

双碳目标下我国核电发展资源保障的对策研究

杨清升，贵丽红，周 安

(湖南省核地质调查所，湖南 长沙 410116)

摘要：党的二十大提出“积极稳妥推进碳达峰碳中和”“积极安全有序发展核电”等能源方面的重点部署，为核电产业的发展带来了历史机遇。核电的发展需要铀资源的保障。本文通过分析全球核电发展形势和我国的核电发展现状及未来发展趋势，研究了全球铀资源的形势和我国铀资源现状，对未来15年到20年的需求量预测，认为我国铀资源保障面临着较大的变数，铀矿资源勘查技术掣肘导致国内勘查程度分布不均，铀资源的应用带来的风险等问题，提出了筑牢铀资源安全自给保障的坚实防线，加强科技创新，提高铀资源的应用效率，建立风险评价机制的对策，为我国铀资源勘查开发储备，确保核电高质量发展，实现双碳目标提供借鉴。

关键词：碳达峰；碳中和；核电；资源保障

中图分类号：P619

DOI：10.12230/j.issn.2095-6657.2024.08.030

铀(Uranium)，化学符号为U，原子序数92，属于元素周期表中的锕系，有放射性，半衰期长达45亿年，铀化合物在核裂变现象被发现后用作核燃料。2020年，我国在联合国大会上提出“中国要力争在2030年前实现碳达峰，在2060年前实现碳中和”，为我国的能源转型指明了方向。核电作为一种环保、安全、高效的能源，是实现双碳目标的重要选择。铀资源作为核电生产不可或缺的重要燃料，是实现核电产业高质量发展的资源保障，素有“核电粮仓”之称。本文分析全球核电发展形势和我国的核电发展现状及未来发展趋势，分析研究了全球铀资源的形势和我国铀资源现状，和对未来15年到20年的需求量预测，认为我国铀资源保障存在的问题，提出了适应我国核电发展需要的铀资源保障对策^[1]。

1 全球核电发展的形势分析

世界核电开始于20世纪60年代，70、80年代发展迅速，90年代开始增速趋缓。90年代末开始，以美国为首的西方资本主义国家核电发展在走下坡路，东欧和苏联国家核电发展受阻，亚洲国家核电迅速发展，近10年来，世界核电发电量占全球总发电量的比例一直保持在17%左右。2020年、2021年全球核电装机容量保持在3.93亿千瓦左右，且略有下降。2023年，OECD/NEA与IAEA联合发布了新版铀红皮书，对全球核电装机容量未来15年(2025—2040年)进行了情景预测(详见表1)，从表1中可以分析出，2020年，北美核电装机容量最高，约为111.8亿千瓦，东亚其次，欧盟第三；到2040年，全球核电装机容量低值情景中达到3.94亿千瓦，高值情景中达到6.77

表1 各地区至2040年的核电装机容量预测(GWe)

	2020年	2021年	2025年		2030年		2035年		2040年	
	实际值	实际值	低值	高值	低值	高值	低值	高值	低值	高值
欧盟	104.3	100.4	96.5	97.4	898	96.6	85.6	104.6	78.7	121.0
北美	111.8	110.7	972	111.7	87.3	111.8	72.4	112.8	64.6	115.4
东亚	106.1	107.7	108.8	125.5	123.9	169.1	126.1	207.8	141	258.1
欧洲(非欧盟成员)	55.1	52.6	45.8	49.4	49.4	58.6	51.7	70.2	56.3	93.0
中美和南美	3.7	35	3.5	3.6	4.9	4.9	4.5	6.6	7.0	10.7
中东、中亚和南亚	10.4	12.7	17.6	20.0	23.8	35.8	33.8	52.8	37.7	61.8
东南亚	0	0	0	0	0	0	0	0	1.0	5.0
非洲	1.8	1.9	1.9	1.9	1.9	1.9	4.3	8.7	7.7	11.7
太平洋	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
总计	393	390	371	410	381	479	378	564	394	677

