



· 专题研究 ·

非洲核电工业发展热潮的冷思考

吴磊 曹峰毓

内容提要 以电力缺口巨大、电气率低、电力价格昂贵以及供电稳定性差为特征的电力问题长期制约着非洲国家的经济发展。由于核能具有清洁、高效的特点,加上非洲拥有丰富的铀矿资源,21世纪以来埃及、南非等非洲国家纷纷启动了核电开发计划。不过,基于非洲核能工业发展的历史基础,非洲核电工业存在上下游发展结构畸形、缺少自主发展能力、核安全管理机制欠缺,以及安全环境堪忧等问题,在短时间内难以迎来突破式发展。未来,非洲国家需要从加强电力基础设施建设、进行政策调整、加强国际合作等方面入手,解决电力短缺问题。

关键词 新能源 非洲经济 工业化 核电工业

作者简介 吴磊,云南大学国际关系研究院院长、教授(昆明650091);曹峰毓,云南大学国际关系研究院博士研究生(昆明650091)。

电力匮乏长期以来严重制约着非洲国家的正常发展。为解决严重的电力短缺问题,进入21世纪以来,非洲多个国家相继提出核能电力工业发展计划。作为非洲基础设施建设领域的重要合作伙伴,中国已与非洲多国在核电领域展开了合作。其中,中国广核集团与肯尼亚就核电开发合作问题已签署相关协议。^①不过,目前国内学界对非洲核电工业的发展前景尚未引起足够重视,相关研究较为薄弱。本文试图在对非洲核电工业发展进行历时性、全景式梳理的基础上,探究非洲核电工业的发展前景,并进而就非洲电力发展问题进行一些探讨。

^① 朱学蕊:《中国核电挺进非洲》,载《中国能源报》2015年9月14日。



非洲核电工业发展的背景

(一) 电力短缺严重制约非洲经济发展

根据非洲开发银行 (African Development Bank) 的相关统计, 电力短缺已成为非洲国家在基础设施领域面临的最大挑战。^① 目前, 非洲电力危机主要体现在以下四方面:

首先, 非洲的发电能力严重不足。截至 2013 年, 非洲大陆的人口占世界总人口的 15.1%, 而发电能力则仅占世界总量的约 2.6% (总计 14.3 万兆瓦)。^② 若剔除经济发展程度较好的北非地区与南非, 广大撒哈拉以南非洲地区的发电能力仅为约 2.8 万兆瓦。其中又有约 1/4 的产能因设备老旧和维护不当而无法投入使用。^③

其次, 非洲居民的电气化率很低。目前, 仅有约 1/5 的撒哈拉以南非洲人口可以享受到电力服务。与之相比更为严重的是, 电力服务城乡间明显的分化现象。目前非洲城镇居民的电气化率已达到 71%, 而农村居民则仅为 12%。另外, 由于电网承载能力十分有限, 即使是已经通电的非洲家庭, 也往往仅能享受到基本的照明用电服务。^④ 在此情况下, 非洲居民不得不利用木炭等传统生物质能满足日常生活的需要。2013 年, 此类能源占埃塞俄比亚一次能源供应比例的 92.7%。^⑤ 按照目前非洲人口和发电能力的增长速度, 预计至 2050 年非洲家庭的通电率将仍不足 40%。^⑥

再次, 非洲地区的电力价格十分昂贵, 其中吉布提和加纳是世界电费最高的国家之一。非洲的高电价是两方面因素共同作用的结果。一方面, 由于主电网覆盖范围有限, 非洲很多偏远地区不得不利用小型发电机解决电力问

① Vivien Foster and Cecilia Briceño - Garmendia, *Africa's Infrastructure: A Time for Transformation*, Washington, DC: The International Bank for Reconstruction and Development, 2010, p. 43

② Energy Information Administration, "International Energy Outlook 2013", <http://www.eia.gov/oiaf/aeo/tablebrowser/#release=IEO2013&subject=4-IEO2013&table=16-IEO2013®ion=0-0&cases=Reference-d041117>, 2016-01-03.

③ ICA, *Things You Should Know about Infrastructure in Africa*, 2014, p. 3.

④ 王南:《电力:非洲工业化的挑战与机遇》,载《亚非纵横》2014 年第 6 期,第 78 页。

⑤ IEA, "Share of Total Primary Energy Supply in 2013: Ethiopia", <http://www.iea.org/stats/WebGraphs/ETHIOPIA4.pdf>, 2016-01-15.

⑥ Vivien Foster and Cecilia Briceño - Garmendia, *op. cit.*, p. 43.



题。这些小型机组难以形成规模效应,在发电效率上难以媲美大型电站,且在输电过程中也会造成较多损失。另一方面,非洲目前发电仍主要依靠化石能源,而化石能源是最昂贵的发电方式之一,成本高达 0.2 美元/千瓦时 ~ 0.3 美元/千瓦时,远超水力等发电方式。据统计,2010 年非洲平均电费为 0.14 美元/千瓦时,而同年南亚与东亚地区的平均电费仅为 0.04 美元/千瓦时和 0.07 美元/千瓦时。^①

最后,非洲地区供电稳定性差。非洲的供电设备普遍老旧,埃塞俄比亚、肯尼亚等国电网的综合效率相比发达国家要低 8% ~ 10%。电力基础设施的老旧导致非洲国家电网普遍承载能力有限且抵御灾害能力弱,断电现象十分常见。^② 据统计,非洲制造企业每年平均断电时间高达 56 天。^③

