

## CIDEG 决策参考

# 政策研究报告

作者: 陈 玲 郑玉辉





### 我国核电"走出去"形势分析与前景展望

#### 陈玲,郑玉辉

陈玲,清华大学公共管理学院副教授,清华大学产业发展与环境治理研究中心副主任; 郑玉辉,中国核能行业协会专家委秘书长

**摘要**:核电"走出去"是我国的国家战略之一。本文分析了我国核电产业走出去的现状、国际市场形势和发展潜力。研究发现,福岛事故对世界核电发展影响有限,国际核电市场缓慢复苏的态势没有改变。由于受到能源消耗增速减缓、新能源发展的影响,世界核电市场短期(2030年之前)容量有限,长期(2030年之后)随着发展中国家经济的发展和核电国家老机组更新换代,核电将迎来新的发展高峰。本文进一步提出了我国核电产业"走出去"战略的政策建议。

#### 一、我国核电"走出去"基本情况

核电"走出去"已上升为国家战略。近年来,习近平、李克强等国家领导人在出访时,多次将核电作为我国高技术产业的名片向世界推介。2015年,"华龙一号"在非洲推介时,国家主席习近平莅临视察并指出:"这是我们自己的技术,我们要把它推向非洲和全世界。"2017年,在哈萨克斯坦阿斯塔纳世博会,习近平主席向纳扎尔巴耶夫总统介绍说,"华龙一号是中国完全自主知识产权的三代核电技术"。

在核电"走出去"战略和"一带一路"倡议的推动下,我国核电国际合作稳步推进。2017年9月8日,我国出口巴基斯坦第4台核电机组竣工,恰希玛核电一期工程4台机组全面建成,在运装机容量超过130万千瓦。采用华龙一号技术的卡拉奇 K2、K3项目于2015、2016年先后开工,其中 K2项目于2017年10月13日成功实现穹顶吊装,已全面进入安装阶段。11月21日,中核集团与巴基斯坦原子能委员会签署恰希玛核电5号机组商务合同,这是我国华龙一号成功"走出去"的第3台核电机组,也是我国向巴基斯坦出口的第7台核电机组,总





装机容量达到463万千瓦。

2016年9月29日,中广核集团与法国电力公司(EDF)在伦敦正式签署了英国新建核电项目一揽子合作协议,欣克利角 C 项目实质性启动。2017年11月16日,英国核能监管办公室和英国环境署发布联合声明,宣布"华龙一号"技术的通用设计审查(GDA)第一阶段工作完成,正式进入第二阶段。12月,拟采用"华龙一号"技术的布拉德韦尔 B 项目开启厂址地质勘查工作。

2017年3月16日,在习近平主席与沙特国王共同见证下,中核建集团公司与沙特能源城签署了《沙特高温气冷堆项目联合可行性研究合作协议》。5月17日,在习近平主席与阿根廷总统共同见证下,中核集团公司与阿根廷核电公司签署了《关于阿根廷第四座和第五座核电站的总合同》。6月,土耳其发电公司、国家核电、西屋公司共同签署了《关于在土耳其境内合作开展核电站项目可行性研究的谅解备忘录》。

此外,我国还与罗马尼亚、南非、埃及、伊朗、捷克、巴西、保加利亚、西班牙、印度尼西亚、泰国等国分别签署有关协议,开展核电和相关领域合作。

#### 二、世界核电市场分析

#### 1. 福岛事故对世界核电发展影响有限<sup>i</sup>

根据 IAEA 网站数据,2000 年以来,全世界累计开工核电机组 107 台,其中中国 47 台,约占 44%。2000 年以来全球核电开工情况见图 1。

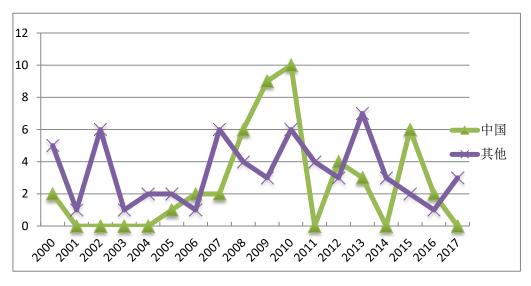


图 1 2000 年以来全球核电开工情况

从该图可以看出,中国在2009、2010年分别开工9台、10台,达到峰值,



此后受 2011 年福岛核事故影响,开工数量明显下降,且有三年出现没有机组开工的情况。而中国以外的国家,新世纪以来核电一直维持较低的开工规模,且每年开工核电机组台数相对稳定,而且每年都有机组开工。2000 年至 2010 年的 11年,平均每年开工核电机组 3.36台; 2011年至 2017年则平均每年开工 3.29台核电机组,福岛事故前后相差甚微。总体看,世界核电发展情况受福岛核事故影响有限。