亿千瓦。其中北美核电装机容量低值情景下，呈大幅下降趋势，且降幅达 42%；高值情景下，略有增加；欧盟到 2040 年，高值情景下增长约 16%，低值情景下降幅约 25%；东亚到 2040 年，高值情景和低值情景都有大幅增加，分别为 143% 和 33%。世界核协会在最新发布的《核燃料报告：2023—2040 年全球需求和供应情景》中称，到 2040 年，核电装机容量低值情景中达到 4.86 亿千瓦，高值情景中达到 9.31 亿千瓦。两者对未来 15 年内的核电装机容量预测基本类似：低值情景下，核电装机容量与目前基本持平，高值情景下，增长较大，核电未来 15 年内发展可期。

2 我国核电发展形势分析

我国核电发展起源于 20 世纪 80 年代，经过几十年的发展，我国核电发展成就显著^[2]。据《我国核电发展规划研究》公布，我国核电装机容量从 2017 年开始位居世界第四，在建规模位居世界第一，到 2022 年，我国核电在建规模继续保持全球第一，商用核电装机 5563 万千瓦，容量排名全球第三。对于我国核电发展未来的趋势预测，《中国核能发展报告（2023）》预计在 2030 年前，我国在运核电装机规模有望成为世界第一；2035 年开始，我国核能发电量将在 2022 年的基础上翻倍，实现总发电量的占比达 10%；《我国核电发展规划研究》则预计到 2030 年发电量占比就达到 10.0%，到 2050 年发电量占比达到 22.1%。整体而言，我国核电发展过去几十年发展迅猛，未来仍将保持正向增长趋势。

3 铀资源在核电中的应用

据 GC 报道，铀用于生产核电站的燃料占比达 99% 以上，其他用于生产医用同位素和研究反应堆燃料。WNA 则称，铀已经成为世界上最重要的能源矿物之一，铀下游应用几乎完全用于发电，小部分用于生产医用同位素和海军推进。

4 全球铀资源形势分析

4.1 全球铀资源产业现状

全球铀资源类型以砂岩型、不整合面型、铁氧化物型为主，其次为侵入岩型、古砾岩型和热液脉型（铀矿分类方案据 OECD-NEA / IAEA, 2016）^[3]。IAEA 则将铀资源类型分为不整合面型、热液型、岩浆型、砂岩型、表生新铀矿床以及其他类型。其中热液型、岩浆型占比 46%，占比最大，砂岩型占比为 25.1%，位列第二；不整合面型占比 14.5%，排名第三。因砂岩型铀矿具有开采经济、安全、环保等优点，通过地浸法开采方式最多，约占 57.4%，采取地下开采方式的占 20%，露天

开采的占 16.1%^[4]。

据 WNA2023 年发布的信息，全球前五大铀储量国是澳大利亚、哈萨克斯坦、加拿大、俄罗斯、纳米比亚。其中澳大利亚铀资源量占全球的 28%，其境内的奥林匹克坝铜 - 铀矿山（Olympic Dam Copper–Olympic Dam Uranium Mine）是全球已知最大的铀矿床，第四大金矿床和第五大铜矿床。哈萨克斯坦铀资源量占 13%，其国有铀矿开采公司 Kazatomprom（LSE: KAP, OTC Pink: NATKY）是全球最大的铀生产商。加拿大铀资源量占 10%，该国的大型铀矿商 Cameco Corp（TSX: CCO）（NYSE: CCJ）拥有 Cigar Lake 和 McArthur River 这两大全球顶尖尖铀矿。俄罗斯和纳米比亚的铀资源量均占全球的 8%。纳米比亚的罗辛（Rossing）铀矿床和胡萨布（Husab）铀矿床是典型的白岗岩型铀矿床。且中国铀业持有 Rössing 矿的多数股权。

