

# 俄乌冲突视阈下俄罗斯 核电发展经验及启示

李勇慧

**【内容提要】** 俄罗斯继承了苏联时期的核工业遗产,拥有完整的核能技术链条,即从铀矿石开采到核燃料制造、核反应堆设计、建造及退役等各个环节。普京执政后对核工业制定了复兴政策,成立了俄罗斯国家原子能公司来统领核能产业。凭借历史基础与技术优势,俄罗斯对核工业进行了产业结构和运营方面的改革,大力推动科技创新,建立新一代核能技术联盟,增强核电站安全,积极拓展国际市场,凸显俄核电大国所具有的全球实力和竞争力,俄核电产业重新崛起。在气候变化、低碳和绿色能源转型进程中,俄将核能确定为绿色能源,通过先进技术确保其安全与绿色。俄乌冲突爆发后,俄罗斯核电是为数不多的豁免制裁的领域,在国内生产与对外合作中暂未受到影响,但俄将该领域的国际交往划分为与友好国家的合作和与不友好国家的竞争。欧洲调整政策加大核电发展力度,谋求摆脱对俄核电的依赖,世界核电市场格局面临分化组合。随着俄乌冲突进入长期消耗阶段,在较长时间无法摆脱对俄核原料依赖的条件下,美西方正重新审视是否制裁俄核能产业。中国应保持与俄罗斯在核电领域的密切合作,提高和保持核电技术的先进性,学习俄核电的产业运营管理模式,积极“走出去”拓展海外市场。

**【关键词】** 俄罗斯 核电 绿色能源 俄乌冲突 能源转型

**【作者简介】** 李勇慧,中国社会科学院俄罗斯东欧中亚研究所多边与区域合作研究室主任、研究员。

普京执政后,俄罗斯在核能领域的科技创新和产业化改革取得了显著成就。从新一代核能技术开发到实施乏燃料管理的综合战略,再到核能技术的出口和国际合作,这些成就不仅提升了俄罗斯在全球核能市场的地位,还为全球核能技术的发展作出了重要贡献。自俄乌冲突爆发以来,美西方对俄罗斯实施了多轮经济制裁,涵盖能源、金融、科技等多个领域,但核电却是为数不多的豁免制裁的领域,在国内生产与国际合作中暂未受到直接的制裁影响。目前,俄将核电领域的国际交往划分为与友好国家的合作和与不友好国家的竞争,美欧

也在调整核电政策,谋求摆脱对俄罗斯的依赖。随着俄乌冲突进入长期消耗阶段,欧盟正在考虑对俄核电产业进行制裁,以进一步切断俄对俄乌冲突的资金支持。本文从俄核电发展现状与特点、崛起原因、国际合作,以及俄乌冲突对其影响等角度分析俄核电发展经验及对其他国家的启示。

## 一 俄核电推行科技创新与产业化发展取得成就

俄确定核能是绿色能源,是一种清洁、低碳、高效、安全的能源形式。核能对于应对气候变化、保障能源安全、推动经济社会发展具有重要意义。随着俄罗斯国家原子能公司的改革,俄在核电领域大力进行技术创新,通过先进技术确保能源安全性,使核电产业取得显著成就,进入一个新的发展阶段。目前,俄核电产业在全球居于领导地位,与世界各国开展广泛的国际合作,成为俄重塑大国形象的重要手段。

### (一) 新一代核能技术联盟

独立后,俄罗斯核电产业逐渐崛起,在体系改革、技术创新和安全开发等方面取得进展,不仅维护了国家整体利益和能源安全,也是体现俄罗斯大国实力和影响力的象征之一。俄罗斯核能是以俄罗斯国家原子能公司为代表,由近 400 家企业和组织组成的庞大产业。其中,一个由 9 家科研院所、中心和大学组成的联盟致力于开发新一代核能技术,包括核燃料闭式循环技术、快堆技术、用于先进能源技术的新材料和核电站创新项目<sup>①</sup>。

由于核电技术有了重大突破,核能发电成为俄经济社会发展的重要电力来源。俄罗斯有巴拉科沃、别洛亚尔斯克、比利比诺、加里宁、科拉、库尔斯克、列宁格勒、新沃罗涅日、罗斯托夫和斯摩棱斯克 10 座主要的核电站,以及 1 座浮动核电站“罗蒙诺索夫院士”号。近年来,核能发电量在俄总发电量中的占比约为 20%,俄欧洲部分达到 40%,核电成为俄最大的清洁能源。2020 年核能发电量为 2 142 亿千瓦时,占总发电量的 19.8%;2021 年核能发电量为 2 224 亿千瓦时,占总发电量的 22%;2022 年核能发电量为 2 233 亿千瓦时,占总发电量的 22.4%;2023 年核电站计划发电 2 188 亿千瓦时<sup>②</sup>,但实

---

<sup>①</sup> 《俄罗斯成立开发新一代核技术的联盟》, <https://www.cinis.com.cn/zhzhghyzy/gwhxx/1054052/index.html>

<sup>②</sup> Атомная отрасль России развивается вопреки санкциям. <https://ria.ru/2023/0928/atom-1899077755.html>

际发电量稍低于 2020 年的水平,占总发电量的 18.4%。2023 年产能下降的原因,一方面是设备出现故障,另一方面是欧洲对俄石油、天然气、煤炭实行禁运和限价,导致俄国内使用天然气和煤炭发电的电力大增,再加上俄乌冲突后俄将大量资金用于军备生产,导致核电新机组投产被迫推迟。但普京总统表示,俄将继续发展核能技术,计划到 2045 年将核能在国家总体能源平衡中的比重提高到 25%<sup>①</sup>。