当然,每年平均3台多的新机组开工规模与核电高速发展的年代无法相比。例如,美国1974年开工20台核电机组;1984、85年全球各投产32台核电机组。但与上世纪90年代平均每年2.2台(不含中国)的规模相比,增加了50%。这也表明进入新世纪以来,核电已经渡过了严冬,正在逐步复苏。表1是2000年以来每年世界核电开工机组数的统计。

表 1 2000 年以来世界核电开工机组数

年份	世界	中国	其他国家
2000	7	2	5
2001	1	0	1
2002	6	0	6
2003	1	0	1
2004	2	0	2
2005	3	1	2
2006	3	2	1
2007	8	2	6
2008	10	6	4
2009	12	9	3
2010	16	10	6
2011	4	0	4
2012	7	4	3
2013	10	3	7
2014	3	0	3



2015	8	6	2
2016	3	2	1
2017	3	0	3
合计	107	47	60

数据来源: 作者据 IAEA power reactor information system 数据统计。其中,中国包括 2000 年开工的北京实验快堆。

#### 2. 新建核电项目推进缓慢

据世界核协会统计,有 40 多个国家计划在 2030 年前投产新的核电机组"。从其他一些能源机构和媒体信息看,有 50 到 80 个国家有发展核电的计划,其中新兴国家占一半或更多"。然而,具体核电项目推进情况总体不尽如人意。例如南非,2011 年修订的《南非综合资源规划》提出,到 2023 年左右将陆续建设 6 座发电能力各为 1600 兆瓦的核电站,总投资 1 万亿兰特(约合 1500 亿美元)"。然而,时至今日,南非核电仍未实质启动,甚至还未发出标书。分析原因,可能涉及以下几个方面:

#### 一是能源消费增速较慢。

根据 2017 版《BP 世界能源统计年鉴》,2016 年全球一次能源消费增长 1%,与 2014 年 1%、2015 年 0.9%相当,远低于十年平均值 1.8%。其中,中国和印度 贡献了全球能源增量的绝大部分,其他国家的能源增长有限。\*

#### 二是其他能源价格下降,降低了核电的竞争力。

美国的页岩气革命促进了化石燃料价格的持续下降。2016 年即期布伦特石油平均价格为43.73 美元/桶,是2004 年来的最低年均价<sup>vi</sup>。与此同时,新能源特别是各国光伏项目招标电价屡创新低。例如,2017 年10月3日,沙特阿拉伯北部 AI Jouf 省 Sasaka 30 万千瓦光伏项目竞标结果出炉,阿布扎比未来能源公司及合作方报出了1.79 美分/千瓦时的25 年长期合同电价,折合人民币0.12元/千瓦时<sup>vii</sup>。而近年来核电站造价越来越高,核电竞争力面临挑战。

#### 三是需求与现实存在差距。

不少表示希望建设核电的国家,特别是一些新兴国家,如约旦、苏丹、乌拉 圭、加纳、肯尼亚、蒙古等,人口少,经济基础薄弱,电力市场规模小。仅有二、



三百万千瓦,甚至不足一百万千瓦的电力市场规模,无法容纳百万千瓦的核电机组,在经济上也难以承受。

四是决策流程复杂漫长。

核电项目投资大,建设周期长,建成后对国家电力供应影响较大,公众对核的关注程度也较高,是足以引起全社会关注的重大工程。同时,世界上具备核电技术的国家有限,多数希望新建核电的国家都需要引进技术,而核电对出口和就业的拉动巨大,出口国政府自然高度重视。号称"百年工程"的核电项目往往受到国际政治和外交的显著影响。因此,各国核电项目往往会面临最复杂的项目决策过程,涉及中央政府、议会,以及地方政府、公众与本地企业,还常常成为争夺选票的敏感话题。

#### 3. 对核电"走出去"市场规模的判断

按照过去十多年的实际开工情况,作者认为,2030年前,全世界(不含中国)新开工核电机组约40-60台,可望投产2000万-3000万千瓦;再加上中国可能开工50-70台机组,投产5000-7000万千瓦;预计到2030年,全球核电装机容量将在4.2-4.5亿千瓦。

