

中东北非电网互联与可持续发展研究

俞凯峰^{1,2*}, 黄磊^{1,2}, 闫涛^{1,2}, 冯宗邦³, 刘武艺⁴, Radia Sedaoui⁵

(1. 全球能源互联网发展合作组织, 北京市 西城区 100031;

2. 全球能源互联网集团有限公司, 北京市 西城区 100031;

3. 卡迪夫大学, 英国 卡迪夫市 CF10 3AT;

4. 中国电力建设集团有限公司中东北非区域总部, 阿联酋 迪拜 487389;

5. 联合国西亚经济社会委员会, 黎巴嫩 贝鲁特 11-8575)

Grid Interconnection and Sustainable Development in Middle East and North Africa (MENA)

YU Kaifeng^{1,2*}, HUANG Lei^{1,2}, YAN Tao^{1,2}, FENG Zongbang³, LIU Wuyi⁴, SEDAOU Radia⁵

(1. Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization, Xicheng District, Beijing 100031, China;

2. Global Energy Interconnection Group Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100031, China;

3. Cardiff University, Cardiff CF10 3AT, UK;

4. MENA Office, Power China Group Co., Ltd., Dubai 487389, United Arab Emirates;

5. Chief Energy Section, Sustainable Development Policies Division, UN-ESCWA, Beirut 11-8575, Lebanon)

Abstract: The Middle East and North Africa (MENA) have rich solar and offshore wind resources. However, energy transition has seen a relatively low pace in recent decades. Thus, holistic energy transition facilitating large-scale solar and wind development, enhancing synergies of green generation and grid interconnection, and catalyzing heavy industry green R&D investment, is of paramount importance for achieving climate goals, and reducing CO₂ and other greenhouse gas (GHG) emissions. In this study, we proposed a practical and feasible energy transition roadmap, that is, the interactive development of renewables, storage, desalination, green hydrogen, and power trade for MENA. Utilizing this roadmap, we conducted an integrated analysis of the synergies of the MENA green generation and grid interconnection. Furthermore, the MENA roadmap was discussed with the aim of promoting Chinese developers, manufacturers, and financial entities, to actively participate in the MENA market. Additionally, we demonstrated an applicable method for establishing a reliable, and green Northeast Asian power market.

Keywords: One Belt One Road; MENA; grid interconnection; energy transition

摘要: 中东北非地区能源转型进展缓慢, 加速部署太阳

能、风能等可再生能源资源, 推动电源、电网协同规划与项目开发融资模式创新是实现区域可持续发展的必经之路。区域电力市场缺乏顶层设计, 电网消纳和调节能力不足, 限制了中东北非可再生能源大规模开发利用。为此, 详细梳理了中东北非电源开发以及电网互联发展现状, 分析总结了中东北非电源、电网规划目标, 明确了区域当前电力背景下的可持续发展路径。基于当前中东北非能源现状, 探讨提出“清洁开发-规模储能-海水淡化-绿色制氢-电力出口联动发展模式”, 为中资电力环保企业深耕“一带一路”沿线阿拉伯国家市场, 以及中国牵头建设东北亚电力市场提供借鉴和参考。

关键词: 一带一路; 中东北非; 电网互联; 能源转型

0 引言

中东北非 (Middle East and North Africa, MENA) 地区位于亚、欧、非三大洲地理交汇处 (如图1所示), 埃及、沙特、阿联酋等是“一带一路”倡议在阿拉伯世界的重要枢纽伙伴国家。目前, 大部分阿拉伯国家电源侧主要依赖天然气和油电, 消费侧电气化率较低^[1-2]。区域内能源部门碳排放占比超过70%, 能源转型已成为中东北非经济、社会、环境^[2]可持续发展的核心内容和手段。近年来, 沙特、阿联酋等国电网基础设施相对完善, 有效降低了大型可再生能源项

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41701232)。

National Natural Science Foundation of China (41701232).

目开发成本,从而提高了项目可融资性与可行性。而其他大部分阿拉伯国家大规模可再生能源开发进展缓慢,区域内现有太阳能和风能开发力度远远不能满足气候目标^[3]。电网基础设施互联互通不足,可再生能源电力消纳与调节能力有限,已成为制约中东北非能源转型的瓶颈。深入梳理把握中东北非国家电源特点以及电网互联现状对中资企业和政策性(商业)银行“走出去”,参与“一带一路”沿线国家能源建设有着重要意义^[4]。

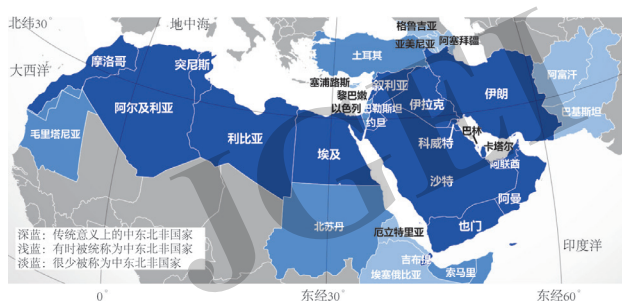


图1 中东北非国家

Fig. 1 Location of MENA countries

世界银行(世行)旗下能源管理援助计划(energy sector management assistance program, ESMAP)工作组早在2013年12月即联合阿拉伯国家联盟(阿盟)编写并发布了题为《中东北非电网互联互通——区域电力市场结构设计》的研究报告^[5],梳理了区域内海湾六国电网^[6]、西亚八国电网^[7]、北非马格里布电网^[8]三个子区域互联电网现状,及其与欧洲、撒哈拉以南非洲、伊朗等临近区域的互联规划展望,以及阿拉伯国家电力监管架构、政策法规、市场主体情况。此后,阿盟联合相关成员国政府提出建设“泛阿拉伯统一电力市场”^[5]。近年来,沙特、阿联酋等国陆续发布了可再生能源规划目标,对电网建设提出了新的要求。需要在已有研究^[7-12]基础上梳理中东北非资源禀赋、电网互联基础设施等最新数据现状,并提出切实可行的能源开发、配置与消费体系改革路径。

中东北非相关路径对中国牵头建设东北亚电力市场,增强电网可靠性与灵活性,以及推动中国电力节能环保建设有着重要借鉴价值。此外,中东北非地处热带干旱荒漠地区^[13-14],有利于开发大规模光伏、风电项目,相关“光伏扶贫”等开发模式可在中国西北地区落地。因此,本文一是全面梳理中东北非电源、电网互联现状与规划目标,为中资能源电力环保企业提供战略支撑;二是归纳阿拉伯电力市场顶层设计与

相关技术展望,为东北亚电力市场建设提供相关对比资料;三是探讨提出中东北非切实可行的可持续发展路径。

1 中东北非可再生能源资源禀赋

由于清洁能源开发成本显著降低和油气价格波动,相关国家开始重视可再生能源开发。中东北非地区在太阳能、风能、氢能、海水淡化以及储能领域有较大开发潜力^[5]。中东北非地区太阳能、风能资源分布情况如图2和表1所示,其可再生能源装机容量与规划目标如表2所示。