电力的匮乏严重制约了非洲国家的经济、社会发展。例如,在经济高度依赖采矿业的赞比亚,2015 年该国因电力短缺不得不对矿业公司减少了 30% 电力供应,严重影响了该国经济发展。^④ 而在加纳和坦桑尼亚,电力短缺导致企业平均要损失 15% 左右的销售额。^⑤ 电力等基础设施匮乏使得撒哈拉以南非洲国民经济增长年均减少 2%,并使企业生产力削减达 40%。^⑥ 由此可见,电力短缺已成为非洲国家经济发展的主要制约因素之一。

(二) 非洲解决电力问题的新思路——核电工业

面对严重的电力短缺,非洲国家首先寄希望于技术门槛较低的火力与水力发电。其中火力发电是非洲发电的主要方式,其装机容量在 1980 ~ 2012 年中增加了约 2.32 倍,达到 109.92 兆瓦,占非洲总装机容量的 77%。相比之下,非洲水力发电能力的增加较为有限,目前装机容量约为 26.50 兆瓦,仅占总量的约 18.57% (参见图 1)。^⑦ 不过,事实证明仅通过这两种发电方式难

① African Development Bank, "The High Cost of Electricity Generation in Africa", <http://www.afdb.org/en/blogs/afdb-championing-inclusive-growth-across-africa/post/the-high-cost-of-electricity-generation-in-africa-11496>, 2016-01-07.

② 王南:前引文,第 79 页。

③ 王珊:《电力短缺成撒哈拉以南非洲国家发展瓶颈》,载国际在线: <http://gb.cri.cn/42071/2013/06/14/6071s4148269.htm>, 2016-01-19.

④ 中国驻尼日利亚使馆经商处:《世界银行:非洲需要电力来实现增长》,载中国商务部网站: <http://www.mofcom.gov.cn/article/i/jyj/k/201601/20160101233624.shtml>, 2016-02-03.

⑤ 李慧:《非洲大陆掀起“核电热”》,载《中国能源报》2015 年 11 月 9 日。

⑥ 王南:前引文,第 79 页。

⑦ EIA, "International Energy Statistics 2016", https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=2&pid=28&aid=7&cid=r6_&syid=1980&eyid=2012&unit=MK, 2016-08-30.



W 西亚非洲 2016 年第 6 期

以满足非洲的电力需求。火力发电不仅成本较高,而且还使非洲国家不得不进口大量成品油与煤炭,增加能源对外依存度,不利于能源安全建设。而水力发电则对气候变化较为敏感。20 世纪 90 年代末以来,受全球气候变化影响,非洲的降雨量不断减少,制约了水力发电能力的发挥。其中肯尼亚水力发电能力在 1998~2000 年下降了 25%,加纳在同一时期水力发电的能力下降了 40%,而坦桑尼亚则在 2015 年一度被迫关闭了所有水力发电厂。^① 进入 21 世纪以来,非洲国家也尝试通过风能、地热能、太阳能、生物质能等手段扩大电力供应,然而由于资金和技术等方面的原因,至今效果并不显著。^②

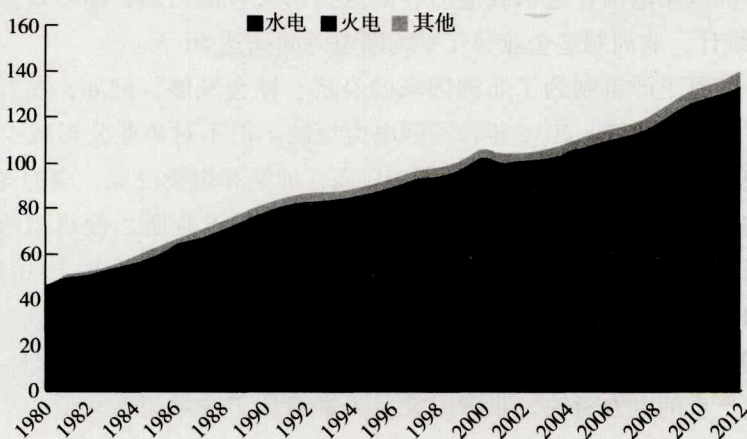


图 1 1980-2012 年非洲发电装机容量变化情况 (单位: 兆瓦)

资料来源: EIA, *International Energy Statistics*, 2016, <https://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=2&pid=28&aid=7&cid=r6,&syid=1980&eyid=2012&unit=MK>, 2016-08-30。

与上述发电形式相比,核能具有既清洁又高效的特点,可兼顾非洲国家环境保护与能源供应的需求。非洲的自然环境十分脆弱。由于过度放牧与砍伐、温室气体排放等原因造成的土地荒漠化、水土流失、粮食歉收等自然灾害已在非洲造成了严重的经济与社会问题。南非比勒陀利亚大学

① Matthew A. Cole, Robert J. R. Elliott, "Climate Change, Hydro - Dependency, and the African Dam Boom", *World Development*, Vol. 60, 2014, p. 86; "Tanzania Closing Hydropower Plants", *BBC*, October 2015, <http://www.bbc.com/news/world-africa-34491984>, 2016-08-30。

② 舒运国:《非洲的核电之梦》,载《人民日报》2009 年 7 月 27 日。

(the University of Pretoria) 的一项研究表明,若温室气体排放不加以有效控制,其造成的气温升高及随之而来的农作物减产可能使非洲在未来面临高达 250 亿美元的巨额损失。^① 因此,非洲国家对于发展清洁能源格外重视。^②

