

## 编者按

今年下半年以来的全球能源危机再次点燃了人们对核能的热情,甚至在一直担当绿色能源急先锋的欧洲,不少国家又开始重新审视以核电弥补绿电的可能性。这是2011年福岛核事故以来,核能首次获得局部认可。英国投资5.5亿美元在国内建核电站,法国则逆欧洲的去核潮流,宣布将新建6座核反应堆,德国虽仍然坚持原有的2023年全面弃核计划,但其每年从法国大量进口的电力中,核电占比亦极大。这一切难道都表明,核能的“第二春”来了?国际原子能协会近期发布了《2021年核能国际地位与前景》报告,对近几年全球的核能发展进行了梳理和总结,本刊摘要刊发,期能为未来核能的健康发展提供参考。

本文图除署名外由 卢雪梅 提供

# 核能“第二春”真的来了吗?

## 核能地位再获国际认可

实现联合国确定的可持续发展目标的前提是,人人都能获得价格合理、供应稳定的可持续能源。随着全球能源版图的更新和演进,越来越多的人意识到这一点。国际能源署(IEA)2018年也曾表示,能源是全球实现可持续发展目标的关键,从拓展电力的获取到烹饪燃料的清洁化、从减少不必要的能源补贴到减少空气污染,涵盖范围广泛。而核电则是实现这个目标的重要组成部分。

过去50年,由于用核能替代石油、煤炭、天然气而取得的二氧化碳减排量为700亿~780亿吨。1970~2010年,法国和瑞典等大规模使用核能的国家成功实现了电力脱碳。2019年,核能发电量占全球发电量的10.4%,高达2657太瓦时。如果用天然气发电,这个发电量将

排放高达1.5亿吨的二氧化碳。研究发电技术的生命周期可以发现,核能发电是碳密度最低的技术之一,与水电和风电不相上下。因此,未来几十年,核能与风能、太阳能等可再生能源一起,仍将是电力部门脱碳的主要途径之一。

国际上对核能在减缓气候变化和可持续发展方面发挥的重要作用的认可度正在稳步提高。许多国家和国际组织分析了实现《巴黎协定》目标与能源系统脱碳的关系,都呼吁加大核能投入。根据国际能源署《2019年世界能源展望》的可持续发展设想,不仅需要在既有核能市场加大投入,而且其他市场,包括发展中国家也应考虑,同时不应仅局限于电力领域。

国际能源署2019年10月召开了其

第一次关于气候变化和核能作用的国际会议,吸引了来自79个成员国和17个国际组织的500多名与会者,首次汇聚了处理能源和气候变化的主要国际组织(联合国政府间气候变化专门委员会、国际能源机构和联合国经社部),讨论了核能在应对全球气候变暖方面的作用,并就核能在能源部门脱碳、实现全球气候目标上发挥的重要作用达成共识,提出核能需要政策支持才能充分挖掘潜力。

国际能源署在2021年5月发布的报告《2050年净零排放:全球能源路线图》中又重申了这一观点,并预计,虽然以太阳能和风能为主的可再生能源将起主导作用,但到2050年,全球核电产能将增长近一倍(在全球发电总量中的占比将

略降,至8%)。其最新的一份报告也显示,风能、太阳能和电池技术非常依赖一些关键矿物质,这些矿物质的丰沛程度将影响绿色能源的部署。另外,核能与水电一样低碳,且对矿物质的依赖度最低。欧盟联合研究中心在2021年3月发布的一项技术评估中称,没有证据表明,核电对人类健康或环境的危害比欧盟分类法中其他(低碳)发电技术更大。

核能的优势还在于成本。国际货币基金组织(IMF)2021年3月发布的报告显示,清洁能源投资对国内生产总值(GDP)的影响是天然气等化石能源投资的2~7倍,而在所有的清洁能源中,核电产生的经济乘数效应最大,单位电力需要的就业人数比风电多25%,核电行业的工资收入也比可再生能源行业高1/3。

## 全球核电发展势头良好

截至2020年底,全球有32个国家拥有核电,核反应堆442座,核电总容量为39.26兆瓦。而在疫情期间,核电稳定性也经受住了考验。2020年,全球核能发电量为2553.2太瓦时,约占全球发电总量的10%,占全球低碳发电总量的近1/3,新增5座压水堆,约5500兆瓦的新核能容量接入电网,其中包括白俄罗斯的白俄罗斯1号,1110兆瓦;中国