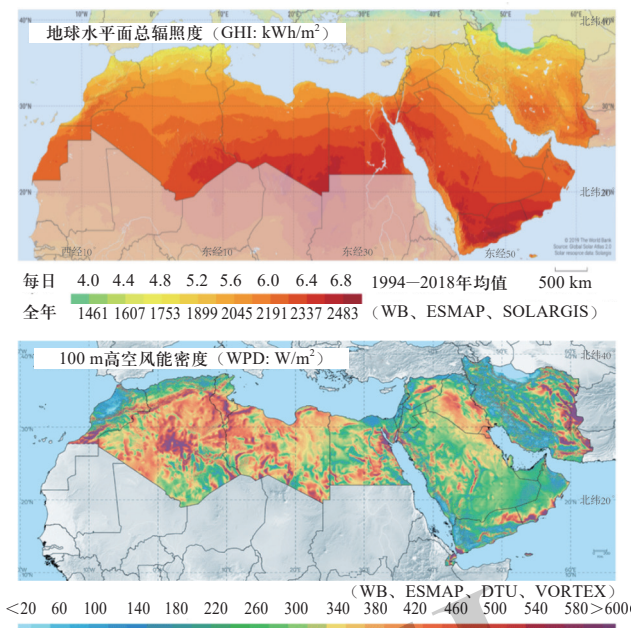


图2 中东北非太阳能、风能资源分布情况

Fig. 2 Distribution of solar and wind energy in the MENA Region

1.1 太阳能

中东北非地区逐渐成为全球瞩目的太阳能开发基地。摩洛哥、埃及、沙特等国年均光照强度超过2000 kWh/m²,开发潜力较大^[15-16]。作为大型太阳能项目开发模式较为成熟的国家,海湾阿拉伯国家合作委员会(Gulf Cooperation Council, GCC)六国(沙特、阿联酋、卡塔尔、阿曼、科威特、巴林)太阳能年理论蕴藏量约为199.65万亿kWh,年技术可开发量约为15.97万亿kWh,技术可开发装机容量约为78亿kW^[9](如表1所示)。

截至2021年初,该地区已新建或在建摩洛哥510 MW努奥光热、埃及186 MW本班光伏、沙特300 MW萨

卡卡光伏、迪拜950 MW光伏+光热太阳能、阿布扎比1177 MW诺尔光伏、阿布扎比1500 MW达富拉光伏等大型项目。2020年4月, 阿联酋水电公司授标的1.35美分/kWh成为当时全球最低电价, 由法国电力和中国晶科联合体中标。2021年, 沙特可再生能源办公室(Renewable Energy Project Development Office, REPDO)公布了600 MW费萨利亚光伏项目中标价格再创1.04美分/kWh新低。中资承包方、供应商、融资方已积极参与相关竞标。目前来看, 电网接入条件成熟, 购电协议(power purchase agreement, PPA)等消纳渠道稳定, 以及干旱区荒漠土地廉价等都是沙特、阿联酋等国大型太阳能基地开发和获得融资的重要先决条件。

表 1 主要海湾国家太阳能和风能资源禀赋^[9, 16]

Table 1 Solar and wind resources evaluation of Gulf Cooperation Council (GCC) countries^[9, 16]

	科威特	卡塔尔	阿曼	沙特	阿联酋
日照时间/h			9.60	9.30	9.50
太阳能理论蕴藏量/万亿kWh			20	163	2
风能理论蕴藏量/万亿kWh	0.10	0.07	2.44	14.85	0.48
风电技术可开发装机/亿kW	0.78	0.44	13.60	93.10	3.30

1.2 风能

该区域风电开发尚处起步阶段。阿曼南部沿海、沙特西北部亚喀巴湾沿岸, 以及阿尔及利亚和利比亚

内陆高海拔地区地表风速可达7~8 m/s, 风能密度高, 可开发潜力较大(如图2所示)。GCC六国风能年理论蕴藏量约18万亿kWh, 技术可开发装机约110亿kW^[9](如表1所示)。

沙特400 MW杜马特风电项目、埃及250 MW西巴克尔风电场是标杆工程^[2]。利比亚等并网基础较差的国别尚不具备大型风电项目开发条件。目前, 中资开发商、承包商较少参与该区域风电项目建设。法国电力、美国通用、阿联酋马斯达尔、沙特国际电力和水务公司是该区域主要的风电投资、承建以及开发商。

1.3 氢能

绿氢有望成为中东北非下一个投资风口。摩洛哥、沙特、阿联酋等国正与欧盟探讨绿氢合作。2020年, “欧洲氢能”倡议发布了《绿色制氢: 欧洲的2×40 GW倡议》报告^[17], 提出分别在欧洲和北非开发40 GW光伏/风电电解制氢项目, 其中北非产能的18.8%自用, 剩余部分通过升级天然气管道输送至欧洲消费终端。阿联酋方面, 迪拜于2019年与西门子合作开发太阳能发电电解制氢项目, 为世界博览会运输部门提供氢能。2021年, 阿布扎比国家石油公司(ADNOC)、阿布扎比发展公司(ADQ)、穆巴达拉主权基金(Mubadala)探讨了合作开发蓝氢、绿氢的规划。穆巴达拉还与意大利天然气公司(SNAM)达成了氢能合作协议。未来, 中东北非大型电解制氢(绿氢)工厂将优先部署在电网设施完善地区或邻近大型太阳能或风电基地, 绿氢有望与大规模清洁能源基地协同规划开发。

表 2 中东北非国家可再生能源装机容量(2020年)与规划目标^[2, 15]

Table 2 MENA countries' renewable energy capacity (2020) and future targets^[2, 15]

国家	2020年可再生能源装机容量/MW						规划目标(装机容量/MW或占比)				目标年份
	太阳能	风能	生物质能	水电	总计	占比/%	太阳能	风能	核电	总计	
沙特	409	3			413	0.5				9500	2030
阿联酋	2539				2540	7.2			6%	44%	2050
卡塔尔	5		38		43	0.3	200~500				2022
科威特	93	12			106	0.5				4500	2030
阿曼	109	50			159	1.3				35%~39%	2040
巴林	10	1			11	0.1				10%	2035
约旦	1359	515	13	16	1903	31.0		1000	23%		2025
黎巴嫩	65	3	9	253	330	8.8				30%	2030
伊朗	414	303	12	13 233	13 962	15.1				15 500	2030
埃及	1694	1375	79	2832	5980	10.1	17 630	10 720	1200		2030