俄罗斯 ROSATOM 现有海外订单 33 台机组<sup>viii</sup>(其中 10 台已经正式开工<sup>ix</sup>)。 以及俄美法韩等国内建设核电的需求,2030 年前我国核电企业能够参与竞争的 核电机组数量,预计每年 1-2 台。

潜在的市场国家大致可分为两类:一类是已有核电或计划建设核电的发展中国家,这些国家多数具备人口多、人均发电装机容量低,经济形势较好的共同特点,如印度、巴基斯坦、印度尼西亚、埃及、越南、菲律宾等。随着经济的发展,对电力的需求快速增加,核电必然是解决能源供应问题的重要选项。

另一类则是替代旧机组退役。到 2030 年,全球将有 122 台、9068 万千瓦机组运行时间达到 50 年。到 2040 年,又将有 200 台、1.91 亿千瓦机组投运 50 年 \*。欧洲占全球核电装机数量和容量的 40%,机组投运时间早,未来 20 多年,特别是 2030-2040 年期间,必然面临大批核电机组退役。从减少温室气体排放、电网安全和经济性等方面考虑,需要建设一批新机组来取代,英国已经做出了表率。

可以预期,如果没有可替代核电的稳定电源技术出现,随着大批老机组退役和发展中国家对能源需求的巨大增长,2030年后,核电建设规模真正有望迎来





春天,每年开工机组数(不含中国)可望超过10台。

#### 三、国际主要竞争对手分析

据国际原子能机构数据,截至 2017 年 12 月 31 日,全球运行核电机组 448 台,装机容量 3.905 亿千瓦,累计运行超过 1.7 万堆年。全球在建机组 57 台,容量 5828 万千瓦,分布在 15 个国家,包括阿联酋、白俄罗斯、孟加拉国 3 个尚没有运行核电机组的国家。在运行核电机组中,压水堆比例为 65%;在建核电机组中,压水堆则占到了 82%。<sup>xi</sup>可见,压水堆在核电市场中的竞争优势进一步增强。世界在运在建核电机组堆型统计见表 2。

堆型	运行	在建
压水堆	292	47
沸水堆	75	4
重水堆	49	4
快堆	3	1
高温气冷堆		1
气冷石墨堆	14	
水冷石墨堆	15	
合计	448	57

表 2 世界核电机组堆型统计

数据来源:据 IAEA power reactor information system 数据

目前,具备出口压水堆核电技术的国家主要有美国、法国、俄罗斯、韩国和中国。

#### 1. 美国和法国

2017年,美国西屋公司启动了破产重组,而法国阿海珐集团的重组则基本完成。核电界曾经的的两个领导者辉煌不再,预计未来也难以成为竞争的主力军。

**西屋破产重组。**当地时间 2017 年 3 月 29 日,日本东芝公司旗下的西屋依据 美国破产法第 11 章,向纽约南区破产法院提交破产重组申请。西屋重组的核心



是将亏损严重的美国新建核电站业务与其他经营良好的业务隔离,美国业务由东芝承担兜底责任,其余业务重组为新的西屋公司。6月10日和7月28日,东芝先后发布声明,宣布与 Vogtel 及 V.C Summer 项目业主达成协议,将为两个项目业主分别赔偿36.8亿美元和21.68亿美元。7月31日,美国 V.C Summer 核电项目业主宣布将停止建设,但 Vogtle 项目则决定继续建设。2017年12月14日和2018年1月12日,东芝宣布提前完成赔偿,最终赔偿金额57.88亿美元。2018年1月4日,西屋电气公司已同意以约46亿美元被 Brookfield Business Partners L.P. 及合作机构(统称"Brookfield")收购。这一收购价格包括股权、长期债务以及一定的养老金、环境以及其他经营业务。1月18日,东芝发布公告,西屋资产处置分为两部分,一是与西屋有关的诉讼权益,出售给 Nuclues Acquisition LLC; 二是西屋的资产及股份,出售给 Brookfield。3月底,西屋出售给新买家的重组计划获得破产法院的批准。Brookfield 收购西屋公司的协议正式生效要等到美国政府各监管部门的审核批准,还需要三到四个月左右,预计将于2018第三季度完成。