1. 改造核反应堆。切尔诺贝利核电站事故发生后,俄采取措施提高核电站的安全性并开发新技术,研发出安全性和效率更高的新型反应堆。主要有 VVER-1000、VVER-1200、第三代 VVER-1200、创新型 VVER-TOI 核反应堆,以及低功率核电站(LNP)、中功率 VVER-S 核反应堆。俄罗斯在低功率反应堆技术方面已经占据世界领先地位,预计到 2030 年俄罗斯在全球小型核电站市场的份额将达到 20%<sup>②</sup>。俄罗斯核电站主要集中在乌拉尔山以西,未来还计划在西伯利亚和乌拉尔地区建设两座配有高功率快堆的能源综合设施,以进一步提升核电份额。到 2035 年,俄罗斯计划建设 17 台核电机组,除 VVER-1200 机组外,还包括中低功率机组和快堆机组<sup>③</sup>。

2. 研发微堆技术,满足市场需求。2023 年俄罗斯国家原子能公司宣布启动新型微堆(微型中子源反应堆)设计,并计划于 2029 年在境外投运首座浮动堆。按计划俄罗斯拟于 2025 年完成首座 10 兆瓦级 Shelf-M 微堆基础设计,并于 2030 年在远东地区的“Sovinoe”金矿启动商运;同时启动两兆瓦级移动微堆研究工作。该核反应堆必须满足特定要求,包括采用模块化设计和全寿期内可运输,同时还须符合公路运输容器的标准尺寸要求<sup>④</sup>。

3. 研发水冷反应堆。在萨哈(雅库特)共和国批准建造俄罗斯首座陆基中小型核反应堆,这是由俄罗斯国家原子能公司设计的一种水冷反应堆,由

---

① "Атомная" проблема России: почему буксует развитие атомной энергетики. <https://mashnews.ru/atomnaya-problema-rossii-pochemu-buksuet-razvitie-atomnoj-energetiki.html>

② Атомная энергия XXI века: доступность, экологичность, надежность. <https://energypolicy.ru/atomnaya-energiya-xxi-veka-dostupnost-ekologichnost-nadezhnost-business/2022/12/13/>

③ 《俄罗斯国家原子能公司计划在乌拉尔和西伯利亚地区建设快堆》, [https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gjzx/202312/t20231207\\_1058423.html](https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gjzx/202312/t20231207_1058423.html)

④ 《俄罗斯国家原子能公司启动新型微堆设计》, [https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gjzx/202312/t20231219\\_1059441.html](https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gjzx/202312/t20231219_1059441.html)

用于为最新核动力破冰船提供动力的 RITM - 200 系列改进而成<sup>①</sup>。

## (二) 燃料创新与管理

在核燃料创新方面,俄罗斯已开始进行核电站反应堆装载新型混合再生核燃料(REMIX)的研究工作,这种燃料有助于提高铀在核电中的利用效率。如果混合再生核燃料的效率与安全性得到证实,那么,俄罗斯核电站可能在2030年开始利用这种燃料<sup>②</sup>。

在乏燃料管理方面,俄罗斯制定了综合战略,采取一站式服务,确保乏燃料的管理可靠、安全和可持续。通过在一个场址集中处理不同阶段的乏燃料,俄罗斯提高了处理乏燃料的效率、降低了成本,并优化了安全和安保措施。俄罗斯核电厂、研究型反应堆和潜艇每年产生大约700吨乏燃料,随着俄罗斯核工业的进一步发展,包括大规模实施快堆,俄矿业与化学联合体的综合系统有望最大限度地减少乏燃料增加带来的负面影响<sup>③</sup>。

## 二 俄罗斯核电崛起的主要原因

苏联解体后,虽然俄罗斯核能产业因经济危机受到极大冲击,但俄罗斯继承了苏联时期的核工业遗产,拥有完整的核能技术链条,包括从铀矿石开采到核燃料制造、核反应堆设计、建造及退役等各个环节。凭借历史基础与技术优势,俄罗斯在核能领域具有强大的竞争力。例如,俄罗斯的VVER系列核反应堆在国际市场上备受青睐,尤其是VVER-1200核反应堆凭借先进的技术性能和安全性在多个国家得到应用<sup>④</sup>。普京执政后,俄在危机中抓住机遇,使核能产业重新崛起,崛起的主要原因有以下几点。

### (一) 整改核工业管理运行体系

1. 成立国家原子能公司进行垂直管理。俄罗斯核能产业的崛起始于普京执政后对国家资产的管控政策。普京执政后进行了近7年的政策调整,使

---

① Licence Issued for Russia's First Land-based SMR, <https://www.world-nuclear-news.org/Articles/Licence-issued-for-Russia-s-first-land-based-SMR>

② 《俄试验新型混合再生核燃料》, [https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gjzx/202303/t20230328\\_1022362.html](https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gjzx/202303/t20230328_1022362.html)

③ 《同一屋檐下:俄罗斯乏燃料管理综合战略》, [https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull60-2/6020607\\_zt.pdf](https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull60-2/6020607_zt.pdf)

④ 《俄罗斯原子能技术开发与投入使用当今状态》, <https://www.china-neo.cn/site/content/43187.html>

国内经济快速发展,能源需求量大幅提升。俄政府大力支持核能产业,核能被纳入国家安全、经济发展及能源安全战略。2007年,俄罗斯成立了国家资本密集型的高科技集团公司——俄罗斯国家原子能公司。该公司既是大型国家企业集团,又具有政府职能。该公司成立后进行了大胆改革,整合资源,实现优化配置,形成了大型国家集团企业垂直一体化管理模式。“梅普组合”时期,该公司逐渐发展为一个巨无霸型的综合体,承担为国家贡献能源和保障核安全的行业领导者角色<sup>①</sup>。