续表

国家	2020年可再生能源装机容量/MW						规划目标（装机容量/MW或占比）				目标年份
	太阳能	风能	生物质能	水电	总计	占比/%	太阳能	风能	核电	总计	
阿尔及利亚	448	10		228	686	2.8	15 570	5010		22 000	2030
摩洛哥	734	1405	2	1770	3447	30.9				50%	2030
叙利亚	2	1	7	1490	1500	14.8					
伊拉克	216			2514	2730	8.0					
也门	253				253	13.0		400		15%	2025
巴勒斯坦	55				56	28.4				500	2030
突尼斯	95	244		62	401	6.0				4700	2030
利比亚	5				5	0				2219	2025

1.4 海水淡化

区域内淡水短缺问题突出。沙特和阿联酋海水淡化技术已达国际领先水平。约旦政府急需海水淡化设施，但缺乏足够资金、技术支持。目前，沙特、阿联酋的大型海水淡化项目一般从电网买电或自建离网天然气电站，已有清洁能源-海水淡化联动项目较少，未来具有较大潜力^[18]。

1.5 规模储能与核电

2017年末，迪拜授标马克图姆光伏-光热太阳能公园项目，储热时长达15 h，夜间可持续供电；摩洛哥努奥光热项目也配备了全球领先的储能设施^[19]。阿布扎比巴拉卡核电站1号、2号机组分别于2020年2月、2021年8月并网，成为阿拉伯国家首座商用核电站^[9]。

2 中东北非电网互联现状

中东北非地区已形成海湾六国电网^[7]、西亚八国电网^[8]（土耳其、伊拉克、叙利亚、黎巴嫩、约旦、巴勒斯坦、埃及、利比亚，后在阿拉伯电力部长会议上改称“三大洲互联电网”）、北非马格里布电网^[8]（摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯）三个子区域电力市场。目前三个子区域电网处于各自运营状态，阿盟邀请世行研究发布了报告，旨在推动子区域电网互联并实现“泛阿拉伯统一电力市场”^[5]。世行报告发布以来相关数据亟待更新，目前三个子区域电网互联现状如图3所示。

2.1 海湾六国电网互联

海湾六国互联电网已分三阶段落地实施。第一期

覆盖海湾国家北部区域，连接科威特、沙特、卡塔尔，于2009年完成。第二期覆盖海湾国家南部区域，连接阿联酋、阿曼电网。第三期连接海湾国家北部和南部电网，于2011年完成^[10]。

沙特、科威特、巴林、卡塔尔、阿联酋通过一条位于沙特东海岸的400 kV双回路交流线路实现互联，阿联酋与阿曼通过220 kV交流线路实现互联。沙特是海湾六国互联电网的枢纽国家，该条由海湾阿拉伯国家合作委员会互联电网管理局（Gulf Cooperation Council Interconnection Authority, GCCIA）拥有的400 kV线路与沙特国家电力公司（Saudi Electricity Company, SEC）拥有的沙特东部电网通过背靠背直流实现了互联^[11]。此外，GCCIA分别在2019年、2020年与埃塞俄比亚、约旦、伊拉克等三国签署了电网互联合作协议，希望逐步实现与东非、西亚八国电网的互联^[6]。

2.2 三大洲电网互联

西亚八国互联电网暨“三大洲互联电网”是亚-欧-非清洁能源优化配置、电网实现互联互通的关键。其中约旦、沙特和埃及是枢纽国家，除叙利亚、埃及外，约旦计划推进实施与沙特、巴勒斯坦、伊拉克等周边国家的电力互联（如图3所示）。

由于宗教等因素，以色列通过低压孤岛线路为巴勒斯坦供电（主要为约旦河西岸），但总体来看被周边阿拉伯国家孤立。以色列政府正全力推动“欧亚电网互联项目”，旨在通过以色列-塞浦路斯-克里特岛-希腊本土（安提卡）海缆线路实现与欧洲电网互联，该项目已纳入欧盟基础设施共同资助项目清单（projects of common interests, PCIs），有望获得

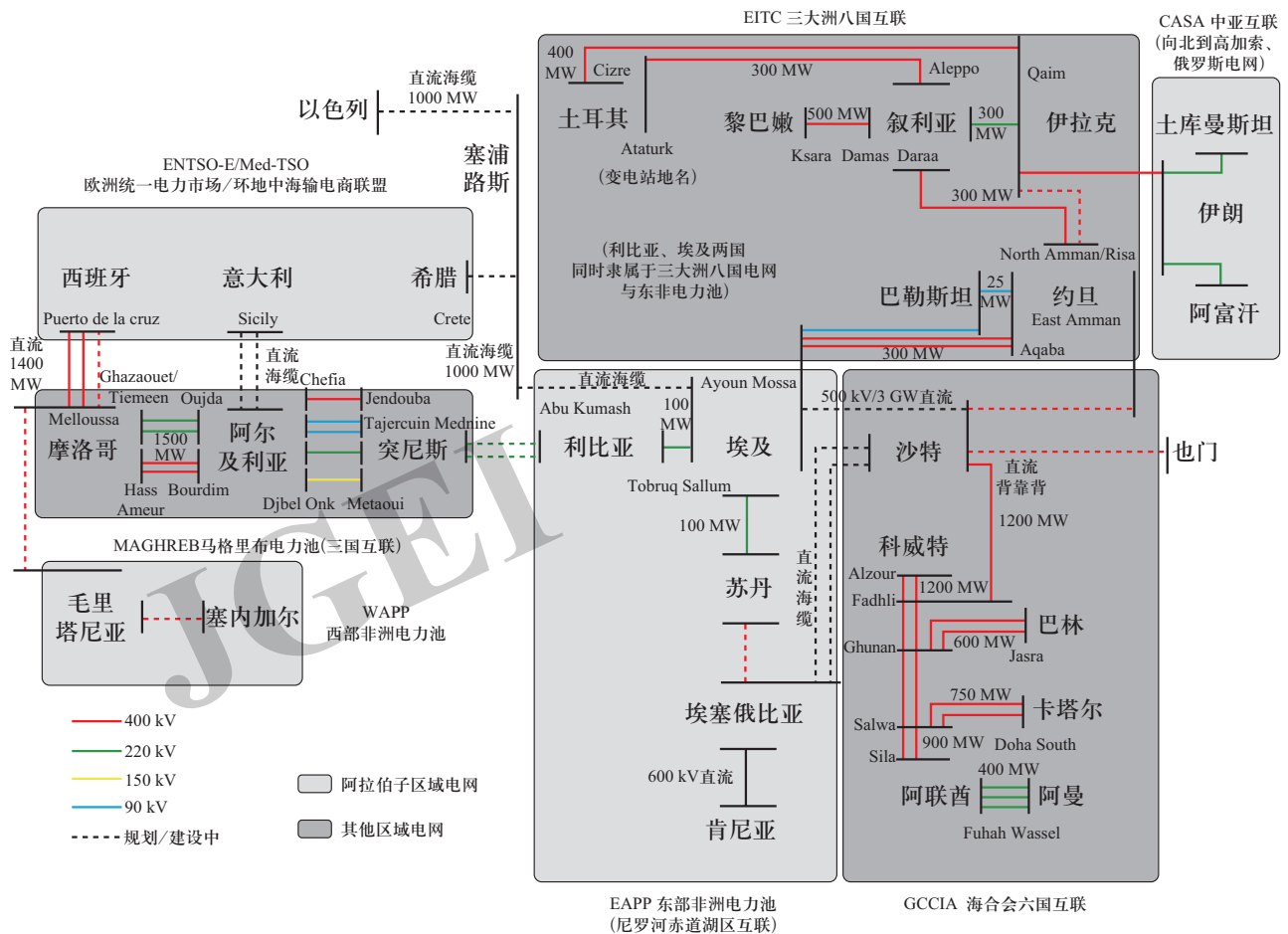


图3 中东北非海湾六国^[6]、西亚八国^[7]、北非马格里布三国^[8]等子区域电网及其与欧洲、中亚、东非互联示意图

Fig. 3 Scheme of grid interconnection in the MENA region and neighbouring countries