的天津5号和福清5号,各1000兆瓦;俄罗斯的列宁格勒2~2号,1066兆瓦;阿联酋的巴拉卡1号,1345兆瓦等。

白俄罗斯和阿联酋都是首次使用核能发电的国家,表明核电正被越来越多的国家所接受。世界上第一座先进模块化小型核反应堆,也是唯一的浮动核电站,即“罗蒙诺索夫号”号也在2020年开始商业运行。在全球范围内,90%

在营核电是轻水慢化冷却反应堆,其他分别为6%的重水慢化冷却反应堆、2%的轻水冷却石墨慢化反应堆、2%的气冷反应堆。退役的核电容量为5200兆瓦,6个核反应堆永久关闭。

总体而言,过去十年的核电容量仍呈逐渐增长态势,增幅超过6%。目前在建的52座核反应堆中,有9座位于首次试验水核电的国家,共有28个国家对发展

核能兴趣浓厚。有24个原子能成员国通过原子能机构与核基础设施有关的活动或技术合作参与了规划项目。10~12个成员国计划,2030~2035年运营核电站,这意味着核电国家的数量将增加近30%。

国际原子能协会提供的核基础设施综合审查服务深受欢迎,迄今已向22个成员国派出32个国际审查团。

## 核电成法国稳定能源供应的“救命稻草”

法国总统马克龙宣布,将重启新核电项目建设,以便将能源价格控制在合理范围内,并利用核电助力法国实现碳减排目标

### ●李丽曼

近日,法国总统马克龙宣布,法国将重启新核电项目建设,以便将能源价格控制在合理范围内,同时将利用核能帮助法国实现碳减排目标。在电价随气价上涨不断创历史新高之际,核电再度成为法国稳定能源供应的“救命稻草”。

### 再次规划新核电

多家外媒报道称,马克龙表示,法国将开始建设新核反应堆,并继续大力发展可再生能源。一方面,此举将确保法国能源独立,为其提供充足电力供应;另一方面,也有助于实现法国确定的其他目标,尤其是碳减排目标。

马克龙强调,全球经济正面临原材料价格上涨、能源短缺和通胀的挑战,在汽油、天然气和电价越来越贵时,法国政府将紧急做出回应。核电是将能源成本控制在合理区间内、降低对进口能源依赖的重要工具。另外,他还表示,法国也将提倡节约能源,加大本土零碳能源生产的投资力度。

一直以来,核电都是法国电力供应结构中的“主力”,但实际上,现在距离法国最后一次决定新建核电站已过去14年。2007年,法国电力公司Flamanville核电站的第三个核反应堆正式开建,但随后工期一再拖延,建设预算超过原计划数倍,目前该项目仍未完工。

不仅如此,过去10年,欧洲对于核安全的争议一再加剧,法国核电产业更是被念了“紧箍咒”。在法国前总统奥朗德任期内,法国政府宣布了2025年前削减排核占比的目标,提出将核能发电

在电力生产中的占比从75%降至50%,设置了核能发电生产上限,并将这一目标写入法国《能源转型绿色增长法案》。这也意味着,在老旧核电机组退役前,法国不能新建任何核设施。

但从实际情况来看,法国根本离不开核电。2019年5月,法国政府宣布推迟核电限制目标,将核电占比降至50%的时间期限从2025年延后到2035年。在今年10月公布的“法国2030年发展计划”中,核电成为法国“再工业化”发展的重要一环,小型模块化核反应堆和核电制氢都成为未来10年法国规划的重点领域。时至今日,法国核电终于迎来重启。

### 能源价格飙升是核电“复活”主因

法国的核电政策为何转向了?业内分析,今年飙升的电价是法国重启核电的主要“催化剂”。

受到全球天然气、煤炭等能源供应短缺影响,今年以来,欧洲能源价格一涨再涨。数据显示,10月初,法国合同交易电价最高已达到500欧元/兆瓦时,创下历史新高。

马克龙10月底宣布,将为月收入低于2000欧元的中低收入人群一次性发放100欧元补助,以缓解燃油价格高涨带来的压力。11月,法国电力公司发表声明称,2021年10月~2022年4月,即使消费者无法支付电费,也不会对其断电,但同时也规定,2022年4月起,将对欠电费的居民全年用电量设置上限。

