

全球核电发展新趋势

核电发展表现出了新的趋势。

■ 文 | 王茜 王峥 李言瑞

作者供职于中核战略规划研究总院

在能源市场、地缘政治和全球经济不稳定背景下,在俄乌冲突、中东局势持续影响下,全球能源危机仍面临着严峻的挑战。许多国家国内能源供应吃紧,能源成本持续飙升,为了保持自身能源产出,越来越多的国家将核能视为一种弹性、可靠和低碳的能源,各国奔赴核能的步伐日益加快。

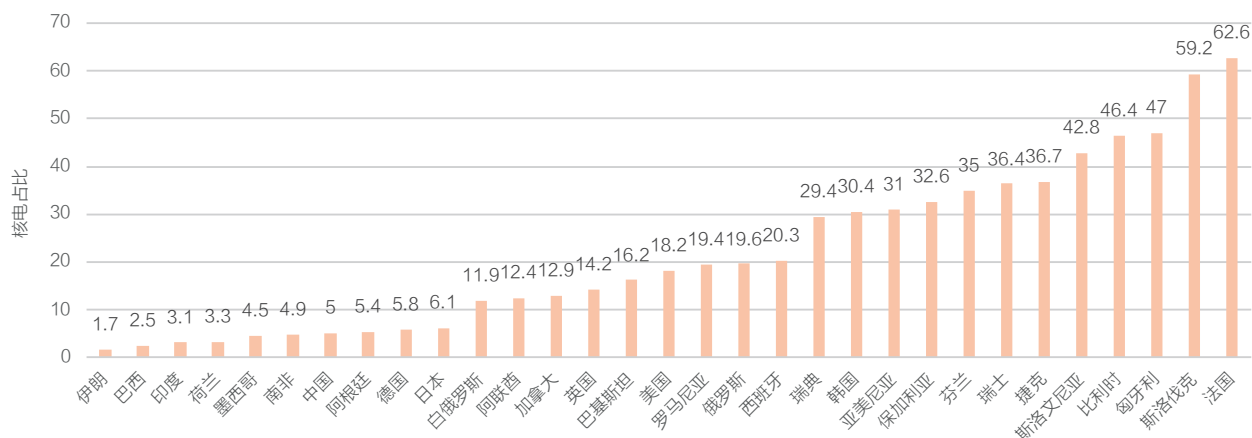
许多国家或将延长国内现有核反应堆的寿命,并寻求建设新项目来填补退役的缺口,从而来应对能源危机、气候变化和经济发展带来的挑战。全球权威机

构的预测数据表明,全球核电发展趋势总体上都是积极的,未来全球核电的装机容量会有显著增长,主要增长来自中国和其他新兴市场以及发展中经济体。

核电回暖

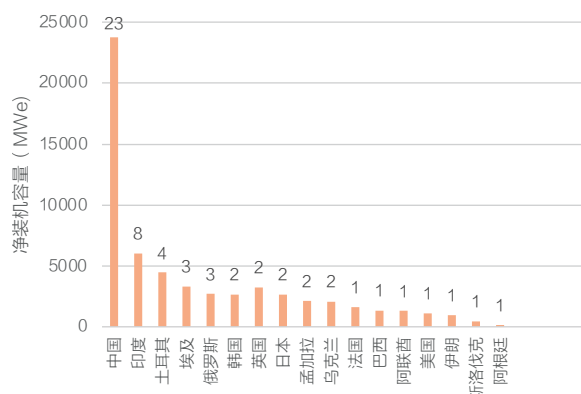
截至 2023 年底,全球在运核电机组 413 台(不包含长期停运核电机组 25 台,其中日本 21 台,印度 4 台),总装机容量 37151 万千瓦,分布在全球 31 个