2. 协同生产与发展。在俄罗斯国家原子能公司的支持下,俄民用核公司、核武器综合体企业、研究机构以及核动力破冰船队联合起来协同发展,实现了技术突破,产生了良好的效果<sup>②</sup>。同时,为了更多创汇,俄加强了核电出口,政府通过政策性银行贷款和主权基金支持海外核电项目融资,确保这些项目能够顺利实施。例如,俄罗斯对外经济银行在多个国际核电项目中提供了关键的金融支持。此外,俄罗斯国家原子能公司在全球范围内积极推进核电站建设,拥有大量海外订单。

## (二) 制定能源转型政策,提升核电技术,确定核能为绿色能源

目前,俄罗斯正在进行能源结构调整,减少对化石燃料的依赖,增加核能和可再生能源在能源结构中的比重。根据《2030年前俄罗斯能源战略》,发展核能和可再生能源是未来能源结构调整的重点。这种调整不仅有助于减少温室气体排放,还能提高能源安全性和经济多样性。

1. 确定核能为绿色能源。气候议程、脱碳、绿色能源等概念已成为全球公共组织和负责任企业活动中不可或缺的部分,核能以清洁、环保、低耗等无可比拟的优越性成为俄罗斯绿色低碳能源体系建设中必不可少的一部分,能同时实现环境目标和确保地球能源安全。利用核能也是俄核电企业多年来一直努力的方向。在能源危机和全球应对气候变化的背景下,核能正在成为越来越有前景的能源<sup>③</sup>。

俄罗斯电力能源主要由热电、核电、水风太阳能发电等组成,其中核能发

---

① 《俄罗斯核能政策解析》, <https://www.cnn.com.cn/cnn/xwzx65/bzqk/2019nqk/2019ndyq/827092/index.html>

② Политолог рассказал о втором дыхании атомной энергетики. <https://lenta.ru/news/2023/04/28/energy/>

③ Александр Новак. Атомная энергия XXI века: доступность, экологичность, надежность. <https://energypolicy.ru/atomnaya-energiya-xxi-veka-dostupnost-ekologichnost-nadezhnost/business/2022/12/13/>

电量占总发电量的 20% 左右,其碳足迹几乎为零<sup>①</sup>,与水电在伯仲之间。热电占总发电量的 65% 左右,风电和太阳能发电比重很小。这样的结构虽然很难发生根本性改变,但是从长远的能源发展和绿色能源前景看,非化石能源在整个能源结构中的比重必定会有不同程度的提高。核能是唯一被证明能够大幅减少二氧化碳排放的能源,俄罗斯在核能开发领域领先世界,核能是俄实现脱碳最可靠的替代能源。俄在不同国家建造了 20 座核电站,这些核电站注重低碳效果,根据环境影响标准进行测试。俄核电装机容量在欧洲国家排名第二位,仅次于法国,每年可以减少 1 亿多吨温室气体排放。根据福布斯杂志 2008 年的评级,俄罗斯国家原子能公司是俄最环保的五家公司之一,2021 年其环保支出达 205 亿卢布<sup>②</sup>。

2. 快堆技术是可持续和绿色发展的可靠途径。《2050 年前俄罗斯核能发展战略及 2100 年前远景规划》中指出,发展和推广快堆技术是从根本上解决世界能源可持续发展和绿色发展问题的可靠途径。俄罗斯的快中子反应堆采用核燃料闭式循环,可大幅提高铀资源的利用率,同时让核废料充分燃烧,进而减少污染物的排放,实现放射性废物最小化。该规划进而指出,快堆技术确立的自然安全法则和先进核燃料循环体系的建立对核能的可持续发展意义重大,可以成为一个国家能源系统的广泛基础,并为国家的未来发展提供新的机遇和广阔前景。2021 年 6 月,俄罗斯开始利用该技术建设核电站,预计到 2040 年后将扩大部署快堆,停止运行压水反应堆,到 2100 年,全俄核电厂功率将增至 91 吉瓦<sup>③</sup>。

3. 遵守联合国可持续发展技术标准,增加海外收入。2020 年,俄罗斯国家原子能公司最新发展战略得到批准,该战略主要规定了俄罗斯从核工业全球领先地位到技术全球领先地位的转变,并为行业组织的发展设定了单一向量;同时,将行业发展重点放在开发先进技术和实现每个优先领域的目标上(目标是到 2030 年将收入增至 4 万亿卢布,其中一半以上的收入应来自国外订单,新产品的份额应超过 40%)。俄罗斯国家原子能公司还制定了旨在应对气候变化的环境战略,决定遵守 ESG 领域的所有必要标准(包括国际标

---

① Энергетика с нулевым следом. <https://www.vedomosti.ru/ecology/climate/articles/2022/12/08/954315-energetika-nulevim-sledom>

② Путь к "зеленой" энергетике для ядерных энерготехнологий. <https://energypolicy.ru/put-k-zelenoj-energetike-dlya-yadernyh-energoteh-nologij/energetika/2021/14/08/>

③ 陈沁:《俄罗斯核能政策:能源转型与国家能源主权视角下的战略选择》,《区域与全球发展》2022 年第 1 期。

准),在企业活动中致力于促进实现 17 项联合国可持续发展目标,并遵守联合国可持续发展的 10 项原则<sup>①</sup>。

### (三) 积极拓展海外核电合作

俄罗斯核电崛起的一个非常重要的因素是积极拓展和抢抓国际核电市场。发展中国家正在寻求可靠且环保的能源解决方案,核能是一个重要选项。俄核电技术先进,在国际市场所占份额较高,俄罗斯国家原子能公司在核电站建设订单数量方面居世界首位,公司在 11 个国家参与 34 个核电机组项目。全球大约每 6 个核电反应堆就有一个使用来自俄罗斯国家原子能公司的燃料,而且该公司还是世界最大的浓缩铀生产商。