与煤炭、石油、天然气等传统能源相比,核能在环保方面具有无可比拟的优势。据统计,核能发电的二氧化碳排放量仅有化石能源的 1% ~ 2.5%。^③ 此外,随着非洲人口与经济的高速增长,预计非洲的电力需求至 2035 年将增长 93%。^④ 届时非洲的电力需求将进一步上升。与风能、太阳能等清洁能源相比,核能拥有更高的能源密度。现在核电机组的发电能力多为 1 000 兆瓦(相当于加蓬全国发电能力的 2.5 倍)。相较于其他清洁能源,核能在现有的技术条件下可以更好地满足非洲高速增长的能源需求。^⑤

另外,非洲拥有丰富的铀矿资源,且呈现出储量巨大、分布广泛、开采潜力大的特点,铀矿资源丰富的非洲国家完全有能力支撑本地的核电项目。自 20 世纪头十年起,非洲便是世界重要的铀矿开采地之一。根据国际原子能机构(International Atomic Energy Agency)的统计,非洲铀矿储量占世界总量的约 20.39%,主要分布在尼日尔、纳米比亚、南非、坦桑尼亚和博茨瓦纳等国。此外,在阿尔及利亚、中非共和国、加蓬、马拉维、马里、赞比亚、津巴布韦等国也均有具有商业价值的铀矿资源。^⑥ 目前,在非洲参与铀矿勘探与开采的企业超过 200 家。^⑦ 2014 年,非洲开采铀矿 8 254 吨(以金属铀计),占世界总量的 14.7%。^⑧

正是出于上述考量,非洲国家在 21 世纪将目光转向了核能。

① Igor Khripunov, "Africa and Its Nuclear Renaissance", *International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology*, Vol. 2, No. 3, 2009, p. 298.

② 张永宏:《非洲新能源发展的动力及制约因素》,载《西亚非洲》2013 年第 5 期,第 74 ~ 77 页。

③ 史永谦:《核能发电的优点及世界核电发展动向》,载《能源工程》2007 年第 1 期,第 2 页。

④ ICA, op. cit., p. 3.

⑤ Andrew Kenny, "Prospects for Nuclear Power in Sub-Saharan Africa in the 21st Century", *International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology*, Vol. 30, No. 1, 2008, p. 186.

⑥ OCED & IAEA, *Uranium 2014: Resources, Production and Demand*, Issy-les-Moulineaux: OECD Nuclear Energy Agency, 2014, p. 20.

⑦ Igor Khripunov, op. cit., p. 299.

⑧ World Nuclear Association, "World Uranium Mining Production 2015", <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production/>, 2016-01-09.

非洲核电工业发展的历史与现状

实际上,非洲并不是在21世纪后才意识到核能的重要意义。早在20世纪50年代,非洲部分国家便进行了核电开发的最早尝试。在随后的半个多世纪中,受国际政治经济与世界核电工业发展形势的影响,非洲核电工业的发展历经挫折与反复,但从未完全中断。进入21世纪以来,非洲核电工业发展进入新阶段。

(一) 非洲核电工业发展的历史基础

非洲国家在21世纪之前的核电工业发展史可大体分为3个阶段:第一阶段是铀矿首次在非洲大陆发现至二战结束(1913~1945年)。1913年,比利时当局在比属刚果的加丹加省(Katanga Province)发现了非洲第一座铀矿。1915年,该国又在比属刚果发现了储量高达2.5万吨的欣科洛布韦(Shinkolobwe)铀矿。不过,由于当时世界对铀的需求极为有限,其产出的矿石主要被用来提取镭等其他放射性元素。^①随着核物理研究逐步由理论构建步入实用阶段,铀矿资源的战略意义迅速提升,非洲铀矿的大规模勘探与开发工作在20世纪40年代逐渐展开。1943年,比属刚果开始进行大规模铀矿开采,并被应用于旨在制造核武器的曼哈顿计划(Manhattan Project)。^②在该阶段中,非洲核电工业的发展仅停留在上游,即铀矿开采领域,在地域上也仅集中在比属刚果的一个地区。

第二阶段是战后至20世纪70年代末。二战结束后,随着冷战的爆发,在美、苏核军备竞赛的背景下,非洲核电工业的发展随之进入了第二个阶段,并呈现出两个特点。第一,非洲核电工业在上游领域获得了长足的发展,并从此成了世界重要的铀矿出口地。其中南非、赞比亚、加蓬、尼日尔和纳米比亚等国先后在20世纪50至70年代开始了铀矿开采活动(参见表1)。1956年,南非已经成为世界第二大铀矿开采国,比属刚果则为世界第四。^③随着世

① 卢村禾:《非洲自然地理》,商务印书馆,1959年版,第35页。

② Emily Meierding, "Energy Security and Sub-Saharan Africa", *International Development Policy*, No. 2, 2011, pp. 55-73.

③ [苏联]罗津, M. C.:《非洲矿产地理》,苏世荣、卢登仕译,商务印书馆,1959年版,第172~173页。

界铀矿市场的日渐升温,非洲铀矿开采量也不断增加。至1980年,非洲铀矿石出口量已经达到了1.7万吨,占世界铀矿石总出口量的76%。^①

表1 非洲部分国家铀矿开采与出口时间

国家	铀矿发现时间	铀矿出口时间
纳米比亚	1928	1976
南非	1941	1952
马里	1954	—
加蓬	1956	1960
赞比亚	1957	1957
尼日尔	1957	1971
阿尔及利亚	1973	—
乍得	1978	—

资料来源: Emily Meierding, “Energy Security and Sub-Saharan Africa”, *International Development Policy*, No. 2, 2011, pp. 55 - 73; OECD, IAEA, *Uranium 2014: Resources, Production and Demand*, Issy - les - Moulineaux: OECD Nuclear Energy Agency, 2014, pp. 319, 335, 462; (苏)施皮尔特 A. IO.: 《非洲原料资源 1913 - 1958》, 伍知友译, 世界知识出版社, 1964 年版, 第 107 ~ 111 页; World Nuclear Association, “Uranium in Africa”, February 2015, <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Others/Uranium-in-Africa>, 2016 - 09 - 10.

