:

1、发展核电是科学发展观要求。科学发展观“坚持以人为本,树立全面协调发展,促进经济、社会和人的全面发展”,强调“统筹区域发展、统筹经济社会发展、统筹人与自然和谐发展”。这一理论是推进中部核电发展的指导思想。

2、中部崛起所要求。中部崛起,能源、电力是先行,是基础,现在中部能源、电力在经济社会发展中是“短板”,必须以核电填补,中部崛起才有希望。

3、中部能源资源短缺,发展核电是经济、社会发展的迫切要求。中部经济近10年在加速,但能源、电力发展滞后,已经成了制约经济社会发展的“瓶颈”,而能源资源短缺是制约因素。山西、江西、湖南无油、无气,湖北缺煤、缺气,江西、湖南少煤,安徽无气。除河南外,没有一个省煤、油、气储备资源齐全。

4、有利中部能源,电源结构改善。地区布局,季节供求需要核电。山西、河南、安徽能源、电力供求基本是煤炭与煤电,湖南、湖北、江西能源也是以煤

炭为主,虽有水电,除三峡电站供应全国外,季节水电供应呈常态,需要核电改善能源、电力结构。改善电力布局、提供可持续利用、稳定供应的电力,也需要核电。

5、保护环境,发展清洁能源的需求。中部是“雾霾”天气,细小颗粒排放物与酸雨的灾区和受害区。去冬和今春的“雾霾”严重区主要集中在北京、天津、河北、河南、山西,而湖北、安徽也深受其害。我国曾有1/3国土面积受酸雨侵害,出现酸雨城市298个,中部是酸雨的主要受害区,生态、农作物受害最严重。发展核电不排放SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>等温室气体与粉尘,可保护环境,保护生态。

(三)西部重点发展清洁能源,有选择地适度发展核电

我国西部包括内蒙、青海、甘肃、陕西、宁夏、四川、重庆、贵州、云南、新疆、西藏,幅员辽阔,物产丰富。是我国经济、社会、生态发展最有前途的区域。国土面积占全国的66%,人口占全国的24%。

西部煤、石油、天然气资源丰富,我国水能主要分布在西部,风能、太阳能资源与布局是全国最有前途的地区。

内蒙、陕西、新疆、青海是西部煤炭、石油、天然气的资源大省与主要产区。北煤南运主要是“三西”(蒙西、陕西、山西)的煤向南、向东运输。云南、贵州、四川、重庆、青海、甘肃是水电发达与“西电东送”的主要省市;甘肃、新疆、内蒙、西藏是风能、太阳能提供的最佳区域,该区日照长,雨量少,接受幅员广大,风力资源丰富。

西部能源布局,各省市应在科学发展观,“六个统筹”条件下,利用自身优势规划布局各具特色的能源体系。总体指导思想是:积极发展水能、风能、太阳能,综合利用化石能源,以核电、火电作为基础负荷、补充能源,保证风能,太阳能间断型能源可持续利用,有选择地适度发展核电。

在西部的有些省市需要发展核电。因为这些省能源,电力单一,甚至短缺,需要核电做补充。例如重庆、四川、甘肃、陕西可以利用核电做基本负荷,支撑风电、太阳能、水能等间断、季节性能源的发展。

在西部省市布局核电有着优良的外部环境和内部条件,某些地区也存在风险。

1、西部是我国核军工、核燃料、核武器的研发、生产基地。我国核武器研发基地、生产堆、后处理厂、军工高浓缩生产厂均在西部。西部是我国核能基础最好,人才聚集的地方。

2、西部是我国核动力堆(电站堆、潜艇堆)研

发、设计基地,核燃料的转化、浓缩、元件生产的集中地,是我国动力堆元件后处理基地,已建立了动力堆元件后处理中试厂。

3、西部各省区有优良核能(电)布局的地质、水文、水源、大气扩散、废物处理的处置条件,幅员辽阔,人口密度低,有利于核能(电)产业布局。

4、西部核能产业布局最大的风险是地震。西部

为地震多发地,范围大,频率高,损失严重。如汶川地震(7.8级)、芦县地震(7.0级)、岷县地震(6.6级)均造成了重大损失。中国地震分布呈三角形,称为中国大陆西部及邻区强震活动能的“三角地区”,见图1。核电站布局应回避地震带、地表断裂带。