欧盟基础设施互通基金 (connecting Europe facility, CEF)、欧盟战略投资基金 (European fund for strategic investments, EFSI) 及相关政策性银行的融资支持^[20]。

2.2.1 北非-西亚电网互联

1) 约旦枢纽。约旦政府在约旦国家电力公司 (National Electric Power Company, NEPCO) 下设了阿拉伯电力联盟 (Arab Union of Electricity, AUE), 秘书处设在约旦阿曼, 旨在推动西亚八国互联电网项目落地^[21]。已有的互联电网: 一是约旦-埃及双回 400 kV/300 MW 交流线路于 1998 年投入运行, 输送距离为 13 km, 目前正在进行容量升级, 改建后第一阶段将升级至 1 GW, 第二阶段将升级至 2 GW。完成升级后, 埃及将通过约旦向叙利亚、伊拉克外送电力, 远期甚至可以向土耳其或欧洲国家输送廉价绿色电力。二是约旦-叙利亚 400 kV/300 MW 交流线路于 2001 年建成投运, 但与土耳其-叙利亚、土耳其-伊拉克等线路一样由于战争处于停运状态^[6]。

约旦-伊拉克互联项目和约旦-巴勒斯坦互联项目将加速实现西亚八国内部电网互联, 做好与海湾六国电网互联的准备。目前, 西亚八国尚存在众多孤岛或停运状态的跨境输电线路, 约旦处于枢纽地位。2019 年 8 月 14 日, 约旦能源与矿产资源部长海拉·扎瓦提与伊拉克电力部前部长哈提卜共同讨论了双边关系和加强能源合作的途径, 并签署了相关协议。新的约旦电网互联项目第一阶段将修建一条高压输电线路, 将约旦东部地区里沙变电站和伊拉克西部地区凯姆变电站连接起来, 全长 300 km, 预计需要投资 1.4 亿美元, 目前尚未开始招标流程。双方已同意各自在境内建立、拥有、管理本国部分电网, 双方已同意共同完成互联项目第二阶段所需技术和可行性研究。2019 年 7 月, 扎瓦提部长表示, 约旦将增加对巴勒斯坦的电力出口, 输送容量将由 25 MW 提升到 80 MW。巴勒斯坦希望通过增加从约旦的电力出口逐步摆脱从以色列电力公司 (Israel Electric Corporation, IEC) 进口电力的

依赖。

2) 埃及枢纽。埃及作为三大洲互联项目的北非枢纽已完成了相关规划。向北,埃及-约旦-叙利亚-土耳其陆上400 kV交流输电线路已基本形成,埃及-塞浦路斯-希腊海上输电工程(暨“欧非电网互联项目”)已进入可行性研究阶段。向东,埃及-沙特500 kV/3 GW直流输电工程于2021年9月授标,预计将于2023年投运。届时独立的海湾六国、西亚八国将形成互联,对“泛阿拉伯电力市场”建设具有里程碑意义。向南,埃及-苏丹220 kV/100 MW交流输电工程经多次推迟后于2020年投运,向苏丹出口电力,且未来也可以通过苏丹电网购买来自埃塞俄比亚的水电。向西,埃及-利比亚220 kV/100 MW交流输电线路于1998年投运,近年来埃及每年向利比亚出口电力约1亿kWh。

埃及输电公司(Egyptian Electricity Transmission Company, EETC)于2020年初招标埃及-沙特互联项目,商务标于2021年上半年截标,受疫情影响截至2021年9月仍未能授标,国网中电装备与印度拉森特博等承包商已参与竞标。埃及与沙特早在2010年就进行项目谈判并在2014年共同提出了电缆线路和变电站招标计划,但由于埃及国内政治形式以及沙特NEOM新城建设而数次推迟。据悉,沙特-埃及互联项目预计耗资16亿美元,其中沙特将出资10亿美元。沙特和埃及将分别承担各自境内的工程建设,项目建成投运后将实现北非和西亚/海湾互联,对“泛阿拉伯统一电力市场”的建设具有里程碑意义。

2.2.2 西亚-海湾电网互联

1) 沙特-伊拉克互联。沙特-伊拉克互联、沙特-约旦互联是实现西亚八国与海湾六国电网互联的关键项目^[9]。2020年5月24日,伊拉克副总理兼财政部长阿里·阿卜杜拉·阿劳伊率团访问沙特首都利雅得。逊尼派穆斯塔法·卡泽米于2020年5月当选伊拉克新任总理后任命阿劳伊为副总理兼财政部长,同时计划巩固与沙特(主体为逊尼派)的关系。在美国豁免伊拉克进口伊朗电力的情况下,阿劳伊在利雅得会见了沙特能源部长阿卜杜拉齐兹·本·萨勒曼亲王,双方签署了两国电网互联线路建设协议。此外,伊拉克于2020年初与GCCIA签署了合作协议,计划通过科威特形成与海湾六国的互联电网。

2) 沙特-约旦互联。约旦-沙特技术委员会于2019年1月通过了两国电网互联可行性研究,两国落点分别为约旦东安曼和沙特库雷亚特,输送距离为

170 km。NEPCO表示,双方已草拟项目实施时间表,但招投标流程截至2021年9月尚未开始。在冬季,约旦太阳能电站并网后,白天发电量可覆盖沙特能耗,而日落后则从沙特进口电力,从而通过电力交换实现两国电源侧的最佳利用。约旦-沙特电网互联将降低电力生产成本,造福两国消费者,并对各个部门产生积极影响。互联将提高电网的可靠性,特别是规模和容量较小的约旦电网,并降低发电机组突然停电或极端天气事件导致可再生能源电站产能波动的风险。沙特电力公司(SEC)在最新的五年规划方案中提出将新建34 000 km国内、跨国互联电网线路,旨在推动沙特电网与海湾、西亚、北非、欧洲电网的互联互通^[9]。