第二, 非洲国家开始了发展下游核电工业的努力。受制于当时冷战局势的影响, 非洲国家在该阶段中的核计划多是出于政治考量。它们为了维护自身的国家安全或提升国际地位, 多将制造核武器列为核计划的首要目标, 而核电工业则成了研制核武器过程中的伴生产物。在 20 世纪 50 至 70 年代, 获得民族独立的埃及、利比亚、加纳、尼日利亚以及实行种族隔离制度的南非陆续启动了核研究计划。其中, 埃及在 1955 年开始进行基础性核能研究。为了对抗以色列的军事威胁, 该国的核计划很快转向军事目的。不过, 随着埃及在第三次中东战争中的惨败, 该国在 1967 年后决定集中精力发展常规军事力量, 仅将核研究作为针对以色列的核活动的制衡手段。南非在 1971 年开始进行核爆炸可行性研究并于 1976 年在科贝赫 (Koeber) 修建了非洲第一座核电站, 最终在 1978 年成功制造出武器级浓缩铀, 且于次年获得核武器制造能力。^②

① Guy Martin, “A Case - Study in Franco - African Relations”, *The Journal of Modern African Studies*, Vol. 27, No. 4, 1989, p. 630.

② Gavin Cawthra & Bjoern Moeller, “Nuclear Africa: Weapons, Power and Proliferation”, *African Security Review*, Vol. 17, No. 4, 2008, p. 139.

利比亚的核计划同样始于20世纪70年代。虽然该国一直未放弃核武器研制活动,但由于受到国际社会的持续制裁,该国的核研究一直处于停滞状态。撒哈拉以南非洲的加纳与尼日利亚的核计划则仅停留在初级阶段。其中,加纳于1964年从苏联引进了一座研究用核反应堆,然而由于经费与技术等原因,该反应堆在两年后即暂停运行;尼日利亚曾试图从联邦德国引进一座反应堆,但未获成功。^①

第三阶段是20世纪80年代至21世纪初。20世纪80年代后,世界核电市场与国际政治经济局势的变化严重制约了非洲核电工业的发展,使之进入了发展低潮。其中,1979年美国三里岛(Three Mile Island)与1986年苏联切尔诺贝利(Chernobyl)核事故对世界核电工业造成了沉重的打击。随着大量核电站建造计划被取消,国际铀矿市场在20世纪八九十年代出现了供过于求的局面,现货市场价格由20世纪70年代的每磅40美元跌至不足20美元。^②在此情况下,非洲核电工业的上游领域出现了产业萎缩。马里、博茨瓦纳、纳米比亚与坦桑尼亚等国的铀矿勘探活动在20世纪80年代趋于停滞。^③此外,纳米比亚、马拉维等国数个新发现的铀矿因被认为没有商业价值而处于闲置状态,很多已投产铀矿也因无法收回运营成本而被迫停产,非洲铀矿出口国出现了普遍性的产量下跌(参见图2)。^④

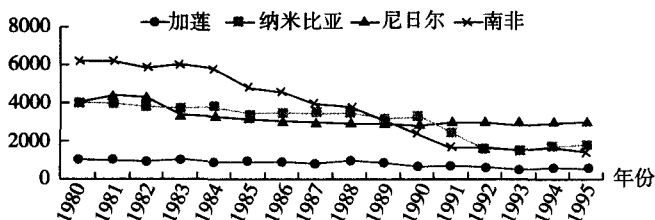


图2 1980~1995年非洲主要铀矿出口国铀矿产量走势

资料来源:“Uranium Production”, The Global Economy, 2016, http://www.theglobaleconomy.com/indicators_data_export.php, 2016-09-14.

① Emily Meierding, op. cit., pp. 55-73.

② World Nuclear Association, “Uranium Markets”, February 2016, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Uranium-Resources/Uranium-Markets/>, 2016-09-15.

③ OCED & IAEA, op. cit., pp. 319, 408, 463.

④ Ibid., pp. 301, 321.



与此同时,随着20世纪80年代后苏联势力的收缩,冷战对非洲的影响日益减少,非洲国家的外部安全环境逐渐改善;而同一时期全球性的经济衰退也使严重依赖初级产品出口的非洲国家面临巨大的经济压力。这些因素使得非洲国家相继放弃了寻求或保有核武器的努力。受此影响,加之缺少外部合作等原因,一直作为非洲国家核武器研制工作伴生品的核电下游开发活动也进入了沉寂期。其中,埃及在签署《埃以和平条约》(*Egyptian - Israeli Peace Treaty*)后的1981年正式批准了《不扩散核武器条约》(*Treaty on the Non - Proliferation of Nuclear Weapons*)^①。埃及将其核设施置于国际社会的监管之下,集中精力开展民用核能领域的研究。^②不过,由于缺少外部支持,该国的民用核能计划进展缓慢,并在切尔诺贝利核事故后被冻结。^③南非则在古巴承诺停止对安哥拉内战的干预以及与莫桑比克实现关系正常化后,在强大的国际压力下于1991年签署了《不扩散核武器条约》,并于1993年宣布已拆除所有核武器。而利比亚虽然早在1975年便签署了《不扩散核武器条约》,但一直在秘密从事核武器研制活动。直到2003年,该国才最终在强大的国际外交压力以及经济制裁下,宣布将在国际监督下销毁所有大规模杀伤性武器,并停止核武器的相关研究。^④