图 1 各国 2022 年电力结构中核电占比情况



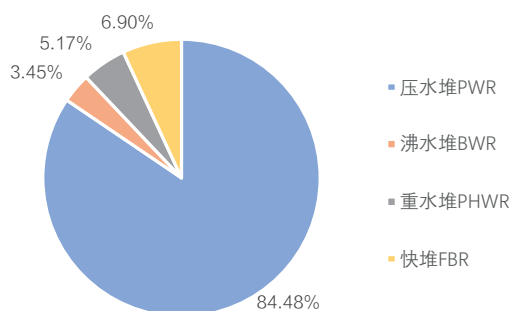
注:数据来自 IAEA,统计数据为 2022 年情况。

图2 全球各国在建核电机组净装机容量与台数情况



注：数据来自 IAEA，统计截至 2023 年 12 月底，柱状图上方数字为机组数量

图3 全球在建机组各堆型数量占比情况



注：数据来自 IAEA，统计截至 2023 年 12 月底

国家。主要包括压水堆、重水堆和沸水堆三种堆型，数量分别为 304、46 和 41 台，分别占据在运反应堆总数的 73.6%、11.1% 和 9.9%。2023 年，全球有 5 台机组新并网发电，有 5 台机组永久关闭，其中日本 2 台核电机组暂停操作后又重新启动。

2022 年，全球各国电力结构中，核电占比大于 10% 有 21 个国家，大于 25% 有 12 个国家，大于 50% 有 2 个国家。

截至 2023 年底，全球在建核电机组达到 58 台，分布在 17 个国家或地区，总装机容量 5986.7 万千瓦，有 5 台核电机组新开工建设。在建反应堆中压水堆占比最高，为 84.48%。未来核电装机的主要增长来自中国和其他新兴市场以及发展中经济体。

发展分化

目前，全球在运核电机组运行年龄超过 30 年、35 年、40 年和 45 年的机组是 278 台、255 台、165 台和 74 台，占在运机组总数的 67.31%、61.74%、39.95% 和 17.82%。许多国家国内能源供应吃紧，能源成本持续飙升，为了保持自身能源产出，许多国家在通过严格的安全审评的前提下或将延长现有核反应堆的寿命。美国考虑将部分核电站运行许可证的有效期从 60 年延长至 80 年；法国、俄罗斯、日本计划将部分机组运行许可证有效期进行延续。

国际能源署(IEA)于 2023 年 10 月发布《2023 年世界能源展望》中预测，核电是当今仅次于水电的全球第二大低碳电力来源。根据现有能源政策，全球核电装机容量预计将从 2022 年的 4.17 亿千瓦增加到 2050 年的 6.2 亿千瓦。全球核能发电量将从 2022 年的 2.682 万亿千瓦时增加到 2050 年的 4.353 万亿千瓦时。

国际原子能机构(IAEA)在 2023 年版的《2050 年能源、电力和核电预测》中认为，无论是在高值还是低值的情景下，到 2050 年，核能装机容量将比 2020 年多出四分之一。并且最新预测指出，在高值情景中，核电装机容量将在目前每年 3.69 亿千瓦的基础上于 2050 年达到 8.9 亿千瓦；在低值情景中，装机容量将增加到 4.58 亿千瓦。与 22 年的展望

表 1 全球在运核电机组的年龄、数量及占比情况

机组年龄	数量	占比
30年(含)–35年	278	67.31%
35年(含)–40年	255	61.74%
40年(含)–45年	165	39.95%
45年以上	74	17.82%

相比,当前的高值和低值情景预测分别上升了 2% 和 14%。

技术多元化

第三代核电技术是目前技术成熟度最高的先进核电技术,正在全球开展大规模商业部署。全球公认的第三代核电技术有压水堆和沸水堆两种堆型,设计寿命为 60 年,到寿期末还可以进行延寿,一般延寿两次,每次延寿 10 年甚至 20 年,总计可以延寿 20—40 年,因此第三代核电技术的运行寿期有望达到 80—100 年。考虑到目前是 21 世纪第二个十年代,部分第三代核电技术机组已经投入商业运行,因此第三代核电技术将贯穿整个 21 世纪,甚至在 22 世纪上半叶。

截至目前,已经实现商业部署的第三代核电机型包括华龙一号、国和一号、AP1000、CAP1000、EPR、VVER-1200、VVER-Toi、APR1400 和 ABWR 等 9 种型号。

全球核能技术进入新一轮“百花齐放”期,三代核电技术已经成为全球主流并网的核电技术,四代核电技术高温气冷堆、钠冷快堆、熔盐堆等方向并存。多国考虑开始进行先进反应堆的设计和建造,并研究小型模块化反应堆,包括探索用于发电以外的应用,即供热、海水淡化、制氢等多用途发展,目的是使核电更容易建造、更灵活部署、更便宜。