2.3 马格里布电网互联

摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯三国暨马格里布电网是阿拉伯地区实现与欧洲电网互联的唯一子区域电网^[8]。摩洛哥与马格里布国家电网互联工作始于1950年代,与欧洲地区电网互联则可追溯到2003年末举办的欧洲地中海地区部长级会议。在此会议上,欧盟和马格里布地区国家能源部长签署了将马格里布地区电网整合至欧盟电力市场的相关协议。在此基础上,马格里布地区国家在2010年签署了《阿尔及利亚宣言》,进一步表达了该地区国家对于区域一体化的希望。根据该宣言,三国采取了统一的法律框架和技术标准。如图3所示,目前的电网互联:一是摩洛哥通过两条400 kV海底电缆与西班牙互联,线路容量为1400 MW;二是摩洛哥和阿尔及利亚之间通过一条400 kV双回交流线路以及两条220 kV线路电网互联,输送容量为1500 MW;三是阿尔及利亚和突尼斯通过两条90 kV、一条220 kV、一条150 kV交流线路实现互联;四是突尼斯与利比亚曾于2002年尝试互联,但线路建成后由于技术原因未能实现同步^[8]。2021年8月,阿尔及利亚政府宣布与摩洛哥断绝外交关系,对马格里布电力市场建设造成了一定负面影响。

3 泛阿拉伯电网与周边区域互联规划

大力推动可再生能源开发是中东北非地区实现碳减排以及经济社会可持续发展最切实可行的路径。目前来看,中东北非能源互联在实现亚-欧-非跨洲互联以及高比例可再生能源并网消纳与跨国跨洲优化配置中处于核心地位^[12]。上文分析了北非、西亚、海湾三个子区域电网互联现状,下面将阐述北非、西亚、

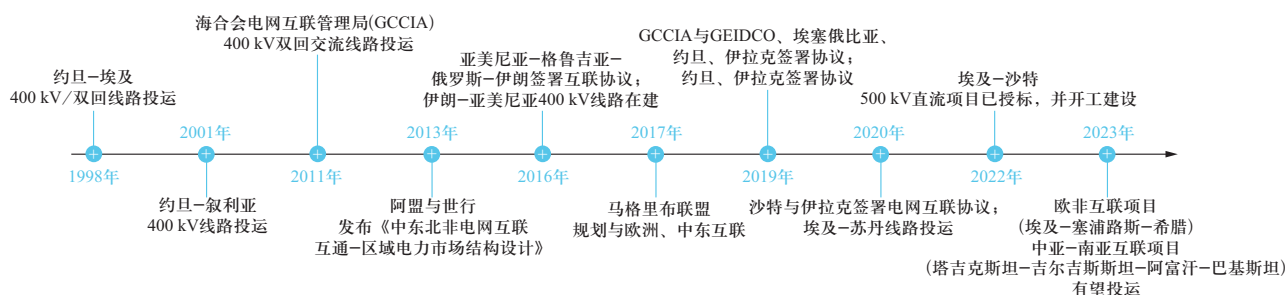


图4 中东北非电网互联暨泛阿拉伯统一电力市场建设的关键节点与重点项目

Fig. 4 Milestones of the Pan-Arab electricity market development and key projects

海湾电网与周边欧洲、中亚、东非电网互联的现状与规划目标, 为中资企业和政策性(商业)银行融入当地市场提供决策支撑, 中东北非电网互联暨泛阿拉伯统一电力市场建设的关键节点与重点项目如图4所示。

3.1 北非-欧洲电网互联

欧盟成立了环地中海输电运营商联盟^[22] (Mediterranean Transmission System Operators, Med-TSO), 秘书处设在意大利罗马。Med-TSO共19个成员国, 包括欧洲10国(西班牙、葡萄牙、意大利、法国、希腊、黑山、塞浦路斯、斯洛文尼亚、克罗地亚、阿尔巴尼亚), 北非5国(摩洛哥、阿尔及利亚、突尼斯、利比亚、埃及), 以及西亚4国(以色列、约旦、巴勒斯坦、土耳其)。19个成员国电力部长定期召开会议, 交流北非-欧洲能源互联建设经验、规划研究、项目进展等。欧洲输电系统运营商联盟^[23] (European Network of Transmission System Operators for Electricity, ENTSO-E) 依据《跨欧洲能源网架法案》(Trans-European Energy Networks, TEN-E) 发布了最新版《十年电网发展规划》^[24] (Ten-year Network Development Plan, TYNDP)。根据该规划, 北非-欧洲互联主要分为三条走廊。一是西部走廊, 即摩洛哥-西班牙互联。西班牙国王费利佩六世于2019年率团访问摩洛哥拉巴特期间与摩洛哥国王默罕默德六世达成共识, 两国将建设第三条海缆互联线路。虽然目前西班牙向摩洛哥单向出口电力, 三期工程投运后摩洛哥有望向西班牙和欧洲电网出口北非清洁能源。二是中部走廊, 即阿尔及利亚/突尼斯-意大利(西西里岛)互联, 相关输电运营商已签署合作协议并成立联合工作组开展相关项目推动工作。三是东部走廊, 即埃及-塞浦路斯-希腊互联(“欧非能源互联项目”)。其中克里特岛-希腊本土(安提卡)部门已在2020年6月

授标给意大利普威斯曼与德国西门子联合体, 项目建设工作于2020年下半年开始。

3.2 北非-东非电网互联

埃及-苏丹互联项目于2020年上半年建成投运。该线路长1000 km, 输送容量达到了240 MW, 该项目是非洲电力公共事业协会(Association of Power Utilities of Africa, APUA)、东部非洲电力池(Eastern Africa Power Pool, EAPP)、南部非洲电力池(Southern African Power Pool, SAPP)、国际可再生能源署(International Renewable Energy Agency, IRENA)等国际组织和机构共同推动的东非绿色电力走廊项目的重要组成部分。该项目由埃及输电公司授予印度拉森特博承建^[5]。

3.3 西亚-欧洲电网互联

以色列和土耳其是实现西亚-欧洲电网互联的重要国别。2020年5月25日, 塞浦路斯电力管理局(Electricity Authority of Cyprus, AHK)和希腊国家电网公司(Independent Power Transmission Operator, IPTO/ADMIE)共同宣布, 以色列-塞浦路斯-希腊(阿提卡)暨1 GW“欧亚电网互联项目”克里特岛-阿提卡海底电缆线路6.23亿欧元高压直流换流站建设合同中标方为西门子, 西门子将为该电缆线路提供相关设计、建设、供货、安装和运维技术解决方案。亚欧互联线路具体为以色列查德拉-塞浦路斯科菲努-希腊克里特岛-希腊阿提卡(本土), 建成后将实现塞浦路斯与欧洲大陆电网互联。此外, 输送容量达到1 GW的“欧非电网互联项目”招标工作已于2020年3月宣布, 重点标段是埃及-塞浦路斯之间价值6.5亿欧元的高压直流电缆系统设计、供应、建造和安装事宜, 西门子同样在竞标中处于领先地位, 欧非互