1. 核能技术与核燃料供应是俄扩大海外市场的关键抓手。目前,俄罗斯拥有具备建设核电站全周期技术以及与铀循环(即铀的开采和浓缩、核燃料制造和乏燃料处理等)相关技术的科学、工程和生产综合体。俄在核能相关领域保持世界领先地位,其中在铀开采、浓缩核燃料供应方面居世界第一位。俄可以提供完整的核电解决方案,满足发展中国家的需求。此外,俄罗斯国家原子能公司还是世界上唯一一家拥有完整核燃料循环技术链的公司,为国内外所有核电站建设项目提供关键设备及相关服务,包括为核电机组的建设制定安全规则、供应核燃料、进行核废物处理和国际人才培养、协助科学工作和核医学的发展<sup>②</sup>。目前,俄核电技术在全球市场所占的份额超过 70%<sup>③</sup>。

2. 俄乌冲突爆发后俄加强与非西方国家的合作。俄乌冲突爆发后,俄罗斯在对外关系实践方面采用二分法,以是否对俄罗斯进行制裁并保持中立立场为标准,将世界各国分为友好国家和不友好国家。2023 年俄罗斯国家原子能公司根据新的外部形势,针对制裁确定了未来几年的战略目标,主要在友好国家中开发新市场和寻找新合作伙伴,提高其产品和服务的竞争力,确保俄在和平利用核能领域的技术主权。

首先,充分发挥核能优势,与欧亚非友好国家展开密切的核能合作。2023 年 4 月底,俄参与建设的土耳其阿库尤核电站 1 号机组举行了隆重的核燃料交付仪式,标志着在俄罗斯帮助下土耳其正式成为国际核俱乐部成员;

---

① Путь к "зеленой" энергетике для ядерных энерготехнологий. <https://energypolicy.ru/put-k-zelenoj-energetike-dlya-yadernyh-energotehnologij/energetika/2021/14/08/>

② Росатом Госкорпорация "Росатом": ядерные технологии, атомная энергетика АЭС, ядерная медицина. <https://www.rosatom.ru/about/mission/1>

③ Nuclear Power in Russia, <https://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power>

俄土还在探讨在土耳其锡诺普建设第二座核电站的可能性。2023年5月,由俄罗斯参与建造的白俄罗斯核电站2号机组并网发电。俄收购哈萨克斯坦布德诺夫斯基铀矿,使俄铀储量跃居世界第二位。在第28届联合国气候变化大会召开期间,俄国家原子能公司与蒙古国原子能公司(Mon-Atom)签署协议,双方将研究在蒙古国建设一座小型堆。俄罗斯与孟加拉国合作的路布尔核电站获得了进口核燃料的许可证。第一批核燃料已抵达路布尔核电站。路布尔核电站距离首都达卡160公里,拥有两座俄罗斯VVER-1200反应堆。第一套机组于2017年11月开始建设,计划于2024年投产。第二套机组于2018年7月开始建设,初始生命周期为60年,还可再延长20年。普京指出:“俄罗斯不仅仅是建造一座核电站,我们将在核项目的整个生命周期向孟加拉国合作伙伴提供援助,包括长期供应反应堆燃料、维护核电站,以及乏燃料的管理。”<sup>①</sup>俄还有意与印度在低功率核电站(包括浮动电站)方面进行合作,并准备在印度建造一座强大的研究型核反应堆。

其次,中俄核能合作高水平发展并持续深化。能源合作一直是中俄两国务实合作中分量最重、成果最多、范围最广的领域,而核能是其战略性优先合作方向,一系列重大项目相继建成投产,体现双方战略协作伙伴关系的深刻内涵和两国的相互信任。中俄在核电领域的合作具有较强的互补性。俄罗斯是传统的核电强国,拥有世界先进的核能技术,而中国核电尚处于重要的战略发展阶段,同时拥有雄厚的资金和强大的制造能力,两国的合作具有非常大的潜力。30年来,中俄在核电领域的合作已经进入深层发展阶段,特别是两国在田湾和徐大堡核电站合作建设核电机组,采用了俄罗斯先进的第三代核电技术,未来将会投入使用俄第四代核能先进堆型——快堆。快堆是快中子增殖堆的简称,能够大幅提高铀元素的利用率,生产铀钚燃料,对乏燃料进行再处理。这是除核裂变之外核能发展领域最前沿的技术,对核能的可持续发展具有重要意义。这一技术的应用是中俄核能合作又一重大标志性成果,建成投产后年发电量将达到376亿千瓦时,相当于每年减少3068万吨二氧化碳排放量。

2023年3月,中国国家主席习近平访问俄罗斯,中俄签署了在快堆和闭合核燃料循环领域长达数十年的合作计划。2023年4月,中国国家核安全局与俄罗斯联邦环境、工业和核安全监督局共同组织召开了首次双边VVER型

---

<sup>①</sup> 《孟加拉国加入核俱乐部,交付第一批燃料》, [https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gjzx/202310/t20231007\\_1042503.html](https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gjzx/202310/t20231007_1042503.html)