纵观20世纪非洲核电工业的发展历程,可以看出以下4个主要特点。第一,非洲核电工业上下游发展呈现严重不均衡态势。非洲的铀矿开采活动始于20世纪40年代,核技术的研发也在十年后得以同步开展。至20世纪90年代,非洲已成为世界最重要的铀矿开采地之一。1995年,仅加蓬、尼日尔与纳米比亚三国的铀矿开采量就占世界铀矿总量的25%。^⑤与之形成强烈对比的是,经过差不多同样时间的发展,非洲国家的核电工业下游发展仍几乎处于空白状态。埃及、利比亚、加纳仅建成了几座研究用小功率反应堆。南非在1976年建成两座930兆瓦功率的核反应堆后,也一直未扩大核能发电规模。

① 埃及早在1968年便签署了《不扩散核武器条约》,但其议会以面临以色列核武器威胁为由拒绝批准。

② World Nuclear Association, "Emerging Nuclear Energy Countries", June, 2015, <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Others/Emerging-Nuclear-Energy-Countries/>, 2016-02-05.

③ 陶短房、魏云峰:《埃及核热情三度被浇灭》,载《环球时报》2015年2月12日。

④ Gavin Cawthra & Bjoern Moeller, op. cit., p. 139.

⑤ Gabrielle Hecht, "Africa and the Nuclear World: Labor, Occupational Health, and the Transnational Production of Uranium", *Comparative Studies in Society and History*, Vol. 51, No. 4, 2009, p. 896.



第二, 非洲缺少自行发展核电工业的必要能力。核电工业是一项庞大的系统性工程, 涉及物理、化学、电子学、半导体、计算技术、自动控制、材料学等学科。由于缺少必要的技术资源, 非洲核电工业的发展一直高度依赖与外部国家的合作。包括南非在内的所有非洲国家在核电工业发展中均寻求过美国、苏联、法国等核电大国的帮助, 除南非外各国并未培养出合格的核研究队伍。值得深思的是, 非洲国家即使是在技术难度较小的铀矿开采环节也往往不能独立进行。尼日尔、纳米比亚、马拉维等国铀矿的运营基本依靠澳大利亚帕拉丁能源 (Paladin Energy)、法国阿海珐 (AREVA) 等境外公司。^①

第三, 非洲国家核安全管理机制欠缺, 核扩散风险严重。在技术、人员等“硬件”短缺的同时, 非洲国家在核安全制度等“软件”建设上也存在较大漏洞。由于缺乏相应的制度监管, 非洲曾发生过数次严重的核走私事件。例如, 在刚果 (金) 蒙博托 (Mobutu Sese Seko Kuku Ngbendu wa za Bang) 执政时期, 两根燃料棒从位于金沙萨的一座研究用反应堆中遗失。其中一根在 20 世纪 90 年代被意大利警方从西西里黑手党手中缴获, 另一根则至今下落不明。^② 20 世纪 70 年代, 利比亚则从尼日尔非法购买了 1 200 吨铀矿矿石用以核武器研究计划。^③

第四, 安全环境始终是影响非洲核电工业发展的重要因素。在冷战时期, 非洲复杂的地缘政治环境以及由此带来的传统安全威胁成为南非、埃及、利比亚等国寻求核武器, 并随之发展核电工业的重要诱因。与此同时, 各类战乱又严重制约了当时非洲核电工业的发展。例如, 1982 年, 非洲人国民大会 (ANC) 的武装组织“民族之矛” (Umkhonto we Sizwe) 曾袭击过当时仍处于建造之中的南非科贝赫 (Koeber) 核电站。造成了至少 5 亿美元的经济损失, 并使该电站的工程进度延误了 18 个月。^④

(二) 非洲核电工业发展的最新进展

如前所述, 进入 21 世纪以来, 非洲国家对于核电工业的发展前景有了新

① OCED & IAEA, op. cit., p. 319.

② Mads Fleckner, John Avery, *Congo Uranium and the Tragedy of Hiroshima*, Hiroshima: 55th Pugwash Conference, 2005, p. 6.

③ 岳汉景:《利比亚的核政策: 历史与现实》, 载《阿拉伯世界研究》2009 年第 3 期, 第 54 页。

④ “In South Africa, Bomber of Apartheid Era Nuclear Power Plant is a Hero, not a Terrorist”, *Home Land Security News Wire*, April 2015, <http://www.homelandsecuritynewswire.com/dr20150420-in-south-africa-bomber-of-apartheid-era-nuclear-power-plant-is-a-hero-not-a-terrorist>, 2016-02-04.



的认识,核电工业发展呈现两方面突出特点:

第一,多国政府为发展核电工业提供政策支持,并出台了核电工业发展计划。在北非地区,埃及在2006年提出了核电发展计划。该国最初计划在埃尔达巴(El - Dabaa)修建一座功率为1 000兆瓦的核电站,预计耗资为15亿~20亿美元。后经多次修改,该计划最终演变为在2025年前修建4座功率为1 200兆瓦的核电站。2010年,埃及政府通过了一项核能法案,以便为未来大规模核电开发提供法律支持。2011年,埃及国内局势在阿拉伯剧变的影响下日渐动荡,其核电开发计划被迫暂停。2013年,埃及核电计划得以重启,并进行了核电站的招标工作。^①阿尔及利亚于2007年启动了核能开发计划,计划在2025年完成第一座核电站的修建,此后每五年新增一座发电机组,为此该国建立了核工程研究所(Nuclear Engineering Institute)。此外,摩洛哥政府于2007年启动该国的核能开发计划,2014年成立了核能及放射性安全署,并提出在2016~2017年建立第一座核电站。