阿海珐重组。欧盟委员会 2017 年 1 月 10 日宣布,对法国核能巨头阿海珐集团的重组计划有条件放行。欧盟委员会认为,法国给该集团注资 45 亿欧元"符合欧盟关于国家救助的规定。重组计划将让阿海珐集团在不违背单一市场竞争规则的情况下维持运转"。 2017 年 12 月 22 日,法国国营公用事业公司法国电力(EDF)表示,根据调整后的估值,公司将以 24.7 亿欧元收购阿海珐核电公司的 75.5%股份。日本三菱重工(MHI)将同时收购阿海珐核电公司 19.5%的股份,而法国工业工程公司 Assystem 将收购 5%的股份。2018 年 1 月初,阿海珐核电公司更名为法玛通。原阿海珐集团分割为几大部分:阿海珐核电负责反应堆业务,已经卖给了 EDF;创建新公司 New Co 致力于核燃料循环的前后端;阿海珐本身仍作为一个控股公司,直接处理导致其数十亿欧元损失的芬兰 EPR 项目。在出售阿海珐核电的股份后,新阿海珐集团将是法国一家国有核能与可再生能源公司。主要开展铀开采、铀转化和浓缩、乏燃料再循环、后勤、退役和工程活动。2018年 1 月 23 日,新阿海珐公司宣布更名为欧安诺(Orano)。

**原因分析及影响**。西屋和阿海珐巨额亏损的原因颇有一些相同之处: 直接的原因是两家公司都签订了固定价的工程总包合同:阿海珐在芬兰签订



的是固定价合同;西屋则收购了负责美国 4 台 AP1000 工程总包的 CB&I/ Stone and Webster 公司,也接手了一个固定价合同。两家公司均是老牌核电集团,科研设计能力强大,具有做好进度、资金、质量三大控制能力,因而接受了固定价的总包合同,并希望获取超额利润。然而,两家公司均缺乏工程管理队伍和经验,导致进度、成本基本失去控制,背上了几十亿美元的债务。

根本的原因则是核电建设中断,人才队伍断档。美国自三里岛事故后有三十多年没有新核电项目开工,而法国在 2007 年 FA3 机组开工之前,法国本土最后一台开工的核电机组是 1991 年的 civaux-2 号,也相差 16 年之久。长期没有新项目开工,导致人才匮乏。首先表现在设计能力严重不足,中国三门、海阳和台山项目的设计变更项数量,远远大于同期国内在建的其他核电机组。而对全社会而言,核电建设需要的不仅仅是设计服务和关键设备供应,还包括满足核质量保证要求的上游供货商体系。AP1000 主泵、爆破阀的研发拖期,EPR 压力容器制造出现的质量问题,都反映出两国的核电工业体系在长期缺乏订单的情况下难以维系。

法国人的问题并非始于 EPR。EPR 源自法国在引进西屋三环路压水堆后逐步改进形成的 N4,而 N4 共建设了四台机组,从 FCD 到首次临界时间最短的是 8年8个月,最长的是 12年7个月,平均也超过 10年。工期如此之长,设计不成熟必然是重要因素之一。在一个没有很好掌握技术的 N4 基础上推出的 EPR,也就难免继续出现工期延误了。法国 N4 机组建设关键时间节点一览见表 3。

FCD 时间 临界时间 并网时间 商运时间 Chooz B-1 1984/01/01 1996/07/25 1996/08/30 2000/05/15 1985/12/31 Chooz B-2 1997/03/10 1997/04/10 2000/09/29 Civaux-1 1988/10/15 1997/11/29 1997/12/24 2002/01/29 Civaux-2 1991/04/01 1999/11/27 1999/12/24 2002/04/23

表 3 法国 N4 机组建设关键时间节点一览

数据来源: 作者据 IAEA power reactor information system 数据统计



由于新堆型首批建设不顺利,造价也屡破新高。下一个将采用 EPR 技术的英国欣克利角 C 项目(总功率 320 万千瓦),造价估算为 203 亿英镑<sup>xii</sup>,单位千瓦投资约 8900 美元。美国 Vogtle 项目预计两台 AP1000(总功率 250 万千瓦)的总成本将达到 250 亿美元<sup>xiii</sup>,单位投资达 10000 美元/千瓦。如此高的比投资,大大削弱了美、法两国国际核电市场的竞争力。

#### 2. 韩国

2009 年底,韩国出人意料地在阿联酋核电招标中获胜,计划建设四台 140万千瓦机组,合同金额约 200亿美元(比投资约 3600美元/千瓦) xiv,四台机组已经分别于 2012-2016年开工。负责建造核电厂的企业联盟包括韩国的 KEPCO及子公司、三星、现代和斗山重工,美国西屋电气公司,日本东芝公司。此后,韩国与阿联酋在石油开采、军事等领域开展大量合作。