4.2 我国铀资源状况

我国铀资源开发源自 20 世纪 50 年代，主要用于国防工业。自 1985 年我国开工建设秦山核电站开始，我国核电站迅猛发展，国内铀资源勘查开发也随之快速增长。

我国工业铀矿床主要为花岗岩型、火山岩型、砂岩型和碳硅泥岩型^[5]。其中砂岩型铀矿是我国最重要铀矿类型，占我国已探明资源总量的 45.51%，主要分布于北方系列中新生代盆地内，内蒙古、新疆和青海等地区^[6]。花岗岩型铀矿主要分布在湖南、江西、广西、广东等地区。火山岩型铀矿主要分布在江西、浙江等地区。碳硅泥岩型，主要分布在湖南、江西、四川等地区^[7-8]。

5 全球铀资源需求的预测

5.1 全球铀资源需求预测

铀资源的需求量随着全球核电使用的快速增长而增长，铀资源需求量的增长必然会推动铀资源的生产和铀矿的勘查。根据新版铀红皮书，对全球各地区至 2040 年的铀需求进行预测（详见表 2），在低值和高值情景中，到 2040 年，铀需求分别约为 6.30 万吨和 10.83 万吨，较 2020 年分别增加约 5% 和 80%。其中铀需求增幅前三的分别为非洲、中美和南美、东亚；欧盟排名第五；北美则同比下降达 46% 和 3%。世界核协会则根据 2023 年的 6.57 万吨铀为基准，预测到 2030 年，核电发展对铀资源的需求预计将增长 28%，到 2040 年铀资源的需求达 8.38 万吨。

5.2 我国铀资源的需求预测

我国铀资源需求量在 2010 年—2019 年，年平均增长率为 10.3%。以 2019 年铀资源需求量为 0.98 万吨，累计铀需求量 5 万吨为基数计算，正常情景下，2024 年—2030 年天然铀需求

表2 各地区至2040年的铀需求预测(tU)

	2020年	2025年		2030年		2035年		2040年	
		实际值	低值	高值	低值	高值	低值	高值	低值
非洲	294	304	304	304	304	688	1392	1232	1872
中美和南美	619	560	576	784	784	720	1056	1120	1712
东亚	16039	17408	20080	19824	27056	20176	33248	22560	41296
欧洲(非欧盟成员)	9244	7328	7904	7904	9376	8272	11232	9008	14880
欧盟	12942	15440	15584	14368	15456	13696	16736	12592	19360
中东、中亚和南亚	1945	2816	3200	3808	5728	5408	8448	6032	9888
北美	19031	15552	17872	13968	17888	11584	18048	10336	18464
太平洋	0	0	0	0	0	0	0	0	0
东南亚	0	0	0	0	0	0	0	160	800
总计	60114	59408	65520	60960	76592	60544	90160	63040	108272

表3 我国2020—2030年天然铀需求量预测表(正常情景)

年份	存量装机容量/GW	新增装机容量/GW	年换料铀需求量/t	首炉装料铀需求量/t	当年铀需求量/t	累计铀需求量/t
2020	46	6	8050	2400	10450	60493
2021	51	5	8925	2000	10925	71418
2022	56	5	9800	2000	11800	83218
2023	61	5	10675	2000	12675	95893
2024	66	5	11550	2000	13550	109443
2025	71	5	12425	2000	14425	123868
2026	76	5	13300	2000	15300	139168
2027	81	5	14175	2000	16175	155343
2028	86	5	15050	2000	17050	172393
2029	91	5	15925	2000	17925	190318
2030		5	16800	2000	18800	209118

量约11.32万吨(详见表3);高增长情景下,2025—2030年天然铀需求量为17.35万吨(详见表4)。我国作为东亚的主要成员国之一,与新版铀红皮书对铀资源需求的预测基本相符。

6 全球铀资源供应预测

6.1 全球铀资源供应现状

据WNA2023年的数据显示,全球的铀资源量为601.46万吨,按新版铀红皮书预测,高值情景下,2040年铀需求量10.83万吨为基准核算,全球铀资源量完全可以支持核能的长期可持续发展。然而,全球铀生产国和铀需求国的整体供需结构呈现分离格局,2020年除加拿大和南非的铀产量可以满足国内的铀需求外,有铀资源需求的国家,其产量都不足以支撑国