俄罗斯计划 2035 年前建成全球装机容量最大的钠冷快堆技术 BN-1200。俄罗斯别洛雅尔斯克联合厂的 BREST-OD-300 铅冷快堆完成重 160 吨、直径 26 米的基底安装工作,核燃料测试工作也在顺利推进。美国与意大利签署开发基于铅冷快堆技术的下一代核电厂合作协议,旨在提升铅冷快堆性能,包括提高核电厂经济性、可持续性和非电力应用的能力。英国和意大利将合作建造一个非核原型铅冷快堆系统,以研究热力学、机械和功能性能。美国 X 能源公司完成高温气冷堆 Xe-100 基础设计,并在橡树岭国家实验室燃料设施中测试首批三元结构各向同性燃料颗粒。英国政府宣布支持高温气冷堆研究,并计划 2030 年前建成一个示范项目。美国 ThorCon 公司推动印尼建设 50 万千瓦的浮动熔盐堆技术,英国莫尔泰克斯能源公司推出热功率 4 万千瓦、堆芯平均温度为 700℃、换料周期为 20 年的 FLEX 熔盐堆概念设计,荷兰、加拿大等国也在为熔盐堆研发提供资金支持。

俄罗斯 RITM-200 型小堆技术在 22220 型核动力破冰船上实现批量化部署。韩国原子能研究所、韩华电力、现代工程等多家研发机构签署研发基于小堆为动力的超临界二氧化碳发电技术。韩国和美国联合加快小堆研发和全球部署,并且加入美国主导的使用小堆技术基础设施(FIRST)计划。英国宣布在“先进核能基金”框架下投入 2.1 亿英镑支持罗尔斯·罗伊斯公司低成本 SMR 项目的小堆第二阶段研发工作。加拿大确定了小堆开发和部署的 5 项关键优先领域。

各国发展政策

欧盟将核能视为解决能源危机的方法之一,将核能纳入《净零工业法案》战略技术清单,旨在到 2030 年欧洲每年至少有 40% 的清洁能源设备由本土制造。并于 2023 年 11 月,成立小堆产业联盟,致

力促进所有相关伙伴之间加强推进小堆合作和联合行动。

美国能源中核能有着不可替代的地位,美国发布《先进核能商业腾飞之路》报告,启动先进核能建设助力脱碳。并发布《国家清洁氢战略和路线图》报告,将核能列为生产清洁氢的重要能源之一,大力发展核能制氢,发布路线图。在第28次联合国气候变化大会召开期间,美国宣布了旨在推动核电产业大力发展的三大重要举措,联手法国、英国等20余国联合发布《三倍核能宣言》;与日本、加拿大、法国和英国共同宣布,未来三年五国将调动至少42亿美元政府主导和私营投资,用于加强铀浓缩和转化产能建设;助力小堆全球部署,为美国供应商提供融资支持。

俄罗斯核能发展政策稳定,将大力新建核电机组,到2045年将建成29台新核电机组,其中12台将在2035年之前投运。俄罗斯积极推进小堆研发与市场开拓,持续投入先进核动力研发,抢占全球核电市场。

法国立法消除核电发展限制,法国国民议会通过了《加速核能发展法案》,完成重振核电的立法工作。将取消2015年设定的“到2035年核电占比不超过50%”的上限要求,并简化行政手续以促进新反应堆建设。法国核安全局批准首台核电机组(特里卡斯坦核电厂1号机组)延寿,可延长运行10年。

英国将核能视为重要基荷能源,发布政策文件《为英国提供电力》,描绘了实现2022年《英国能源安全战略》目标的未来发展蓝图。未来英国核电在电力结构中所占的份额将从15%提高到25%。

日本计划充分利用核能,批准绿色转型基本政策,并采取三项措施:一是尽可能多地重启现有核电机组;二是将现有机组运行寿期延长至现行法定限值(60年)以上;三是推进在现有核电厂址建设先进核电机组,以取代即将关闭的核电机组。并且于2023年4月,通过《聚变能源创新战略》,旨在推动



聚变能发展的国家战略。

韩国计划大力发展核电,发布第10份《长期电力供需基本计划(2022—2036年)》,核能发电量在韩国总发电量所占份额将从2021年的27.4%增至2030年的32.4%,到2036年进一步增至34.6%,成为韩国最大的电力来源。韩国政府高层在访问捷克、波兰、荷兰等韩潜在市场时曾重点就核能领域合作进行深入交流,为项目推进提供外交支持,并取得一定成效。E