机组经验反馈交流会<sup>①</sup>。2023年10月,中国核工业集团有限公司在北京主办了第五届中俄能源商务论坛“数字核电”圆桌会议,此次会议搭建了一个重要平台,使中俄同行一同探讨如何利用新一代信息技术,围绕数据、业务流程、组织机构的互动创新构建可持续的发展态势,为两国核能企业主动适应数字经济发展要求、推动核工业数字化建设、提升核心竞争力提供了重要支撑。未来,双方将以此为契机,围绕数字核电应用场景需求,大力推进创新链、产业链、资金链、人才链的深度合作<sup>②</sup>。在2024年5月17日俄罗斯总统普京访华期间,中俄在核能领域达成了综合计划,确定未来10年合作的基本方向并指明了实施路线图。两国签署的联合声明指出,中俄按照互利共赢、利益均衡原则,深化民用核能领域的合作,具体合作方向包括热核聚变、快堆、核燃料闭式循环,以一揽子方式开展核燃料循环前端和共建核电站合作<sup>③</sup>。

最后,在非洲和南美洲拓展核能合作。2023年5月,由俄罗斯国家原子能公司援建的埃及埃尔达巴核电站3号机组开工建设,4号机组计划年底开工<sup>④</sup>。2023年3月,俄罗斯新西伯利亚化学浓缩物厂(NCCP)赢得巴西安格拉核电站冷却系统氢氧化锂的供应招标<sup>⑤</sup>;5月初,俄罗斯与巴西签署天然铀供应合同。2023年8月初,俄国家原子能公司宣布旗下“TVEL”燃料公司与南非核能公司(Necsa)签署核燃料及其零部件生产合作谅解备忘录,这是金砖国家向提高核电可持续性迈出的重要一步。另外,不排除俄参与南非核电站建设的可能性。和平利用原子能是俄罗斯与非洲国家合作的重要且有前景的领域之一。2023年7月在圣彼得堡举行的俄罗斯—非洲论坛上,俄国家原子能公司与布隆迪、津巴布韦、埃塞俄比亚等“核新来者”国家缔结了政府间伙伴关系协定。非洲国家对俄罗斯浮动核电站项目非常感兴趣,俄提议建

① 《首次中俄双边 VVER 型机组经验反馈交流会成功召开》, [https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gzdt/202304/t20230427\\_1028558.html](https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/gzdt/202304/t20230427_1028558.html)

② 《第五届中俄能源商务论坛“数字核电”圆桌会议在北京召开》, [https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/hyzz/202310/t20231024\\_1043864.html](https://nnsa.mee.gov.cn/ywdt/hyzz/202310/t20231024_1043864.html)

③ 《中华人民共和国和俄罗斯联邦在两国建交 75 周年之际关于深化新时代全面战略协作伙伴关系的联合声明(全文)》, [https://www.fmprc.gov.cn/zyxw/202405/t20240516\\_11305860.shtml](https://www.fmprc.gov.cn/zyxw/202405/t20240516_11305860.shtml)

④ 《埃及埃尔达巴核电站 3 号机组启动建设》, <https://www.cinis.com.cn/zhzlgjhyzy/gwhxx/1324046/index.html>

⑤ 《俄 TVEL 燃料公司的子公司将为巴西安格拉核电站供应锂-7》, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1760334928009461674&wfr=spider&for=pc>

立一支核电舰队,为非洲大陆国家提供电力。2023 ~ 2025 年俄还将在坦桑尼亚试开采和加工铀矿<sup>①</sup>。

3. 俄罗斯与友好国家开展核医学合作。玻利维亚 2023 年 3 月收到了由俄罗斯国家原子能公司建设的核研究与技术中心(CNRT)生产的第一批现代放射性药物<sup>②</sup>。玻利维亚总统路易斯·阿尔塞于当年 8 月底在接受俄新社采访时表示,俄罗斯技术已经帮助拯救了许多生命。之前,一座研究型反应堆从俄罗斯运抵玻利维亚,作为中央核反应堆的一部分生产各种同位素。该反应堆的应用领域非常广泛,包括环境保护、工业、采矿甚至法医学,预计于 2025 年启动。此外,两国锂矿公司拟在玻利维亚建设开采和生产碳酸锂的工业综合体。计划建设年产至少 2.5 万吨(占世界市场的 4%)碳酸锂的工业联合体,这是俄锂生产领域的第一个大型国外项目。在南非,核医学也已成为俄罗斯与之合作的一个主要领域。俄罗斯国家原子能公司宣布准备向南非提供用于治疗癌症的新型高科技放射性药物。此外,俄罗斯核科学家提议与南非同行建立大型核医学宏观区域能力中心,以便为第三国提供高科技服务。

### 三 俄乌冲突对俄海外核电市场的影响

俄乌冲突爆发导致石油天然气价格飙升。一方面,世界呼吁继续发展核电,另一方面,在摆脱对俄核电依赖上欧洲出现纠结的调整,因为俄罗斯的浓缩铀产量占核燃料市场的 40%,同时,铀浓缩价格也有上升的趋势,全球将关注点集中到核电发展及其市场分布态势上。目前,在俄罗斯境外建造的 52 座核反应堆中,有 21 座采用俄罗斯技术。现代核反应堆的使用寿命至少为 60 年(实际为 80 年)。在这段时间里,核反应堆需要维护、提供备件和燃料、处理乏燃料<sup>③</sup>。到目前为止,俄国家原子能公司尚未被制裁,这也表明,全球核

---

① 《俄国家原子能公司未来几年将在坦桑尼亚大量开采铀矿》, <https://finance.sina.com.cn/jjxw/2023-07-26/doc-imzcyvxt7032113.shtml>

② 《俄罗斯国家原子能公司开始在玻利维亚安装研究堆》, <https://baijiahao.baidu.com/s?id=1781348305903145004&wfr=spider&for=pc>

③ В сфере атомной энергетики Россия продолжает оставаться первой. [https://mgimo.ru/about/news/experts/v-sfere-atomnoy-energetiki-rossiya-prodolzhaet-ostavatsya-pervoy/?utm\\_source=yandex.ru&utm\\_medium=organic&utm\\_campaign=yandex.ru&utm\\_referrer=yandex.ru](https://mgimo.ru/about/news/experts/v-sfere-atomnoy-energetiki-rossiya-prodolzhaet-ostavatsya-pervoy/?utm_source=yandex.ru&utm_medium=organic&utm_campaign=yandex.ru&utm_referrer=yandex.ru)