在撒哈拉以南非洲地区,南非是目前非洲唯一拥有核电技术的国家。该国核电装机容量为1 830兆瓦,约占该国发电总量的5%。2007年,南非政府宣布了新一轮的核电开发计划。总体目标是在2030年将核能发电能力提升至9 600兆瓦,逐步将核能占国家总能耗的比例提升至30%。此外,南非还决定建立起核燃料循环体系。^②

除此之外,2007年,时任尼日利亚总统亚拉杜瓦(Umaru Yar' Adua)宣布,为满足日益增长的电力需求,制定核能战略与发展路线图,开展核电的相关研究。^③2008年,肯尼亚能源部长基拉伊图·穆伦吉(Kiraitu Murungi)宣布该国正在寻求购买核技术以建立小型核电站,于2012年成立了核电力局(Nuclear Electricity Board),计划在2017年前开工建设第一座核电站,在2033年达到2 600兆瓦的核能发电能力。加纳于2006年设立核与联合科学学院(School of Nuclear and Allied Sciences),2007年启动核电开发计划,2012年成立核计划组织(Nuclear Power Programme Organization),3处核电站

① World Nuclear Association, "Emerging Nuclear Energy Countries", June, 2015, <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Others/Emerging-Nuclear-Energy-Countries>, 2016-01-24.

② Gavin Cawthra & Bjoern Moeller, op. cit., p. 147.

③ "Nigerian President Says Country Needs Nuclear Energy", *World Nuclear News*, 2007, <http://www.world-nuclear-news.org/newsarticle.aspx?id=13780>, 2016-01-13.



选址已被确定,计划至 2020 年在建核电功率达到 700 兆瓦,并在 2025 年提升到 1 000 兆瓦。2009 年,乌干达也成立了原子能委员会,加入了发展核电国家的行列。^① 苏丹政府于 2007 年正式宣布启动核能开发计划,并期望在 2020 年前建造一座研究用反应堆,并在 2030 年前建立一座功率为 4 400 兆瓦的核电站。^② 在此情况下,非洲联盟在 2010 年创立了非洲核能委员会 (AFCONE),以协调和促进非洲众多国家的核能发展计划。^③ 塞内加尔 2010 年也宣布将在未来进行核电开发。一时间,非洲这块在核能领域默默无闻的大陆掀起了一股核电发展热潮,各类媒体也对非洲国家利用核能的努力进行了大量报道,似乎核能已成为非洲解决电力短缺的新出路。^④ 笔者认为,这种观点虽有一定合理性,但对非洲国家发展核电工业面临的挑战估计不足。

第二,基于资金和技术水平局限,非洲国家核能开发基本都采用与域外国家的国际合作模式。在北非地区,2008 年,埃及与俄罗斯联邦原子能机构 (Rosatom) 签署了核能合作协议。2015 年,埃及与俄罗斯、中国签署了进一步的核能合作协议。该国首座核电站的建造工作在 2016 年启动。^⑤ 突尼斯在宣布核能开发计划启动的当年 (2006 年),就与法国签署了利用核能进行发电与海水淡化的合作协议;2015 年该国又与俄罗斯签署了核能合作协议。利比亚分别于 2006 年和 2007 年与法国签署核能合作协议和建设一座中型反应堆的谅解备忘录;2008 年该国与俄罗斯签署了一份民用核能合作协议。阿尔及利亚在 2007~2015 年间,陆续与俄罗斯、阿根廷、中国、法国以及美国签订了核能合作协议。

同样,撒哈拉以南非洲核能技术大国南非,2014 年 9~11 月先后与俄罗斯、法国、中国签署了多份核能合作协议,与美国、韩国与日本开展类似合

① 舒运国:前引文。

② World Nuclear Association, "Emerging Nuclear Energy Countries", June, 2015, <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Other/Emerging-Nuclear-Energy-Countries/>, 2016-02-04; Emily Meierding, "Energy Security and Sub-Saharan Africa", *International Development Policy*, No. 2, 2011, pp. 55-73.

③ 伍浩松:《非洲核能委员会即将全面履行职能》,载《国外核新闻》2012 年第 9 期,第 5 页。

④ 仅以中文媒体为例,参见:郭春菊:《众多非洲国家选择核电》,载《经济日报》2008 年 9 月 20 日;舒运国:《非洲的核电之梦》,载《人民日报》2009 年 7 月 27 日;李慧:《非洲大陆掀起“核电热”》,载《中国能源报》2015 年 11 月 9 日。

⑤ Kester Kenn Klomegah, "Egypt: Dreams and Tales of Building Nuclear Industry", March, 2015, <http://allafrica.com/stories/201503271619.html>, 2016-01-03.



作也已被提上议事日程。^① 尼日利亚在 2009 ~ 2015 年间与俄罗斯签署数份核能合作协议。加纳在 2007 年加入全球核能伙伴关系 (Global Nuclear Energy Partnership) 之后, 于 2012 年组织了“非洲核计划合作”会议, 号召其他国家开展核能开发。同年, 加纳与俄罗斯联邦原子能机构签署核能合作协议。乌干达于 2009 年与国际原子能机构签署合作协议。^②

综上, 非洲国家有约百年的核能开发史, 虽然它们在进入 21 世纪以后提出了雄心勃勃的核电工业发展计划, 并开始与俄罗斯、法国、美国、中国签订了一些合作协议, 但由于非洲国家核电自主发展能力较弱, 核电开发从蓝图到实践时间较短, 其成效还有待于进一步观察。