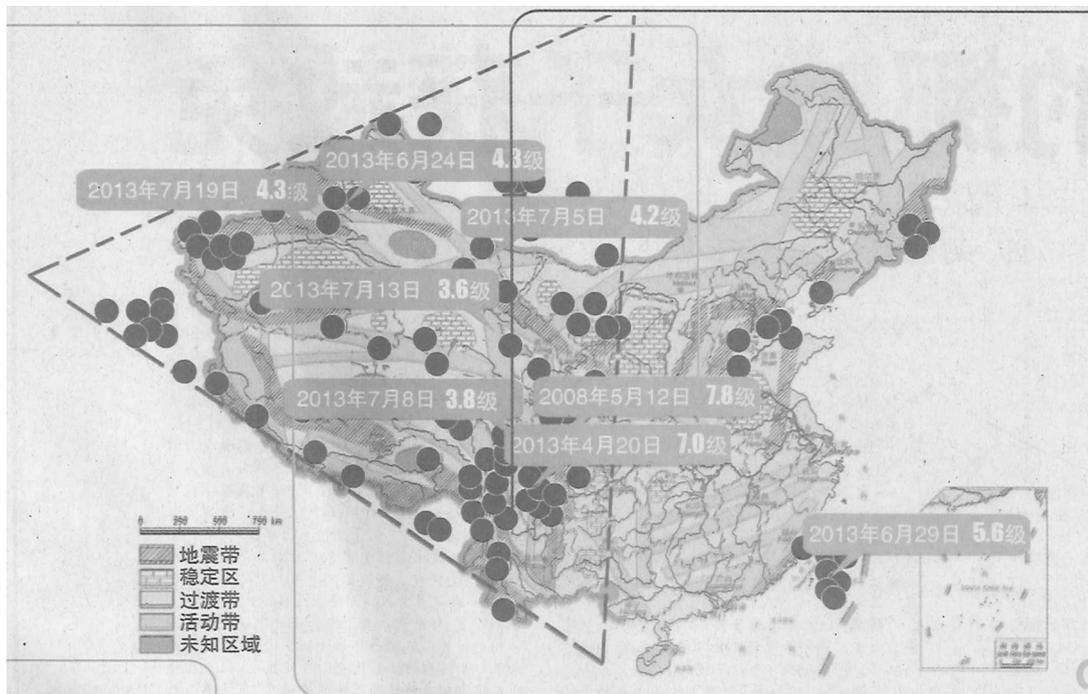


图1 西部及邻区强震活动的“三角地区”

(四) 内陆布局核电是我国核电大国、强国的标志

作为世界核电大国应具有两个基本条件:核电机组数处于世界前列,与之国力相适应;第二条是核电占到本国电力装机容量与发电量的一定比例。

作为核电强国应在前两条基础上,能够自主研究开发安全高效三代、四代的核电站,自主设计、自主制造、自主建造、自主运行即有自主知识产权的核电站,而且要在有需要、又有条件布局核电站的地方建设安全、高效的核电站。

我国现已运行的核电机组在全国电力装机容量仅占1.5%,2015年4000万kw,占到3%,2020年如果是6000-7000万kw,约占到4-5%,居美国之后,与法国相当。此时如果内陆也建成了首批核电站,我国可以说是核电大国,当然是在美国、法国核电无大规模发展的条件下。从2020年至2030年,我国三代核电站完全自主化,并已开拓国际市场;四代的高温气冷堆、快中子堆工程示范堆已建成,开始商业化,内陆已建成了一批安全高效的核电站,我国

具备了世界核电强国的条件。

(五) 积极做好内陆核电站建设准备

国务院常务会议决定“十二五”不安排内陆核电项目,是出于安全考虑。但从社会经济发展、改善生态环境和能源结构调整看,我国急需发展内陆核电。内陆建设核电站是社会经济发展的必然,是大势所趋。所以,2013年3月全国“两会”上湖南省人大代表第1号提案,表达了湖南人民急盼核电的心声。

福岛核电事故后,我国核安全规划规定,新开工的核电站必须是三代<sup>[8]</sup>,由于三门、海阳首堆AP1000未经示范堆工程检验,对后续三个内陆AP1000机型核电项目未经工程整体验证就开工的担忧,出于对非能动设计理念与实践世界首堆未经检验的考虑,国务院才作出“十二五”不安排的决定。所以我们必须千方百计做好内陆站建设准备,争取早日启动。