但上述措施是“治标不治本”,重启核电建设成为法国保障能源供给的“救命稻草”。



一直以来,核电都是法国电力供应结构中的“主力”。

10月底,法国电网运营商RTE发布报告称,对于法国来说,实现2050年净零排放目标成本最低廉的办法就是大力发展核电,新建14座大型核反应堆和一系列小型模块化核反应堆,同时加上可再生能源电力投入,将能满足法国的能源需求。法国电力公司宣布,将在未来10年新建10座核反应堆。

路透社报道称,虽然目前马克龙尚未公布新建核电计划的细节,但预计法国政府未来几周会公布6座核反应堆的建设计划。

### 核电争议持续不断

法国政府宣布重启核电后,各界质疑也随之而来。首先是来自欧盟内部的“反核”声音。2011年日本福岛核事故后,多国对核电安全产生质疑,德国

早早宣布将尽快淘汰核能,并一再呼吁欧盟各国放弃核电。据欧洲媒体报道,在今年的联合国气候变化大会期间,德国联合卢森堡、丹麦、葡萄牙和奥地利形成“反核”联盟,认为核电并不符合欧盟“不造成显著危害”的能源规定,因此不应被纳入欧盟绿色经济发展框架。

路透社也报道称,在法国公布新建核电计划后,多个环保组织表示批评。一家总部位于荷兰的环保组织认为,法国新建核反应堆的计划与现实脱节,法国始建于2007年的Flamanville核电项目至今未完工,说明核电行业实际上已陷入困境。

另外,法国国际广播电台援引环保人士的话称,现在距离法国下一次总统大选仅有5个月,这意味着当前能源价格出现飙升,马克龙提出新建核电站很可能只是为了下次大选做准备。

## 影响核电未来发展六大因素

根据2015年《巴黎协定》目标进行的情景预测表明,2050年,核电在全球总发电量中的占比将在8%~10%,最乐观估计核电容量将增至715万兆瓦,悲观估计也将有大量新建核电站,因为到2030年,约1/3的核电站将退役,2030~2050年,预计新核反应堆的容量增加将与退役核反应堆的容量持平。

### ○成本控制

核能是资金密集型行业,核电站的建造成本约占核电总成本的3/4左右,对利率变化、建设周期和其他不确定性因素非常敏感,因此核电项目通常早期风险较大。为了应对这些不确定性,除了以多种融资模式获取资金和获得所在国政府的大力支持,还需要尽可能降低核电项目早期的巨大风险。

不少国家的核电项目起到了很好的示范作用,有些国家的采购价购电等措施来推进核电发展,包括芬兰的Olkiluoto和Hanhikivi核电站、土耳其的Akkyuyu核电站,以及英国的欣克利角C号核电站等。阿联酋的巴拉卡核电项

### ○电力市场

核电在电力市场上的地位逊于风电和太阳能发电,但优于化石能源发电,其所获的投資于2019年达到有史以来的

### ○应变能力

近年来频发的极端天气突显了核电的应变能力。一些易受洪水或炎热、干旱影响而出现故障的核电站加大了投入,采取了应对措施,确保核电站正常运行。维护和采取应对措施都需要投入,而投入规模取

### ○技术发展

核电技术的进步对于核能的推广意义重大。小型模块化核反应堆的海上、陆上应用进展迅速,竞争力在于更低的成本和更短的工期。目前共有72座小型模块化核反应堆技术设计,其中至少有25座将在2030年前进行项目示范。

该技术当前面临的挑战包括,示范项目的安全性和运行性能仍有待检验、是否能获得持续

### ○与可再生能源发电相辅相成

核能与可再生能源发电结合而成的混能系统(HES),可充分利用不同技术及其运行模式的优点,为电网提供可靠、稳定和平价的电力,是很

### ○核燃料的可持续性和废物处理

根据新核电站的数量和现有核电站的寿命预期,预计到2040年,世界每年铀需求量为5.66万~10万吨,这意味着当前的铀年产量无法满足需求,需要进行大规模勘探,寻找矿源。除了供应端,从需求端开展的工作可通过技术改进来提高核燃料利用效率,如核材料

的回收利用、燃料运行安全边际的提高等。

放射性核废物的处理能力是核电技术可持续利用的先决条件和关键推动力。在几十年的经验和发展的基础上,一些国家已摸索出相对可靠的方法,但有待进一步验证。