非洲核电工业发展的前景

基于历史与现实, 时至今日, 非洲核电工业的如前所述的特征并没有发生根本改变, 面临着诸多现实困境。

从核电工业自身的发展角度看, 其上下游发展畸形的局面没有任何改观。目前, 非洲在世界铀矿市场中的地位虽有所下降, 但仍是世界重要的铀矿开采地。截至 2015 年, 非洲已发现铀矿储量 281 万吨, 分布于 20 个国家, 约占世界铀矿可开采总量的 21%。^③ 非洲每年的铀矿开采量已超过 8 000 吨 (以金属铀计), 约占世界总量的 15%。^④ 而在核电工业的下游领域, 非洲国家虽提出了一些核能发展计划, 但仍基本停留在 20 世纪 70 年代的水平。

从核能力建设角度看, 非洲依旧不足以独立承担核开发项目。非洲核电工业的上游环节被外国公司把持的现象仍然存在。除南非外, 非洲国家往

① World Nuclear Association, “Nuclear Power in South Africa”, June 2015, <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Countries-O-S/South-Africa>, 2016-01-03.

② World Nuclear Association, “Emerging Nuclear Energy Countries”, June 2015, <http://www.world-nuclear.org/info/Country-Profiles/Others/Emerging-Nuclear-Energy-Countries>, 2016-02-04; Emily Meierding, “Energy Security and Sub-Saharan Africa”, *International Development Policy*, No. 2, 2011, pp. 55-73.

③ World Nuclear Association, “Supply of Uranium”, June 2015, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Uranium-Resources/Supply-of-Uranium>, 2016-02-01.

④ World Nuclear Association, “World Uranium Mining Production”, 2015, <http://www.world-nuclear.org/info/Nuclear-Fuel-Cycle/Mining-of-Uranium/World-Uranium-Mining-Production>, 2016-02-03.



往只在铀矿开采活动中承担上层管理职责,仅有纳米比亚在2008年通过成立国有埃潘杰罗采矿公司(Epangelo Mining Company)的方式对该国境内的铀矿开发活动进行了有限的参与。^①在下游领域,虽然非洲国家的经济得到了长足发展,但仍没有为核电工业的发展奠定足够基础。以配套设施为例,非洲现在很多国家电网的输电能力不足5000兆瓦。这意味着能容纳的单个新增电站的功率仅为500兆瓦,不足以承受常规的核电站设计。^②同时,核电站的高昂建设费用也足以使很多非洲国家望而却步。据统计,建设一座核电站的前期投资高达20亿~35亿美元,超出了大多数非洲国家的财力范围。^③

从非洲的核安全机制角度看,非洲国家在融入国际核安全机制,肩负起相关核安全义务方面仍有很长一段路要走。目前,非洲仍存在巨大的核扩散风险。2006年,坦桑尼亚海关在一批运往哈萨克斯坦的钶钽铁矿中发现了大量夹带的铀矿矿石。经调查,这些矿石来自刚果(金)的欣科洛布韦铀矿,而最终目的地则很有可能为伊朗。^④截至2009年,非洲仍有11个国家没有履行《不扩散核武器条约》的框架内安全协定的法律义务。只有32个国家加入了1987年便生效的《核材料实物保护公约》(Physical Protection of Nuclear Material),且仅有5国批准了该条约2005年的修正案。1996年签署的《非洲无核武器区条约》(The Treaty of Pelindaba for an African Nuclear Weapons Free Zone)也因批准国家未达要求数量而尚未生效。^⑤

从非洲的安全环境看,总体上的政治稳定、经济发展并未换来安全局势的彻底改善。当下,恐怖主义、宗教极端势力的兴起以及由此而来的非传统安全威胁代替了冷战时期的传统安全威胁,成为影响非洲核电工业发展的重要消极因素。2010年9月,7名法国阿海珐矿业公司(AREVA)的员工在尼日尔的阿尔利特(Arlit)铀矿被极端武装“伊斯兰马格里布基地组织”(AQIM)绑架,迫使铀矿暂停运行。^⑥在巨大的安全压力下,包括帕拉丁能源

① OCED & IAEA, op. cit., p. 319.

② 通常情况下,新增电厂的发电能力不应超过现有电网承载水平的10%,以免发生超载。See Emily Meierding, op. cit., pp. 55-73.

③ Ibid.

④ Gavin Cawthra, Bjoern Moeller, op. cit., p. 142.

⑤ Igor Khripunov, op. cit., p. 301.

⑥ Carlos Echeverría Jesus, "Kidnappings as a Terrorist Instrument of AQIM and the MUJAO", *Paix et Sécurité Internationales*, No. 1, 2013, p. 163.

公司 (Paladin Energy)、乌鲁金属 (URU Metals) 在内的众多矿业公司不得不暂停这一地区的铀矿勘探与开采业务。^①

综上所述, 我们应该清楚地意识到, 非洲国家目前不论是在行业结构规划、自身能力储备, 还是在机制建设、安全环境建构等方面仍未对核电的大规模开发做好准备。这也与目前非洲国家核计划在实施过程中“雷声大、雨点小”的情况相吻合: 在 2006 年非洲掀起核电发展热潮以来, 尚未有一座核电站正式开工建设。在这种情况下, 国际原子能机构做出非洲的核能发电能力在 2030 年之前不会迎来显著增长的估计也就不足为奇了。^② 核电作为技术层面上破解非洲电力瓶颈的最佳选项之一, 其依旧值得非洲国家为之努力。但非洲国家政府也应认识到, 核电工业健康发展的先决条件除了大量的持续投入外, 更重要的是非洲国家综合国力的上升、政府治理水平的提高以及地区安全局势的普遍好转。

