

# 欧洲核电发展冰火两重天



■ 管泳仿 苗中泉 毛吉康

当地时间4月15日,德国宣布关闭国内最后三座核电站,正式告别核电时代。翌日,欧洲最大核电机组——芬兰奥尔基卢奥托核电站3号反应堆正式投入运营,该核反应堆装机容量为160万千瓦,是芬兰自上世纪80年代以来首次新建的核电机组,而这距离欧洲上一个建成投运的核电机组也已过去16年。一边“弃核”,一边“拥核”,欧洲核电发展可谓“冰火两重天”。

## 福岛核事故以来,欧洲总体上正在形成以核电立场为“界河”的二元核能地缘格局

欧洲民用核电发展一直居于世界领先地位。从规模上看,目前在运的核电机组,欧洲占据1/3。从技术水平看,以法国、德国为主要代表的欧洲核电技术,运行效率高、安全系数高,是老牌核能强国中唯一未出现重大核安全事故的地区。法国电力公司的核电技术在很长一段时间内甚至成为世界核电行业的标杆。但自从美国、苏联先后出现核泄漏事故后,欧洲对核电的态度从积极转向保守,新建核电项目基本停滞。日本福岛核事故恰逢欧陆上世纪六七十年代大规模建成投运的核电站即将退役、延寿的时间节点,大众对核电的安全忧虑成为决定欧洲核电未来发展的关键因素。而在运的核电站为了满足大众与监管部门日益提升的安全要求,不得不在常规安全成本之外,追加新的大规模安全投入,进一步压降了核电站的经济性。与此同时,主要由来自中国的廉价光伏设备支撑的欧洲太阳能事业发展迅速,其本土风电也在二十一世纪的第二个十年,借助政策红利、技术突破、模式创新,尤其是碳市场机制等迅速发展。就总量而言,欧洲风、光等新能源发展已表现出最终完全取代核电的势头,这也成为推动欧洲多个国家进一步“弃核”的关键。

在此背景下,放眼欧洲,隐约可见一幅以核电立场为“界河”的二元核能地缘格局图。“界河”的一侧,是核电的坚定支持者,以法国和大部分东欧国家为主,不仅对老化核电机组进行延寿处理,而且积极谋划新建新的核电站。2022年2月,法国总统马克龙宣布重启核电计划,计划到2050年新建6座第三代压水反应堆(EPR2),并对再建8座核反应堆进行可行性研究,这是2002年以来法国首次在境内规划新建核电。此外,法国还将在运的56座核反应堆中32座的运行寿命从40年提高至50年。波兰政府2021年2月发布《至2040年能源政策》,计划建设6台核电机组,首台机

组装机容量为100万千瓦至160万千瓦,将于2033年投运,之后每两年建成1台机组。匈牙利政府于2009年批准新建两座120万千瓦核电机组,2014年,匈牙利与俄罗斯国家原子能公司签署核电机组建设协议,原计划于2025年投运,但由于欧盟对俄制裁,投运日期被推迟至2032年。捷克计划到2035年新增核电装机容量250万千瓦,到2040年核电占比超过46%。

“界河”的另一侧,是坚定的“弃核”派,以德国和部分西北欧国家为主,不仅反对进一步发展核电,而且有意陆续关停在运核电机组。德国西门子等能源公司的核电业务,曾被视为二战后德国崛起的标志之一。但从21世纪初,先后在施罗德和默克尔政府领导下,德国逐渐确定并持续推进“弃核”政策和路线图。福岛核事故后,核物理学家出身的德国总理默克尔宣布将于2022年底前全部关停德国境内的核电机组。除德国之外,欧盟的其他一些无核电国家,如奥地利、卢森堡、丹麦等,也明确反对发展核电,甚至在欧盟通过将发电的核电厂和燃气电厂归为“可持续”能源的提案后,奥地利、卢森堡政府官员声称将采取法律行动上诉至欧盟法院,阻止上述提案生效。

对欧盟层面而言,核电政策立场是现实博弈的结果,目前已经将核电纳入绿色能源范畴。核电在欧盟电力系统中发挥着举足轻重的作用,13个欧盟成员国运行着103座核电站,2021年欧盟超过1/4的电力来自核能,其中一半以上的核电来自法国。2022年2月,在法国与东欧国家的推动下,欧盟委员会提案将核电纳入可持续投资的“过渡”能源,为欧盟范围内核电建设融资扫清了障碍。尽管德国、奥地利和卢森堡等国家明确反对为核电贴上“绿色标签”,但最终未能在2022年7月举行的欧洲议会投票中阻止上述提案的通过。