韩国曾对核电国际市场雄心勃勃,但 2017 年韩国政府宣布弃核,新古里 5号机组一年中经历了开工、停工、又复工的闹剧。首个采用 APR1400 的新古里 3号机组 FCD 到临界历时 7年 2 个月,2009 年 8 月开工的第二台 APR1400 则至今没有临界\*\*。如果后续阿联酋项目未能按计划工期完成,韩国未来的核电出口事业将大受打击。

韩国人均 GDP 是我国三倍,人均工资则是我国四倍。但通过政府的大力支持,韩国出口核电造价明显优于美欧,甚至低于俄罗斯和我国。与韩国相比,我国装备制造企业生产的核电关键设备及锻件、核电工程土建安装等具备价格优势。因此,预计韩国只能在短时间内对我国形成一定的竞争压力。

#### 3. 俄罗斯

2017年11月,采用俄罗斯 VVER 技术的孟加拉卢帕尔核电站1号机组开工,总投资141.3亿美元,比投资为5888美元/千瓦,俄罗斯提供113.8亿美元贷款,利率4%<sup>xvi</sup>。2015年底两国签署协议,建设两座单机容量120万千瓦反应堆。

在过去的十多年间,俄罗斯凭借 VVER 建设成本低(造价约在 5000 美元/千瓦左右)、融资条件好(长期贷款利率约在 4%左右)、完整的核燃料循环产业链等优势,特别是在中国、印度已经建成多台机组的示范效应,在国际核电市场一枝独秀,目前在海外同时推进 33 台机组<sup>xvii</sup>。

俄罗斯人均 GDP 与我国相当,人均工资甚至低于我国,核电出口得到俄罗





斯政府的大力支持。在未来相当长的时间里,与俄罗斯相比,我们在技术、价格、 融资条件等方面都难以取得优势。

#### 四、对我国核电"走出去"的建议

上述分析表明,2030 年前我国核电企业能够参与竞争的核电机组数量,预 计不超过每年 1-2 台。严峻的竞争态势,将大大增加我国核电"走出去"的困难。 然而,也给了我国核电企业足够的时间练好内功,迎接2030年之后世界核电建 设"第二春"来临。

#### 1、从国家战略层面上切实推进核电"走出去"

核电"走出去"是体现国家竞争力和影响力的战略举措,具有重大的战略意义,需要举全国之力,重拳出击。建议在国家层面上组建专门领导小组或部级协调机制,制定核电"走出去"发展策略,配合"一带一路"倡议,在体制机制上进行创新、形成合力。建议在上海经济合作组织、亚洲基础设施建设银行(AIIB)、丝路基金等组织建立专门的对接部门,切实推进核电"走出去"战略的实施。

#### 2、 坚持核电持续稳定发展, 建设好示范项目

国际正反两方面的经验都告诉我们,保持核电的持续稳定发展,保持一定的国内核电在建规模,既能够保持一支高素质的核电人才队伍,又有利于核电技术的持续改进与创新。

我国连续进行了三十多年的核电建设,在建设能力和水平方面具备一定的优势。在 2000 年以后投产机组中,中国建设的 40 台机组(含实验快堆及出口巴基斯坦 4 台机组)平均建设周期(FCD 到并网)5 年 7 个月;而世界其他国家,平均建设周期 20 年以上 7 台,15 年以上 12 台,其余 24 台平均 6 年 11 个月\*\*\*iii。虽然我国核电建造成本呈上升趋势,但人力成本低,仍使我们的造价低于多数竞争对手。

坚持核电持续稳定发展,把我国核电做大做强,是我国核电"走出去"的基础。继续做好国内项目建设,特别是出口堆型的示范项目建设,切实做好质量、进度和成本控制,能够为我国核电"走出去"增加竞争筹码。

#### 3、选择重点目标国,做好市场开拓工作

目前国际核电市场主要集中在三类国家:一是人口较多、已有核电的发展中



国家,这类国家能源消费增速相对较高,具有一定的核电基础,决策阻力小。二是欧洲核电国家"以旧换新"。其能源消费基本稳定,但核电机组多数已经运行30多年,面临延寿改造或者退役更新。三是与我国友好的新兴核电国家。但由于这类国家通常现有电力装机小,经济和工业实力弱,真正开展核电建设就需要为其制订全面的发展规划和长期准备。