余论: 对非洲电力发展问题的进一步思考

通过对非洲核电工业的发展历程, 尤其是 21 世纪初在非洲国家中兴起的核电发展规划热潮进行剖析, 我们可以看出该地区电力工业的特殊发展态势。总体上看, 非洲电力工业仍处于欠发达状态, 无法满足其经济、社会发展的基本需要。然而, 电力基础设施的落后并不必然妨碍这些国家发展先进的发电技术, 反而催生了其对后者的强烈渴望。另外, 由于非洲一直未能建立起成规模、成体系的电力工业, 其便有可能实现跨越式发展, 直接建立起以太阳能、水能、生物质能、核能等清洁能源为主体的电力结构。在这种情况下, 有可能“一劳永逸”地解决电力短缺问题的核电工业便成了非洲国家的重点发展方式。

然而, 非洲在发展核电工业方面理想与现实间巨大的差距也体现出该地区核电工业发展面临的巨大挑战。核电站虽然是能源动力项目, 属于基础设施范畴, 但由于核电工业属于技术与资本密集型产业, 是一个国家整个工业基础和科学技术水平的集中体现, 实际上并不“基础”; 而核技术自身的敏

① OCED & IAEA, op. cit., p. 335.

② Emily Meierding, op. cit., p. 55 - 73.

感性质也使得相关的技术合作困难重重。核电工业可以在一个国家工业、科技发展 to 较高水平后为该 国电力产业锦上添花，却难以在急需电力供应的非洲国家起到雪中送炭的作用。因此，纵然核电在技术上拥有诸多优势且被众多非洲国家寄予厚望，该工业部门的特殊性质却决定了其暂时难以在非洲实现快速发展，更不可能在短 时间内解决其面临的电力短缺难题。

非洲国家未来在解决电力短缺问题时，恐怕不能单纯寄希望于在某种发电形式上获得突破。由于非洲有 54 个国家，各国在资源禀赋、安全环境、发展阶段等方面情况各异，非洲各国电力工业的发展模式也必然会有所区别，而要彻底突破制约非洲发展的电力瓶颈则需要从整体上实现电力产业的升级。在此过程中以下 3 个问题值得关注：

一是在电力基础设施建设上寻求突破。增加发电能力是解决电力短缺的根本出路。这需要非洲国家因地制宜，综合运用各种发电手段。火力发电虽有着污染大、成本高的特点，但在长时间中仍将是非洲最主要的发电方式。因此，非洲国家目前的当务之急是通过大型电站逐步取代小型发电机组以减少污染、提高效率。而水力发电则是目前非洲发电领域使用最广泛的清洁发电方式。据统计，目前非洲仅有约 10% 的水力潜能得到了开发。^① 可见即使面对着降雨减少等问题，非洲在水力发电领域仍有巨大的发展潜力，值得非洲国家继续挖掘。此外，非洲还蕴含着丰富的风能、太阳能、地热能等清洁能源，各国应根据自身情况加以开发，力争早日实现电力工业的多元化、清洁化、规模化。

二是在电力政策上进行改革。目前非洲很多国家电力体制为国有垄断，没有建立市场化的电价机制，导致发电企业的收益无法得到保证。^② 同时，这种体制还使得这些国家电力工业效率低下，不利于可持续发展。不过，私有化也被证明不是解决非洲电力问题的“灵丹妙药”。赞比亚、科特迪瓦、毛里求斯等国曾于 20 世纪 90 年代在电力领域实行了私有化改革，但其不仅未解决这些国家所面临的电力短缺问题，反而使它们的电力工业落入了外国企业手中，催生了严重的能源安全问题。^③ 可见，破除电力工业发展的制度制约是一个复杂的系统性工程，不存在简单化的解决方法，需要非洲各国利用开创性思维进行积极应对。

① 孙晓刚、赵秋云：《非洲水电开发前景展望》，载《水利水电快报》2015 年第 9 期，第 10 页。

② 张卓敏：《电力短板阻碍非洲发展》，载《国际商报》2012 年 4 月 16 日。

③ 谢绍雄：《非洲国家电力改革中的教训》，载《国际电力》2003 年第 4 期，第 16 页。

三是加强在电力方面的国际合作。在非洲大陆内部,非洲各国可依托非盟、东非共同体(EAC)等区域与次区域合作组织实施多边、双边电力合作,将地区内部各类电力基础设施进行有效整合,加快发展速度。例如,非洲国家虽然在整体上尚不具备发展核电的良好条件,但可在部分国家先行修建功率较大的核电机组以满足本国和周边国家的电力需求。同时,非洲也应积极与外部国家进行电力合作,利用自身电力市场广阔的优势吸引发达国家的资金与技术,以便在电力工业领域实现跨越式发展。

The Calm Thoughts on the Development Upsurge of the Nuclear Power Industry in Africa

Wu Lei & Cao Fengyu

Abstract: Power problems which are characterized by serious power shortage, low electricity rate, expensive electricity price and poor power supply stability have been a serious constraint to the economic development of African countries for a long time. Because of the clean and efficient characteristics of nuclear energy and the abundant reserves of uranium in Africa, Egypt, South Africa and many other African countries have launched their nuclear power development plans. However, combined with the analysis of the development process of African nuclear industry, many problems, such as structural abnormalities, the lackness of independent development capacity, the lackness of nuclear safety management and the shortage of security environment, can be seen, so that it is difficult to make a breakthrough development in African nuclear power industry. Power infrastructure construction, policy reform and international cooperation are the key issues to solve the power shortage problem of African countries.

Key Words: New Energy; African Economy; Industrialization; Nuclear Power Industry

(责任编辑:詹世明 责任校对:樊小红)