## 能源资源禀赋、经济发展情况、核能产业优势等因素是欧洲内部核电立场分化的主要考虑

首先,各国能源结构不同,应对气候变化、实现能源转型的压力不同。支持核电的国家中,核电在其国民经济中占有重要地位。法国核电占比超过70%,核电是其第一大电力来源。波兰拥有欧洲最大的煤炭储量(超过175亿吨),是仅次于德国的欧洲第二大煤炭生产国,核电占比接近85%,通过发展核电可满足本国能源需求及应对气候变化的要求。按照计划,到2040年,所有6个机组全部投入运营后,可满足波兰36%的电力需求。此外,捷克、斯洛伐克、斯洛文尼亚、匈牙利和保加利亚的核电在其能源结构中的占比都超过了35%,核电是上述



图为捷克某核电站。

国家满足本国能源需求、应对能源转型的有效保障,无法在短期内实现完全“弃核”。而强烈反对核电的国家中,几乎没有核电装机或核电占比低,且相关国家的可再生能源发电占比通常较高、增速较快。德国2021年核电占比仅为13%,可再生能源占比却超过40%,过去五年增加了10个百分点,可再生能源的快速发展为德国弃核提供了有利条件。奥地利和丹麦两国均无核电装机,奥地利主要以水电和风电为主,丹麦以风电和生物质发电为主,两国的可再生能源发电占比均达70%左右,上述两国几乎没有应对气候变化、推动能源转型的压力。

其次,各国电力进出口情况差异较大,确保本国电力稳定供应的条件不同。欧洲国家电力互联互通水平较高,各国通过与周边国家的电力进出口贸易,满足自身电力供应缺口和出口多余电力。大部分反核国家当前都可以从邻国进口足够的电力以满足本国电力需求。反核呼声最大的卢森堡,其国内电力需求几乎全部依靠从德国和比利时进口,奥地利和丹麦的电力进口量也分别超过本国电力消费的34%和51%。但是,大部分东欧国家电力进口量相对较小,主要依靠本国自身的电力设施满足电力需求,因此核电就成为这些国家的现实选择,如波兰、捷克电力进口量仅占本国电力消费的8%和18%。

再次,各国经济发展情况不同,对电力成本的敏感性存在较大差异。核电相对风电、太阳能发电的成本更低。以法国为例,2020年该国核电的平准化发电成本为31美元/兆瓦时,仅为风电的44%,得益于核电成本优势,2021年上半年法国家庭电费支出约为欧盟国家平均水平的90%。卢森堡、奥地利、丹麦、德国等反对核电的国家,其人均GDP均位于欧盟前列,对电力成本的敏感性较低,为应对气候变化、实现能源转型可承担相对较高的电力成本。但波兰、匈牙利、捷克、斯洛伐克等支持核电发展的东欧国家,人均GDP远低于欧盟平均水平,不仅上述国家人均水平的一半,对电力成本的敏感性较高,希望通过发展核电降低国内用电成本和能源转型成本。

最后,法国具有核电领域的技术和产业优势,有较强意愿推动核电在欧盟能源转型中发挥重要作用,当前高度依赖外部

能源供应的德国无法与之抗衡。法国是最早应用核电的国家之一,建立了完整的核工业体系,拥有核电站投资、设计、运营、退役等全生命周期的相关技术能力,核电产业和技术优势明显。早在1989年,法国核电占比就已达75%,长期运营过程中积累了成熟丰富的安全管理经验。过去20年,法国在核电领域投资超1600亿美元,法国电力公司在核电领域的研发经费和专利数量均居全球企业首位,因此,法国坚定将核电作为其未来实现能源转型和能源自主的重点方向。德国虽然坚定“弃核”,但目前严重依赖外部能源供应。即便按照拟定计划在2034年上半年实现化石能源彻底“去俄化”,德国也要大力从欧洲其他国家尤其是法国每年进口规模巨大的电力,而其中很大一部分来自核能发电。这种本国“弃核”而从邻国采购“核电”的行为,被德国国内的拥核派斥为“虚伪”。这也决定了至少在现阶段,同为欧盟的两大强国和主导者,德国的“弃核”主张,无法压倒法国的“拥核”立场。这也是欧盟层面核电立场复杂多变的根源所在。

## 未来可预见的时段内,全球核电仍处于向上发展的态势,而欧洲核电将继续保持二元对立基本格局

俄乌冲突引发能源危机后,面对天然气价格的高位波动和全球能源贸易的潜在风险,美国、英国、日本、韩国等国均将发展核电作为应对能源危机、实现本国能源转型和能源自主的重要途径。美国能源部2022年2月发布《维护供应链安全以大力推进清洁能源转型的综合战略》,明确提出在2025年后完成大型轻水反应堆新建计划,建设并运行模块化小堆、微堆,扩大先进核技术出口等核能发展目标。英国2022年公布的新版能源安全战略中,计划新建8座核反应堆和16座小型模块化反应堆,制定了到2050年核电装机容量扩张至2400万千瓦、发电占比达到25%的目标。日本2022年下半年修改能源发展战略计划,重启核电项目,并通过电力行业修正法案,允许核电站超期服役。韩国加大核电产业