家需求;而铀资源产量丰富的国家,其铀资源需求较小或者不需要^[9]。

6.2 我国铀资源供应现状

我国2020年铀需求量为9.8千吨,2020年产量为1.9千吨。结合我国未来核电发展趋势,铀资源的缺口将会加大。近几年,我国在国内加大了铀矿资源勘查开发工作,尤其是北方砂岩型铀矿勘查,根据最新的全国铀矿资源潜力评价预测,我国铀资源总量超过280万吨,其中绝大多数都位处北方,砂岩型铀矿床虽然有易于开采的特点,但可利用资源品位低,而且要将资源潜力转化为可利用资源储量,还需要大量的勘查开发投入。因此,我国加大了铀矿资源进口的力度,我国作为核电容量增长迅速的大国,大量地进口铀资源,在一定程度上也促

表4 我国2020—2030年天然铀需求量预测表(高增长情景)

年份	存量装机容量/GW	新增装机容量/GW	年换料铀需求量/t	首炉装料铀需求量/t	当年铀需求量/t	累计铀需求量/t
2020	46	10.3	8050	4120	12170	62213
2021	56.3	10.3	9852.5	4120	13973	76186
2022	66.6	10.3	11655	4120	15775	91961
2023	76.9	10.3	13457.5	4120	17578	109538
2024	872	10.3	15260	4120	19380	128918
2025	97.5	10.3	17062.5	4120	21183	150101
2026	107.8	10.3	18865	4120	22985	173086
2027	118.1	10.3	20667.5	4120	24788	197873
2028	128.4	10.3	22470	4120	26590	224463
2029	138.7	10.3	24272.5	4120	28393	252856
2030	149	10.3	26075	4120	30195	283051

进了铀矿价格上涨。CNEA于2023年11月发布的国际天然铀价格预测指数显示,自2017年开始,国际天然铀价格逐年攀升,2023—2030年铀资源价格持续上涨。

7 存在问题

7.1 铀资源的保障面临着较大的不确定性

双碳目标下,中国大力发展核电,现有的铀资源产量不足以支撑铀资源的需求,我国为此采取了多种保障措施,2019年海关数据统计,我国通过海关进口到国内的铀资源占比87%。当前国际形势动荡,将给我国的铀资源保障带来变数。

7.2 铀矿资源勘查技术掣肘导致国内勘查程度分布不均的问题

近十年来,随着地浸采铀技术的不断创新发展,全国铀资源勘查开发布局由以南方为主转变为南北方并举的新格局^[10]。直接体现在我国铀矿勘查的10项重大成果,9项成果来自北方的砂岩型铀矿床,1项出自南方热液型矿床。曾在20世纪50年代到90年代曾为国家核工业发展作出重大贡献的湘、赣、桂、鄂等地区,因近10年来勘查投入少,导致勘查开发技术创新乏力,在新时代的铀矿勘查方面成果极少。

7.3 铀资源的应用带来的风险问题

铀资源的应用随着核电的不断发展而迅猛增长,铀资源的需求量增加,势必需要加大铀矿资源的勘查开采力度,铀矿山的勘查开采冶炼带来了铀的辐射风险、对生态环境的影响风险;依托于贸易进口和境外矿山产能,存在铀资源采购与运输的风险;核电站、核反应堆的使用,存在放射性废物、核废料难以

处理的问题,对生态环境的影响风险等等,需要特别重视和应对。

8 对策研究

8.1 筑牢铀资源安全自给保障的坚实防线

国内天然铀勘查开发是我国核电发展的重要保障,也是开拓国际天然铀市场的“压舱石”^[11]。要进一步加大对以湖南为首的南方铀矿资源勘查力度,加大勘查经费投入,查清南方铀矿资源储量。争取在我国北方中新生代盆地砂岩型铀矿取得重大突破的基础上,进一步扩大找矿成果,确保铀矿勘查高质量发展。