联项目预计将于2023年底建成并网。欧盟已将“欧非互联”以及“欧亚互联”等跨洲电网互联工程列入2021—2027年基础设施投资项目清单（PCIs），总预算达到87亿欧元。此外，ENTSO-E提出要推动在2030年前建成“泛欧输电网络”的发展目标^[24]，并以此为契机加快大规模可再生能源开发和技术创新，中东北非是ENTSO-E重点考虑的互联地区。

伊朗是西亚与周边区域实现互联的枢纽^[25]。伊朗是西亚重要的可再生能源开发与出口国。截至2021年9月，伊朗与巴基斯坦、阿富汗、土库曼斯坦、格鲁吉亚、亚美尼亚、阿塞拜疆、土耳其、伊拉克等8个邻国均有互联线路，是实现西亚、中亚、欧洲电网互联的关键枢纽。伊朗政府正积极推动将伊朗电网与中亚、俄罗斯、海湾国家、欧洲等区域电网进行互联，现有项目梳理如表3所示。重点项目一是亚美尼亚-格鲁吉亚-伊朗-俄罗斯电网互联，二是俄罗斯-阿塞拜疆-伊朗能源走廊项目，三是经济合作组织（Economic Cooperation Organization, ECO）电网互联，四是伊朗-阿曼/阿联酋电网互联线路。

表3 伊朗与邻国电网互联项目

Table 3 Grid interconnection between Iran and its neighbouring countries

项目名称	项目描述	进展
区域电力交易市场	伊朗能源部表示计划加强与格鲁吉亚互联，通过亚美尼亚与斯洛文尼亚电网互联。此外计划通过土耳其与欧洲互联	规划 ^[25]
亚美尼亚-格鲁吉亚-伊朗-俄罗斯电网互联	目前正在建设伊朗-亚美尼亚双回路400 kV / 1 GW互联线路，项目耗资1.08亿欧元	在建 ^[26]
高加索南部电力合作	2016年，亚美尼亚、俄罗斯、格鲁吉亚、伊朗签署了合作备忘录	签署协议 ^[27]
俄罗斯-阿塞拜疆-伊朗能源走廊	计划项目建成后由俄罗斯向伊朗出口电力	成立工作组 ^[25]
经济合作组织电网互联与电力交易	经济合作组织是中亚国家的政府间组织，总部设于伊朗德黑兰，主要成员国有阿富汗、阿塞拜疆、伊朗、哈萨克斯坦、巴基斯坦、塔吉克斯坦、土耳其、土库曼斯坦等	成立清洁能源中心 ^[28]
伊朗和阿曼电网互联项目	伊朗咨询公司开展了伊朗-阿曼电网互联可研研究	可研 ^[29]

3.4 西亚-中亚电网互联

中亚电网互联项目^[30]（Central Asia-South Asia

Power Project, CASA-1000）于2020年2月进入实施阶段，预计将于2023年建成投运。该项目成员国包括塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、阿富汗、巴基斯坦等4国，目前巴基斯坦、阿富汗尚无与伊朗实现电网互联的规划目标。巴基斯坦将从塔吉克斯坦获得1300 MW电力。塔吉克斯坦还将从吉兰变电站将300 MW电力传输到阿富汗普里库姆里。相关电力出口预计将持续15年。巴基斯坦政府于2020年5月指出，将支持CASA-1000项目建设，巴方希望在冬季将该国剩余电力出口到塔吉克斯坦、吉尔吉斯斯坦、阿富汗，而在夏季用电高峰期则希望从北方三国进口丰富的水电资源。项目总预算超过10亿美元，融资由世行、欧洲复兴开发银行（European Bank for Reconstruction and Development, EBRD）、伊斯兰开发银行（Islamic Development Bank, IsDB）、英国政府援助等提供。

3.5 海湾-东非电网互联

全球能源互联网发展合作组织（Global Energy Interconnection Development and Cooperation Organization, GEIDCO）于2019年1月与海合会电网互联管理局（GCCIA）、埃塞俄比亚电力部签署合作协议，旨在推动东非与海湾六国电网互联^[31]，从而实现东非、海湾国家多能互补与清洁能源大范围配置。GCCIA运营的400 kV线路位于沙特东海岸，海缆落地点位置仍需探讨，备选方案一是在沙特西海岸落地，需考虑SEC与GCCIA电网互联的问题，二是在阿曼湾落地，但需要考虑海缆水深、线路长度、耗资额度等技术和融资限制因素^[9]。

4 中东北非可持续发展路径

为实现1.5℃气候目标，中东北非地区需要根据资源禀赋以及电网基础设施条件推动以电为中心的能源开发、配置与消费模式系统性变革^[32]。

4.1 能源开发

4.1.1 传统油气部门改革

中东北非国家高度依赖油气资源，全球石油资源需求预计将在2030年左右达峰^[33]。富油气国家主要依靠油气资源出口获取外汇，经济发展受国际原油市场波动影响大。该区域国家天然气与石油发电量占比普遍达97%~100%^[33]。该区域传统油气部门亟待改革。对其能源转型相关市场、政策、技术、标准等领

域的全面把握对中国去煤电,建设灵活可靠的新型电力系统,以及中国电力节能环保行业发展有重要借鉴价值。

中东北非国家天然气行业已出现供大于求的问题。最新数据显示^[34],全球天然气总产能已超过7亿t/a,而需求仅为4.27亿t/a。其中卡塔尔、伊朗、伊拉克、沙特等中东国家是全球主要天然气供应国,其中卡塔尔产能为0.78亿t/a,居全球第一。据预测,2020至2021年全球天然气出口价格约为0.13~0.2美元/m³,且未来几年价格不会显著提高,将抑制中东北非相关投资。天然气产能需要与蓝氢和联合循环(combined cycle gas turbine, CCGT)电站紧密结合。

以沙特国家石油公司(ARAMCO)为代表的中东北非油气巨头计划持续提高精细化化工部门投资,减少用于油电的损耗,并提高原油出口收益。区域石油化工衍生品主要为甲醇、航空油、液氨以及各类塑料产品等。沙特、阿联酋和伊朗等国有望引领中东北非石油化工部门改革,旨在逐步降低各国油电、气电在电源结构中的占比^[35]。