1、建好AP1000,为其推广创造条件

当前最重要的是“安全第一、质量第一”,建好

AP1000,把三门、海阳世界首堆建设好,通过运行考验其安全性、可靠性、经济性,做好验证工作。对发现问题进行完善和修改,在评估后予以推广。或建设经消化、吸收、自主化的 CAP1400 机组。

## 2、做好内陆核电站建设准备

首先我们进一步检查、评估已做大量前期准备的桃江、大畈、彭泽三个核电站安全工作,积极按国家核电安全规划做好提升工作,把内陆核电的特殊问题解决好。做好确保内陆水资源安全的应急预案,必须使得内陆核电厂一旦在严重事故工况下产生的放射性污水实现可存储、可封堵、可处理、可(与地表水实体)隔离。另外,还要用核电站运行和建设的优秀业绩,消除公众的疑虑,取得公众民意的支持。

## 3、尽快启动“中国三代”核电示范工程建设<sup>[9]</sup>

“中国三代”是指 ACP1000、ACPR1000、CAP1400 是我国在二代改进基础上研发,或三代引进创新,具有自主知识产权,符合 URD 总体要求的先进核电站。“中国三代”ACP 目前已完成技术攻关和工程设计,工程安全分析报告已经完成,具备了开工建设自主知识产权的核电示范工程条件。“中国三代”完全可以依托我国已形成的核电装备能力,运营管理经验,安全监管技术、核工业燃料、元件等产业链的支撑能力,是具备条件、应尽快启动的自

主核电品牌。加快启动 ACP1000 核电技术示范工程建设,加快推进科研、设计、安审、工程等工作开展。

### [参考文献]

- [1] IAEA. 世界分地区运行在建核电反应堆(截至 2010 年 8 月 28 日)[J]. 国外核新闻,2010(10):8-10.
- [2] 世界核协会. WNA. 福岛核事故后各国核电状况(截至 2012 年 5 月 12 日)[J]. 国外核新闻,2012(8):5-7.
- [3] 国家核安全局. 核电厂厂址选择安全规定规定[M]// 中华人民共和国核安全法规汇编. 北京:中国法制出版社. 1995:25-48.
- [4] 任德曦. 核电站项目管理[M]. 长沙:中南大学出版社,2003:52-58.
- [5] 国务院新闻办公室. 中国能源政策(2012)白皮书[Z]. 中国新华网.
- [6] 世界各国内陆核电一览表[J]. 中国核工业,2013(3):34-35.
- [7] 龙茂雄,赵成昆,罗兰英. 法国内陆核电选址经验启示[J]. 中国核工业,2011(1):36-39.
- [8] 环境保护部(国安核安全局),国家发改委,财政部,国家能源局,国防科技工业局. 核安全与放射性污染防治“十二五”规划及 2020 年远景目标[J]. 中国核工业,2012(6):27-32.
- [9] 温鸿钧. 期待“中国三代”加速发力[J]. 中国核工业,2012(11):36-39.

## World Nuclear Power Layout Direction and Revelation of the Layout of China's Nuclear Power

REN De-xi, XIAO Dong-sheng, HU Bo

(University of South China, Hengyang 421001, China)

**Abstract:** This paper presents the importance of nuclear power layout and site selection to nuclear safety from the Fukushima nuclear accident caused by earthquakes and tsunamis, analyzes the nuclear power distribution in the world, State, reactor type, the status quo of power generation, reveals the future trend of nuclear power development and distribution, sets out eight principles of plant layout and site selection, focuses on coastal and riverfront plant layout in countries all over the world (coastal and inland), with the introduction of France inland nuclear power plant layout, and finally makes an in-depth study of China's nuclear power plant layout. It thinks that the coastal and eastern areas are the focus of power distribution in China. The 45 nuclear power generating sets which have been built or being built are all distributed in coastal areas. The riverfront and lakefront nuclear power plants can be built in eastern areas such as Heilongjiang, Jilin, Liaoning, Jiangsu, Shandong, Fujian, Guangdong, Guangxi. The rise of central China needed nuclear power, which is the focus of inland nuclear power stations in China, and the symbol of China's nuclear power. The western areas should focus on the development of hydropower, wind, solar, with nuclear power and thermal power as basic load power to sustain these clean energy development, and there are several provinces should develop independent nuclear power.

**Key words:** nuclear layout; layout of the world nuclear power; coastal nuclear power plant; inland nuclear power stations; nuclear power station layout in the east; middle and west of China