福岛事故后,国际核电市场竞争格局正发生新的变化。在新的形势下,核电企业必须加强战略研究,选择好重点目标国,在市场开拓上下更大的功夫。要与能源、制造、金融等相关企业建立信息共享和长期合作机制,在长期跟踪过程中,开展常规能源、核电设备供应等各种形式的合作,逐步熟悉目标国的能源市场与法律、金融环境,为未来的项目竞标与实施做好准备。

#### 4、建立国际化的运行机制,做好风险防范工作

当前,"中国制造"逐渐向"中国创造"转型,与发达国家形成正面的、激烈的市场竞争,引起一些国家的警觉和抵制。近期美国向中国发起"301调查",主要就是针对中国有关技术转让、知识产权和创新的政策和举措,并不惜发起贸易战,以遏制中国的技术崛起。核电"走出去"无疑也会遭遇类似的正面冲击。建议未雨绸缪,组建符合国际规范的、全球化的运营机制和风险防范机制,为核电"走出去"提供支持。

核电项目投资大、周期长、风险高,必须高度重视政治风险、非传统安全威胁风险、法律风险和金融风险。一方面需要我国政府通过制定法律,签订双边或多边协议、条约,以及采取外交手段来努力避免风险的发生;一方面要求企业在海外投资中认真分析目标国各类风险可能带来的影响,采取规避和防范措施,降低风险发生的可能性。

在知识产权领域,一方面要加快自主品牌关键技术攻关,推进关键设备国产化与自主化,加强核电"走出去"知识产权战略研究和知识产权专业人才培养,建立核电"走出去"知识产权合作共赢机制;另一方面要加强对目标国知识产权法律环境的研究,及早开展海外核电市场专利布局,建立核电"走出去"知识产权预警机制。





i 本节数据均为作者根据 IAEA power reactor information system 数据整理。

http://www.world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-power-reactors-and-uranium-requireme.aspx,最后登录时间 2018 年 4 月 7 日

- 作者据世界核协会等网站及我国核电企业走出去进展信息统计。
- <sup>™</sup> 南非 1500 亿美元建六核电站 中法联合竞标,人民网,

http://mnc.people.com.cn/GB/16090194.html, 2011 年 11 月 1 日,最后登录时间 2018 年 4 月 7 日

- <sup>v</sup> 2017 版 BP 世界能源统计年鉴, p2-3, 2017 年 6 月
- vi 2017版 BP世界能源统计年鉴, p2, 2017年6月
- vii 行琛, 1 毛 2 的全球最低光伏电价,沙特凭什么?索比光伏网,

https://news.solarbe.com/201710/11/119263.html, 2017年10月11日,最后登录时间2018年4月7日

- viii ROSATOM,h<u>ttp://www.rosatom.ru/en/about-us/</u>,最后登录时间 2018 年 4 月 7 日
- ix 作者据 IAEA power reactor information system 数据统计。
- × 作者据 IAEA power reactor information system 数据统计。
- xi 作者据 IAEA power reactor information system 数据统计。
- xii 《英国想造个最贵核电站 评论:没中国的技术很难成》,网易,

http://tech.163.com/18/0112/00/D7TJN3DH00097U81.html, 2018年1月12日,最后登录时间 2018年4月7日

xiii 美国将继续建造 1978 年以来的首座新核电站,北极星电力网,

http://news.bjx.com.cn/html/20171228/870611.shtml, 2017年12月28日,最后登录时间2018年4月7日

xiv 韩国财团赢得 200 亿美元阿联酋核电站合同,新浪财经,

http://finance.sina.com.cn/stock/usstock/c/20091228/10467162964.shtml, 2009 年 12 月 28 日, 最后登录时间 2018 年 4 月 7 日

- x<sup>v</sup> 作者据 IAEA power reactor information system 数据统计。
- xvi 孟加拉国首座核电站项目开工,新华网,

http://www.xinhuanet.com/world/2017-12/01/c\_1122039212.htm, 2017年12月1日,最后登录时间2018年4月7日

xvii ROSATOM,http://www.rosatom.ru/en/about-us/,最后登录时间 2018 年 4 月 7 日

xviii 作者据 IAEA power reactor information system 数据统计。

<sup>&</sup>quot;世界核协会,



扫码关注 请华大学产业发展与环境治理研究中心

主 编: 薛 渊 陈 玲 责任编辑: 赵 静

清华大学产业发展与环境治理研究中心 编辑出版

Email: cideg@tsinghua.edu.cn 电 话: 010-62772497 62772593