电行业没有俄罗斯提供的技术、零部件、核燃料,以及售后服务将很难生存。

### (一) 俄乌冲突让世界再次考虑复兴核电

俄乌冲突加剧了各国,特别是欧洲国家对能源安全的关注。俄罗斯是欧洲主要的天然气和石油供应国,俄乌冲突导致欧盟多国重新评估其能源依赖性。核能具有很大的优势,具有燃料价格稳定、能量强度高和低碳性特点,因此,核能作为一种能够提供稳定电力且不受地缘政治影响的能源来源,重新进入讨论的中心。

1. 试图通过核能摆脱能源危机。欧盟多国表示要调整政策加大核电发展力度。欧盟面临能源短缺,核电是其最大的低碳电力来源,因此,欧盟期望通过延长现有核电站寿命来缓解能源危机。英国宣布将在 2030 年前建造多达 8 座新的核电站,以确保能源独立<sup>①</sup>。目前,全球核电站分布在 32 个国家,共有 439 台发电机组,总容量为 393.4 吉瓦,部分欧洲国家核能发电占总发电量的比重超过 50% (见表 1)。但出于对核污染的考虑,欧洲国家曾准备关停一些核电站,减少使用核能。而俄乌冲突促使欧盟重新将核电作为一种重要的低碳能源选择。国际能源署 (IEA) 一份最新报告称,未来 30 年全球核电站装机容量将比当前增加 1 倍以上,达到 871 吉瓦。这标志着“核工业的胜利复兴”(见表 2)。国际能源署认为,考虑到核电站是能源转型不可或缺的一部分,世界已经作出了支持清洁且经济可预测的能源的最终选择<sup>②</sup>。

表 1 欧洲部分国家核能发电量占总发电量的比重 (%)

法国	比利时	斯洛伐克	匈牙利	捷克	斯洛文尼亚	保加利亚
69	52	52	44	44	36	34
芬兰	瑞典	瑞士	美国	加拿大	俄罗斯	
20	32	30	28	19	15	

资料来源:Стратегические планы никто не меняет. <https://iz.ru/1352213/izvestia/strategicheskie-plany-nikto-ne-meniaet>

表 2 2023 ~ 2030 年各国计划新增机组

国家	计划新增机组(吉瓦)	占比(%)
中国	54.72	49
俄罗斯	17.05	15

<sup>①</sup> As Putin Threatens Nuclear Disaster, Europe Learns to Embrace Nuclear Energy Again, <https://time.com/6169164/ukraine-nuclear-energy-europe/>

<sup>②</sup> Возрождение атома. <https://www.kommersant.ru/doc/5722121>

(续表 2)

国家	计划新增机组(吉瓦)	占比(%)
印度	8.70	8
土耳其	7.06	6
韩国	7.00	6
英国	3.26	3
美国	3.00	3
法国	1.65	1
其他	10.12	9
合计	112.56	100

资料来源:《全球核电再启动,铀矿“十年等一回”》, <https://wallstreetcn.com/articles/3714827?keyword=%E6%A0%B8%E7%94%B5>

2. 价格环境可能预示着新的核复兴。核燃料是能源可持续发展的重要因素,核能是一种负担得起的独特的清洁能源,但核能的经济性在很大程度上受能源价格的影响。核电的燃料成本占比相对较低,铀的价格波动对核电成本的影响较小。铀的成本仅占核电成本的 2% ~ 3%,这使得核电在燃料价格波动较大的环境下具有一定的经济稳定性。现有的核能基于开放式燃料循环和热中子反应堆,主要使用铀 235(在天然铀中含量比为 0.071%)。此类能源的燃料基础仅占全球化石能源的 6%,而煤炭、石油、天然气占 94%<sup>①</sup>。相比之下,煤电和天然气发电的成本受燃料价格波动的影响更大<sup>②</sup>。在摆脱能源危机、加大对核电需求,以及美西方核电站运营商拒绝俄罗斯供应的背景下,铀矿开采变得有利可图,因此,预计世界各地将开采新矿<sup>③</sup>。铀转化和浓缩工厂的扩建情况要复杂得多,这将需要数年时间和大量投资。应该说,未来核能复兴将是一个长期态势。

## (二) 欧盟对俄核电的态度分歧与政策调整

欧盟在对待俄罗斯核电问题上存在显著的分歧和政策调整。这些主要源于地缘政治冲突、能源安全以及对俄罗斯能源依赖的复杂关系。

① Путь к "зеленой" энергетике для ядерных энерготехнологий. <https://www.atomic-energy.ru/articles/2021/10/15/118495>

② 《核能是安全和环境友好的能源》, <https://www.cnpn.com.cn/cnpn/mlhd/hdkp/hdzs/916509/index.html>

③ Возрождение атома. <https://www.kommersant.ru/doc/5722121>

1. 俄核能燃料在欧洲核电市场所占份额较大。俄乌冲突对欧洲的核电市场和格局影响深远。冲突爆发后,美西方对俄实施能源制裁(包括严格限价和禁运),但囿于俄浓缩铀在世界市场上所占份额很大,所以并未对俄核工业进行制裁。俄罗斯占据世界浓缩铀市场的1/3,占据美国市场的1/4,在欧洲占据15%~20%的市场份额,欧盟国家中共有18个国家有俄罗斯(苏联)建造的核反应堆,其中两个在保加利亚,6个在捷克,两个在芬兰,4个在匈牙利,还有4个在斯洛伐克<sup>①</sup>,所有这些核反应堆都依赖俄罗斯提供核燃料及其他服务。由于美欧暂时无法摆脱对俄核燃料的依赖,故制裁尚未触及核电领域。欧洲只有两家公司拥有分离浓缩铀的工业基础:欧洲铀浓缩公司(URENCO)(英国、德国、荷兰共同拥有)和法国跨国公司欧安诺(Orano)。