8.2 加强科技创新,提高铀资源的应用效率

科技创新是发展的第一动力。围绕双碳目标,一是加大核电领域的技术、装置、设施等研发,确保铀资源有效应用。二是建立铀矿资源勘查新模式,建立以中核铀业有限责任公司为主体,地方勘查单位为辅助的新型联合勘查模式,在充分发挥中核铀业有限责任公司的国家队、主力军作用的同时,也要发挥地方勘查单位的优势,加快新矿山基地的建设,全面提高铀矿资源产能。三是加强对绿色勘查新技术的研究。四是加快对深部探测开采铀资源新装备的研发,为南方湘、粤、赣、桂已有的大型铀矿床深部探铀提供了技术支撑。在边深部铀矿勘查设备的研发方面着力,提高勘探精度、广度。五是加快对提高铀资源应用效率新方法的研究。俄罗斯在这方面已经做出了有用的尝试,最近在官网发布了“提出降低铀浓缩生产成本的新方法”。

8.3 建立风险评价机制

建立核能应用风险评价机制，从铀矿山的勘查开采冶炼、天然铀的采购和运输、核燃料和先进核能利用、反应堆后处理、核设施退役治理、放射性物质运输、放射性物质处置、辐射防护、核设施运维等核电能源产供储销体系进行全过程的识别与评价，确定相应的风险类别与等级，给出相应的风险应对策略。

9 结论

双碳目标下，发展核电已经成为全球的共识。在核电发展过程中，我国需要高度关注的三个问题。首先，美国未来20年核电装机容量大幅降低的情况。其次，我国铀资源勘查开发技术创新力度要加强。最后，随着国际形势动荡，核电站的安全性给我国带来了较大的不确定性。

参考文献：

- [1] 陈军强, 曾威, 王佳菅, 等. 全球和我国铀资源供需形势分析 [J]. 地质调查与研究, 2021, 44 (02): 25–34.
- [2] 欧阳鸿浩. 核电在役检查技术服务公司发展战略研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2006.
- [3] OECD—NEA / IAEA. Uranium 2016: Resources, Production and Demand [R]. Paris: OECD, 2016.
- [4] 中核智库. 国际原子能机构公布 2019 年全球核电发

展数据 [EB/OL]. (2020-08-26) [2023-12-10]. <https://www.cnnpn.cn/article/20812.html>.

[5] 杜乐天, 王玉明. 华南花岗岩型、火山岩型、碳硅泥岩型、砂岩型铀矿成矿机理的统一性 [J]. 放射性地质, 1984, (03): 1–10.

[6] 付勇, 魏帅超, 金若时, 等. 我国砂岩型铀矿分带特征研究现状及存在问题 [J]. 地质学报, 2016, 90 (12): 3519–3544.

[7] 李建红, 夏宗强. 中国与侵入岩体有关的铀矿成矿区带的划分 [J]. 矿床地质, 2014, 33 (S1): 103–104.

[8] 金若时, 苗培森, 司马献章, 等. 铀矿床分类初步探讨 [J]. 地质调查与研究, 2014, (01): 1–5.

[9] 张晓, 蔡煜琦, 林双幸, 等. 后疫情时代世界天然铀供需结构与我国天然铀供需趋势分析 [J]. 地质论评, 2022, 68 (04): 1511–1522.

[10] 张金带. “三大战略”助力铀资源开发新突破 [J]. 中国核工业, 2015, (11): 20–22.

[11] 李强, 陈擎, 王继斌, 等. 世界铀资源现状与我国核电发展资源保障的对策建议 [J]. 中国矿业, 2023, 32 (03): 1–9.

作者简介：杨清升（1974-），女，湖南湘潭人，大学本科，高级工程师，主要从事地质调查、勘查研究。