投资,拟到2030年将国内核电发电比例提升至30%以上,并以核电产业优势为基础,积极开拓国际核能市场,旨在重新成为全球安全核反应堆的主要国家。全球主要核电国家对核电产业的加大投入,势必推动新型核电技术加速实现商业化运行,核电站的安全性能将大幅提升,建设和运营成本也将进一步降低,核电技术将更具吸引力。因此,从全球范围看,核电发展仍处于上行态势中。

与此同时,未来可预见的时段内,欧洲核电的发展仍会呈现二元格局,但绝非一成不变。从欧洲尤其是德国的务实主义性格来看,“弃核”后并非彻底“戒核”,在面临能源保供压力、经济发展紧迫需要时,以德国为代表的“弃核”国家同样会根据客观形势要求重启核电,甚至不排除再度转变为积极“拥核”者的可能。而以法国为代表的“拥核”派,身处当前核电发展新一轮“小高潮”中,仍需严肃应对两项基本挑战。

一是安全担忧。欧洲现有核电站老化问题严重,影响核电出力,打击公众对核电的信心。据欧盟评估,目前欧盟境内的大部分核电站即将达到当初的设计年限,预计到2050年,欧盟90%的核电站面临退役或改造。以法国为例,其境内的56座核反应堆平均年龄为35年左右。2022年,由于多个核电机组因老化出现管道应力腐蚀现象,法国境内多座核电机组陆续关闭,进行检修。2022年8月28日,近65%的核电机组关闭,导致法国出现电力供应紧张。由于核电机组大修周期长,2022年法国核电发电量占比下降至62.7%,较2021年下降约7个百分点。

二是经济性。现有新建核电站建设过程中存在一定技术问题,导致核电站工期严重滞后,投资预算大幅上升。芬兰新投产的奥尔基卢奥托核电站3号反应堆于2005年开工建设,最初计划2009年投入运营,但由于多项技术问题困扰,机组延迟至2023年才正式投产运行。法国本土唯一一座在建核电站弗拉芒维尔核电厂3号机组,2007年开工,原计划于2013年投运,同样由于部分技术原因,目前项目工期推迟近10年,预计项目完工成本也增至127亿欧元,约为最初预算造价的4倍。(作者均供职于国网能源研究院)

# 深挖甲烷减排利用潜力 助力经济社会绿色低碳转型

■ 向柳 文新茹 贺光艳

作为结构最简单的碳氢化合物,甲烷广泛存在于天然气、煤矿瓦斯、沼气和页岩气中,既是优质燃料,也是制造合成气和许多化工产品的重要原料。在漫长的历史进程中,人类活动产生的甲烷排放量并不大。但工业革命以来,随着煤炭开发、油气开采、垃圾填埋、牲畜养殖、水稻种植等活动大规模开展,甲烷排放出现较快增长,成为温室气体的第二大来源。评估显示,全球人为甲烷排放中,40%来自农业,35%来自能源,20%来自废弃物。甲烷排放持续增加,导致大气中甲烷浓度攀升至创纪录高位,加剧全球气候变暖。2021年,大气中甲烷平均浓度突破1900ppb,达到工业化前水平的2.6倍,为近80万年来最高水平。

甲烷虽然是短寿命温室气体,在大气中的平均停留时间约为10年,排放量不及二氧化碳,但因在相同质量下、20年时间尺度上的全球增温潜势是二氧化碳的86倍,使其成为仅次于二氧化碳的全球气候变暖贡献者。减少甲烷排放可对减缓气候变化起到立竿见影的效果。同时,甲烷本身也是宝贵的清洁能源,控排、采集、回收甲烷兼具经济、社会、安全等多重效益,具有实现气候、经济双重效益的潜力。

随着气候变化风险加剧,全球气候治理逐渐从注重二氧化碳减排转向全经济领域温室气体低排放发展,甲烷减排紧迫性持续上升。2019年,联合国环境规划署、气候与清洁空气联盟发起“全球甲烷联盟”,致力于支持设定更具雄心的甲烷减排承诺。2021年,有关国家和组织发起“全球甲烷承诺”倡议,超过100个国家加入。欧盟将“甲烷减排战略”作为《欧洲绿色协议》的



资料图

组成部分。一些国际油气公司发起成立“油气气候倡议组织”,承诺降低供应链上游甲烷排放强度。

我国是甲烷排放大国。根据我国向联合国机构提交的报告,2014年全国甲烷排放量为5357万吨,约为11亿吨二氧化碳当量,约占温室气体排放总量(不包括土地利用、土地利用变化和林业)的9%、非二氧化碳温室气体排放量的56%。其中煤矿开采产生的甲烷排放占甲烷总排放的46%。近年来,我国不断加强甲烷等温室气体管控,支持煤矿瓦斯回收利用,推动甲烷回收利用及检测,构建水稻丰产与甲烷减排的稻作模式,促进畜禽养殖废弃物资源化利用,强化垃圾回收利用和低碳化处置。一些企业和机构还制定甲烷排放管控行动方案,搭建“中国甲烷论坛”,发起《中国城市燃气企业甲烷控排倡议书》,成立“中国油