2. 制造核燃料的关键设备气体离心机只有俄罗斯能够开发。西方之所以依赖俄罗斯的核燃料,是因为制造核燃料的主要设备气体离心机由俄罗斯开发。美国尽管花费数亿美元用于气体离心机项目,但还是以失败告终。俄乌冲突前后,欧洲国家为了摆脱对俄能源依赖以及应对冲突引发的能源危机,纷纷调整能源政策,重启核电。例如,欧洲国家不仅在2021年年底将核电重新纳入绿色能源范畴,而且在冲突爆发后规划建设新核电机组或者延长现有核电机组的使用时间:比利时政府决定将两座核电站的运行时间延长10年;荷兰政府表示将重新考虑核电的作用;法国总统马克龙宣布将重启新的核反应堆建设计划,提出在2050年前完成6座新型压水反应堆核电站的建设,第一座将在2035年投入使用<sup>②</sup>。

3. 欧盟内部对制裁俄核电产业的态度分歧。俄乌冲突爆发后,国际能源署提出减少欧盟对俄罗斯天然气依赖的计划,其中包括暂时推迟原定于2023年关停的核反应堆。欧盟内部对俄核电依赖程度、主张和诉求不同,在该议题上出现矛盾和分化,主要分歧在于是否制裁俄核电产业。欧盟各国对此问题的态度可分为三组。一组是支持制裁阵营。没有核电站的波兰、波罗的海国家和德国要求对俄核燃料供应实行禁运,认为这样可以减少俄罗斯的财政收入及对俄能源依赖<sup>③</sup>。一组是摇摆不定阵营。法国、奥地利等国对制裁比较纠结,态度不明朗。因为法国与俄核工业合作密切且广泛,包括在第

① 《欧盟对俄罗斯核电产业态度分裂》,《中国能源报》2023年5月1日第5版。

② 邓琨:《俄乌冲突对全球核电市场的影响分析》,《产业与科技论坛》2023年第11期。

③ 《欧盟对俄罗斯核电产业态度分裂》, [http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2023-05/01/content\\_25981311.htm](http://paper.people.com.cn/zgnyb/html/2023-05/01/content_25981311.htm)

三国开展联合项目,共同进行核燃料循环、核安全保障和核能制氢等研究。法国总统马克龙宣布将重启新的核反应堆建设计划。因此,法对俄制裁态度比较暧昧。一组是反对制裁阵营。匈牙利、保加利亚、芬兰、捷克和斯洛伐克坚决反对制裁俄核电产业,主要是这些国家高度依赖俄核燃料供应和相关技术的支持。匈牙利唯一一座核电站的发电量可以满足全国一半的用电需求。2014 年年底,俄匈两国签署建设保克什核电站 5 号和 6 号机组的协议,新机组将配备俄罗斯 VVER-1200 核反应堆。预计两个新机组投入运行后,该核电站发电量将翻一番。自俄乌冲突第一天起,欧洲领空就对俄罗斯关闭,但对俄罗斯国家原子能公司的飞机例外。这些飞机可以继续为斯洛伐克、捷克和匈牙利核电站运输燃料。这三个国家以及保加利亚 100% 依赖俄罗斯铀,这些国家的核电占比为 30%~50% (见表 1)。截至 2023 年 5 月,俄罗斯国家原子能公司价值数亿欧元的核燃料和技术出口活动不仅未受任何直接影响,甚至还在不断扩大,忠实客户和合作伙伴仍然渴望与俄罗斯继续推进核能合作,其中包括纠结的法国和持反对立场的匈牙利、保加利亚等国。

4. 美欧国家调整对俄核电产业政策。2023 年,美西方企图对俄核电产业逐步进行制裁:4 月,七国集团中美国、英国、加拿大、日本和法国宣布针对俄罗斯核工业结成联盟。英国政府网站上指出,这五国将利用各自在民用核能领域的资源和能力削弱俄对浓缩铀产品供应链的控制。新反俄“核联盟”的参与者宣称,他们打算尽快将俄罗斯彻底赶出世界市场,以“切断另一种资助特殊军事行动的方式”<sup>①</sup>。专家指出,研发俄浓缩铀的替代品需要更长的时间,因此,俄罗斯国家原子能公司一旦被列入制裁名单,将给世界和欧洲核电产业链带来不可估量的影响,包括核燃料价格波动将波及大多数核电国家,使欧洲能源市场陷入困境。值得关注的是,俄罗斯国家原子能公司的业务范围不限于确保核燃料安全,还包括收集、处理乏燃料,而且它是世界上唯一一家专门从事这方面工作的机构,一旦上了“黑名单”,无疑将给核废料处理和储存、永久性储存库投资建设等带来直接冲击<sup>②</sup>。

5. 俄与美欧在核电市场激烈博弈。在制裁的压力下,俄罗斯在欧洲核电市场上面临着与美西方的激烈竞争。2023 年 9 月美英建立新的经济伙伴关系,表示要在核电领域与俄罗斯争夺市场。借助政治上的共同利益和价值

---

<sup>①</sup> Опасный контрафакт: антироссийский альянс создает атомную угрозу. <https://ria.ru/20230422/atom-1866957253.html?in=t>