4.1.2 加大清洁能源开发力度

阿拉伯地区长期依赖油气出口和精炼化工产业,造成了环境污染、经济不可持续等突出问题。该区域清洁能源资源丰富,其中太阳能资源主要分布在沙特西部、也门、阿联酋等地区,年辐照强度为2300 kWh/m²以上;风能资源主要分布在伊朗东部高原、阿曼南部海岸、沙特西部海岸等部分地区,风速超过7 m/s(如图2所示)。此外,伊朗、黎巴嫩等国也有部分水电装机。为实现清洁能源有序开发,中东各国已提出了对应的国家发展规划(如表2所示),需要在市场监管与发电、售配电自由竞争等方面加速相关战略落地。2020年全球新增可再生能源装机达2.62亿kW,占全球新增发电容量的80%,较2019年新增装机增长约50%,风能和太阳能分别新增装机1.11亿kW和1.27亿kW,其中中东北非地区贡献较小^[15]。未来,太阳能、风能、绿氢、核能开发,以及储能、电动汽车、海水淡化、智能电网、高压海缆技术研发与应用有望成为中东能源环境技术、标准、装备板块新的风口^[36]。

中东北非地区是中国能源电力技术、装备、标准以及金融机构“走出去”的重要窗口,这些机构包括:一是电建、能建葛洲坝、三峡、国网中电装备、上海电气、哈尔滨电气、特变电工、中核等能源电力企业及其工程设计单位;二是平高、南瑞、晶科等装

备制造企业;三是中建、中交、铁建等建筑企业;四是中国出口信用保险公司、中国进出口银行、国家开发银行、“四大行”等金融机构;五是华为等通信技术企业;其均在中东尤其是阿联酋设立了区域分支机构。目前,相关中资机构已单独或协同设计、融资、承建了一系列中阿产能合作示范项目,例如哈电总承包、丝路基金融资的“一带一路”重大项目——阿联酋迪拜哈斯彦4×600 MW清洁燃煤电站项目;上海电气承建、工行等参与融资,中国供货的阿联酋迪拜950 MW马克图姆太阳能公园四期项目;中电装备承建、中国供货的埃及500 kV输变电项目等。

总体来看,中资机构在中东北非“走出去”的效果显著,已初步进入相关国家市场,在燃气轮机、核电机组、风机、电缆、光伏、储能、制氢等领域产业链较为完整,尤其在特高压交直流装备等领域已达国际领先水平。但挑战同样突出:一是在海外“单打独斗”的情况仍然存在,未能形成不同性质资质中资机构之间的“合力”;二是中国能源环境领域的技术、标准、装备正面对欧美传统“软实力输出”的挑战,需要逐步实现品牌效益,协同攻克产业链短板,有效提高全行业市场占有率。

4.2 能源配置

4.2.1 阿拉伯统一电力市场建设

中东北非电网互联规划建设面临着一系列政治、经济、技术、市场等方面的挑战。一是叙利亚、伊拉克、利比亚、阿富汗、黎巴嫩等国冲突不断,基础设施损毁严重,其余阿拉伯国家也缺乏足够的政治互信以及融资能力以推动相关规划和项目落地;二是区域内仅有GCCIA拥有相对成熟的中长期跨境电力交易市场,尚未实现日前或实时交易,且无可再生能源优先调度机制;三是电源和电网协调规划不足,对高比例可再生能源并网以及大型海水淡化、绿色制氢负荷准备不足;四是国家间以及各国油气化工、可再生能源、私人金融部门间未能形成能源转型合力,电网互联实现后缺乏成熟的交易监管与收益分配机制。目前,中东北非主要经济体政府话语权仍然掌握在传统油气部门手中。

为应对相关挑战,阿拉伯国家能源转型需要发电、输电、售配电以及消费侧电气化等协同发展与深入变革,其中电网基础设施互联互通不足已成为区域大型可再生能源以及绿氢基地开发的瓶颈。同时,电力市场监管和交易体系尚不成熟^[5],市场自由度不足,

与阿拉伯国家联盟提出的“泛阿拉伯电力市场”和沙特、埃及等国提出的建设亚-欧-非能源互联互通枢纽的目标尚有差距。以沙特为核心的海湾六国互联电网和电力市场监管运行、电力交易模式对东北亚电力市场建设与电力交易机制优化具有很好的借鉴价值^[37]。

1) 区域电力市场顶层设计。梳理各国电力市场参与方,制定准入标准,开展监管政策法规等顶层设计。整合中东北非各国政府监管部门以及发、输、变、配、售产业链重要参与者,形成类似ENTSO-E的区域输电运营商联盟;在已有跨国互联线路基础上签署区域性电力交易协议,制定项目准入和统一技术标准,共同开展泛区域电网互联规划;根据相关顶层规划设计落实电网等基础设施升级。

2) 推进国别电力市场改革。加速沙特等枢纽国家的厂网分离、输配分离,引入售配电批发竞争机制。各国根据顶层设计和相关合作协议推进本国电力行业自由化改革,在售配电领域引入批发竞争机制;完善国别与区域层面技术标准与监管架构统一,设立国家与中东北非区域层面的独立电力监管机构,加速跨国跨洲互联电网规划建设。

3) 电力市场引入金融市场。电力批发交易与金融市场、碳市场耦合,建设完善区域电力交易平台。完全实现电网和金融市场的规范化统一运作,输配电市场完全放开。马格里布、西亚八国、海湾六国子区域电网已实现互联(如图3所示),逐步实现泛阿拉伯电力市场建设,相关重点项目积极纳入欧洲、东非、中亚等邻近区域互联互通官方规划。

4.2.2 可再生能源并网与电网互联技术应用

除摩洛哥、约旦等国外,中东北非国家间歇性能源并网比例并不高,净负荷波动性增加也不大。但随着未来大型可再生能源项目陆续并网,依赖常规燃气机组的运行模式亟待变革。需要在以下方面采取措施以提高电网系统的可靠性和灵活性。

1) 实时监控。加强对大型光伏、光热电站的检测和控制,并为电网公司提供运行信息,保证系统运行安全。在以燃气机组为主的中东北非国家,光伏、风电对系统运行的影响较小。而约旦、摩洛哥的光伏、光热装机容量占比较高,其出力可控性对电力系统稳定运行非常重要。为实现出力可见可控,太阳能电站需要配备实时监控系統(supervisory control and data acquisition, SCADA),以控制信号并实现自动调整出力。

2) 功率预测。在阿联酋、埃及、摩洛哥,由于光

伏出力已达到系统中不可忽视的比例,迪拜水电管理局(Dubai Electricity & Water Authority, DEWA)、阿布扎比输电公司(Abu Dhabi Transmission & Dispatch Company, TRANSCO)、埃及输电公司(EETC)等需要通过功率预测平衡功率差额。先进功率预测系统可以帮助降低燃气机组调度出力,同时减少弃光,提高系统运行经济性。相关措施对解决中国西部弃风、弃光问题也有着重要借鉴意义。

3) 发电调度。中东北非输电系统运营商正尝试通过先进功率预测技术积极提高可再生能源发电比例。目前,包括GCCIA在内的运营商尚无成熟的日前、实时调度运行机制,未来需要在相关调度中考虑可再生能源预测信息,利用燃气机组灵活性促进可再生能源消纳,同时保证系统运行安全稳定。未来,可根据大规模光伏、光热出力预测调整机组调度运行顺序,提高可再生能源开发积极性。