气企业甲烷控排联盟”,加快推动行业甲烷低排放和高质量发展。

预计未来一段时期内,我国甲烷排放回收、利用、减排挑战与机遇并存。一方面,随着经济发展、城镇化和居民生活水平的提高,甲烷排放仍将较大。同时,甲烷泄露和排放的监测统计核算体系不完善,一些领域甲烷减排技术成熟度较低、推广成本较高,工作机制和激励约束机制不健全。另一方面,经济发展为甲烷减排创造了更好的物质技术基础,甲烷排放控制政策标准体系加快完善,甲烷检测和回收利用路径选择更多、技术加快成熟,低甲烷排放场景更加丰富和多元。

锚定美丽中国建设和碳达峰碳中和目标愿景,应坚持稳中求进的工作总基调,把握好发展与甲烷减排的阶段性、区域性特征,充分考虑甲烷回收、利用、减排的经济

可行性和技术可行性,统筹好近期与远期、减排与利用、减排与安全、减排与民生的关系,以能源活动为重点,统筹农业活动和废弃物处理,通过数据管理、工程示范、技术推广,分阶段、有步骤地推进甲烷排放控制,推动甲烷减排发展,夯实经济社会绿色低碳转型基础,充分释放气候效益和经济效益。

一是建立感知体系。加强能源、农业、废弃物领域基础统计体系,提高甲烷排放核算活动水平数据的覆盖度和精准度。常态化编制国家、省、市温室气体清单,逐步建立长时间序列、多空间维度的甲烷排放数据库。健全细分领域甲烷排放核算方法和指南,加快补齐油气运输和终端消费、污水处理、垃圾处理、种植业、养殖业等领域甲烷排放主体的核算短板。加强甲烷排放及其核算关键参数实测水平,开展高精度甲烷监测评估,推动排放因子实测化、本地化。

二是优化政策支持。加快出台控制甲烷排放的顶层设计文件,明确甲烷减排的优先序、时间表和路线图,有效指导甲烷减排行动。将甲烷减排纳入能源发展、农业农村、生态环保等领域政策体系,研究制定煤层气、农村沼气开发利用和垃圾焚烧发电、畜禽粪污处理等专项扶持政策,完善既有垃圾填埋场、废弃煤矿井、高甲烷排放工业污水处理厂甲烷回收利用支持政策。探索将甲烷排放影响纳入能源发展和生态环保项目环境影响评价体系,推动减排措施调整优化。

三是明确减排路径。加大煤层气勘探开发,探索关闭煤矿的残存煤层气资源开发。严格控制气井火炬排放,推动评价井、边远井试采气天然气回收,开展地面工程

集输系统和敞开液面密闭流程改造,推广光纤预警系统、次声波泄漏监测系统和带压补漏、套筒修复等管道修复技术。强化稻田水分灌溉管理,降低水稻单产甲烷排放强度。改进畜禽饲养管理,推广粪污密闭处理、气体收集利用或处理技术。减少原生生活垃圾填埋,逐步消纳存量填埋垃圾。研究推广甲烷减排污水处理工艺,鼓励食品饮料等行业和园区建设污水厌氧处理产生甲烷的回收利用设施。

四是突出科技支撑。加强甲烷回收利用和减排技术研究,加强关键前沿减排技术攻关。开展甲烷排放检测、监测、核算等技术方法研发。开展低渗透煤层气水平井增产措施等煤层气勘探开发技术攻关。选择具有采气、集输、处理等工艺代表性的天然气(页岩气)区块,开展甲烷减排整体技术可行性先期试点。鼓励重点天然气(页岩气)勘探开发企业开展碳排放影响评价。支持甲烷排放检测与控制示范,打造甲烷减排技术集成示范区。

五是强化机制保障。将甲烷减排纳入生态环境保护、碳达峰碳中和和工作布局,发挥政府在政策制定、标准统一、机制搭建方面的作用,同时发挥排放企业的减排主体责任,自觉采取减排措施。统筹发展气候投融资和绿色金融、转型金融,加大财政资金对甲烷回收利用和减排工程建设、技术攻关、试点示范等的支持。支持符合条件的甲烷利用项目参加国家温室气体自愿减排交易机制。开展甲烷控制能力建设活动,加强优良实践和适用技术研发推广。

(向柳、文新茹供职于四川省环境政策研究与规划院,贺光艳供职于天府永兴实验室减污降碳评估研究中心)