<sup>②</sup> 同<sup>①</sup>。

观,以及经济上的先进性,美国在欧洲及其他地区打造全球范围的核能全产业链。为了获得核燃料,法国正在与哈萨克斯坦在提炼浓缩铀方面探讨合作。哈萨克斯坦的铀矿开采量占世界的45%,但哈并不掌握提炼技术。而俄罗斯应对未来制裁和竞争的办法,一是开发“Elkon”铀矿,二是积极开发热反应堆废核燃料的再利用,这将减少铀的需求<sup>①</sup>。

#### 四 俄核电发展的启示

近年来,俄罗斯在核电领域取得了显著进展,不仅在国内扩建核电站,还积极向其他国家出口核电技术和设备。俄罗斯与中国的合作也在不断深化,特别是在核能领域。通过分析俄罗斯的核电发展,中国可以从中获得许多有价值的启示。

1. 加大对核电的研发和投入,提升自主创新能力。作为核能大国,俄罗斯核技术在世界处于领先地位,在核电站建设和运营方面积累了宝贵经验,对中国核电发展具有重要借鉴意义。中国不仅要引进俄罗斯较为先进的核电技术,而且要总结其核电站管理经验,为中国核电发展提供参考。中俄合作建设的田湾核电站1~4号机组采用俄罗斯VVER-1000压水反应堆技术,7~8号机组则采用更先进的VVER-1200核反应堆技术。俄罗斯在小型模块化反应堆领域处于领先地位,建成了世界首座浮动核电站“罗蒙诺索夫院士”号。这为中国发展小型模块化核反应堆提供了有益借鉴。

2. 分析俄核电站机组运营事故,提高自身核电站的安全运营水平。从能够获得的数据看,2004~2019年俄核电站共发生703起运行事故。主要原因一是工作人员失误,二是核反应堆设计有缺陷。因此,保证核电站运行安全最本质的手段是技术进步,通过技术改造避免或者减少施工、设计和制造的错误。例如,2013年列宁格勒核电站第一代RBMK-1000核反应堆出现石墨块开裂,导致运行事件<sup>②</sup>。事件发生后,俄方改变了石墨砌体的几何结构和核反应堆的工艺通道(TK)、应急保护及控制棒通道(SUZ)的曲率变化,以保证机组安全运行。事后调查发现,导致运行事件发生的原因是设计缺陷<sup>③</sup>。

<sup>①</sup> Опасный контрафакт: антироссийский альянс создает атомную угрозу. <https://ria.ru/20230422/atom-1866957253.html?in=t>

<sup>②</sup> Н. Г. Власова, Ю. В. Висенберг, Г. Н. Евгушкова, Е. А. Дозд. Оценка доз облучения населения в отдаленном периоде после чернобыльской аварии. <https://journal.gsmu.by/jour/article/view/1565>

<sup>③</sup> 臧小为等:《俄罗斯核电站运行事件及原因分析》,《核安全》2022年第3期。

3. 加强核技术人才培养。俄罗斯在培养核技术人才方面有着悠久的历史和丰富的经验,如建立专门的核科学与工程大学,注重理论基础和实践训练相结合等。中俄在核电人才培养方面有合作传统。苏联时期,莫斯科工程物理研究所(MEPHI)为中国核工业培养了大批人才,对中国核科学事业发展产生了深远影响。通过与俄高校及科研机构的交流,提升了中国核科学领域的教学水平。中俄合作建立和演练全面的应急响应计划,确保在事故发生时能够迅速、有效应对。

4. 学习俄核电的产业运营管理模式。作为核能产业龙头,俄罗斯国家原子能公司采取企业集团化运作模式,进行板块化管理,整合了行业内的优质资源,组成产学研协同发展的创新团队。中国核电产业也应整合资源,组建若干板块等,如俄罗斯国家原子能公司的核与辐射板块等、核能机械板块、燃料元件板块、核电板块、海外板块、ARMZ 铀矿开采板块、铀业公司板块、技术出口公司(离心技术等)板块、科学与创新板块、核电工程设计及原子能出口建设板块、原子能舰船板块,建立以目标为导向的管理模式。同时,提供政策优惠和财政支持,整合国内的科研院所、高校、核能技术联盟,协同发展,建设核能产业基地。在与俄密切合作的基础上积极“走出去”。俄核电在全球范围推广自己的核电技术,已与12个国家签署了36台核电机组的实施协议。这种经验也值得中国学习。未来,这些国家都是最具发展潜力的国家,而发展需要能源,核电是选择之一,因此市场潜力巨大。所以,“中国要在海外作出示范核电站,不断开拓国际市场,促进中国核电市场化、型谱化、规模化、国际化”<sup>①</sup>。不管俄乌冲突能否很快结束,美西方对俄制裁将会长期存在,俄罗斯在核能领域的领先地位将被削弱。2022年2月数据显示,俄罗斯国家原子能公司在全球核电出口市场上的份额达到70%,但俄乌冲突使俄正在逐渐失去欧洲的核电市场,俄与欧洲国家的合作被取消或者冻结。由于美西方对俄国有和军事银行进行制裁,俄核电缺乏资金,同时,是否对俄核燃料进行制裁的另一只靴子还未落地。因此,综合看,俄核电海外市场将面对复杂的竞争,中国核电应抓住发展机遇期,在加大与俄罗斯核电合作的同时,可在共建“一带一路”机制框架内与其他国家建立战略伙伴关系,提供资金和政策支持,积极拓展海外出口力度,推动中国核电提升竞争力,走向国际化。

(责任编辑:农雪梅)

---

<sup>①</sup> 郭慧芳、仇若萌、高寒雨:《俄罗斯核电发展现状及启示》,《中国核科学技术进展报告(第七卷)——中国核学会2021年学术年会论文集第8册(核情报分卷)》,2021年。