4) 友好并网。阿联酋、沙特等国光伏、光热项目容量较大,近年来开始逐步重视电力电子设备对并网后系统可靠性和稳定性的影响。

5) 机组灵活性。中东北非基本以燃气发电为主,新型机组灵活调节能力的提高对大型光伏、光热、风电项目并网消纳至关重要。该区域国家越来越重视新型燃气轮机、清洁燃煤机组、电网互联、电化学储能和抽蓄储能以及负荷响应等其他灵活性资源建设。阿联酋哈塔抽水蓄能项目、迪拜马克图姆光伏-光热项目配备储能设备等,都作为灵活性资源提高了可再生能源并网消纳能力。此外,中东北非地区还需要提高柔性交流输配电系统以及柔性开关(soft open point, SOP)等电力电子输配电灵活控制设备的研发应用,从而提高输配电系统的灵活性。相对而言,中国以燃煤机组为主,天然气资源相对匮乏,灵活电源装机占比较低,需要借鉴中东北非相关经验,规划并加快建设清洁煤电、抽水蓄能、电化学储能、电网互联等灵活性资源。

6) 区域互联与多能互补。中东北非大规模可再生能源并网消纳需要加强马格里布、西亚八国以及海湾六国等三大子区域电网互联,以充分利用电力系统间的多能协同作用。得益于大范围平衡,通过中东北非不同时区太阳能资源协调调度可以平抑负荷以及可再生能源波动。例如,海合会国家通过电网互联共享了地区发电和备用容量,对阿联酋、沙特开发大规模光伏、光热资源以及提高电网韧性至关重要。东盟已认识到阿拉伯国家光伏、光热、风电以及燃气机组良好

的多能互补潜力,中远期目标是建设“泛阿拉伯统一电力市场”。中东北非未来将以燃气电站为支撑,大力开发太阳能资源,通过跨国、跨洲电网互联建设,实现不同时区、不同类型电源互补,共享发电和备用容量,保证系统运行稳定性和经济性。中东北非源-网-荷-储一体化以及多能互补发展对中国逐步实现新型电力系统建设具有重要借鉴价值。

7) 电源和电网协调规划。中东北非大部分可再生能源资源位于撒哈拉沙漠以及沙特等国的荒漠地区(如图2所示)。上述地区电力需求较低,由于基础设施如公路、输电线路限制或相关技术商业化应用程度不高,导致很多光伏、风电资源难以开发。综合考虑各项约束条件的电源、电网协调规划可以避免未来弃光、弃风问题。沙特电力公司(SEC)、迪拜水电管理局(DEWA)等均拥有垂直一体化架构,有助于实现电源、电网协调规划发展,可避免大型可再生能源项目盲目开发。

4.2.3 加强电源电网融资模式创新

对也门、叙利亚等最不发达经济体或不稳定国家而言,具有融资压力小、建设周期短等特点的离网或微网设施的确具有一定优势,但对于大规模可再生能源开发、重大海水淡化项目建设、大规模绿氢产能基地开发而言,“坚强+智能”的大电网仍然是中东北非快速实现能源转型最切实可行的模式。

沙特、阿联酋等主要经济体仍将提高和保证传统油气部门收益作为重点^[35],但同时与埃及、约旦、摩洛哥等国加大了太阳能、风电、核电项目开发合作,相关项目融资和开发模式值得在中东北非区域推广应用^[34]。此前,油气出口为海湾国家积累了雄厚资金,区域内主要金融实体包括国际多边金融机构、主权基金、发展基金、伊斯兰信贷等,拥有资金总规模超过2000亿美元,为上述国家投资该区域乃至全球优质基础设施、能源技术、新兴产业等提供了资本抓手。

中东北非能源行业自由度低,私有资本或外资投入比例仍然较小。中东北非能源投资中私有资本或外资占比仅19%,除摩洛哥和约旦外,其他国家私有资本或外资投入占比一般低于20%^[34]。疫情后,相关能源电力企业收购和并购机会将有所增加,部分国家有望逐渐放开市场监管。例如,沙特REPDO在第二、三轮可再生能源项目招标中已允许外资100%控股。法国、阿联酋、中国资本有望陆续进入沙特电源和电网市场。

该区域内较为活跃的金融机构:一是全球或区

域性商业及政策性银行,例如世行、伊斯兰开发银行(IsDB),欧洲复兴开发银行(EBRD)等;二是国际或区域援助发展基金或绿色基金,例如阿拉伯经济社会发展基金(Arab Fund for Economic & Social Development, AFESD)、阿布扎比发展基金(Abu Dhabi Development Fund, ADFD),以及绿色气候基金(Green Climate Fund, GCF)等;三是沙特、科威特、卡塔尔、阿联酋等国的主权基金及其下设投资公司。受疫情爆发和国际油价波动影响,中东本土财团投资能源行业的实力和决心有所减弱,该区域能源转型亟待中资开发商和金融机构的深度参与。目前,中资企业以纯粹EPC(engineering, procurement and construction)承包商角色参与当地电源、电网、海水淡化等基础设施建设的模式越来越难以落地,取而代之的是当地政府和国际资本合作暨“公私合营”以及“项目股权战略融资”等新颖的模式,中国的丝路基金以及“四大行”等有望更多地参与到中阿产能合作中来。

4.3 能源消费

现有能源转型路径远远不能满足区域温控目标。除2020年疫情期间,全球碳排放量仍然在增加。IRENA提出的1.5℃气候路径中核心内容是电为中心、绿氢与生物燃料、退出煤电,以及金融模式与监管框架优化^[32]。中东北非能源消费侧钢铁、铝业、水泥、石化、航空和海运等工业部门仍然缺少经济的低碳能源选择,仍难以摆脱对天然气和其他石油衍生品的重度依赖。各部门需要重点突破相关技术难点,一是载重交通部门电气化或新型燃料电池应用,二是绿色制氢,三是碳捕集、利用与封存(Carbon Capture, Utilization and Storage, CCUS),四是循环经济应用^[32]。

中东北非可再生能源产能将更多地被转换为氢能、(液)氨、甲醇等衍生品用于建筑、交通和工业部门。在可再生能源平均成本下降到20美元/MWh的前提下,中东北非尤其是沙特、摩洛哥的绿氢成本有望下降到1.5美元/kg^[32],有望成为欧洲、澳大利亚、日本、韩国等主要氢能消费国的进口来源。作为代表性国家,沙特已宣布将加大氢气制备规模,并出口低碳液氨。沙特希望利用中东发达的天然气管道基础设施将氢气出口到欧洲负荷中心,并通过液化氨船舶向韩国、日本出口液氨。基于沙特的可再生能源开发潜力,2050年绿氢成本有望降至0.84美元/kg^[34],中东北非国家有望通过绿氢和可再生能源联动发展,提高

绿氢生产和出口能力,降低阿拉伯经济对化石能源的依赖。

中东北非天然气产能将在近年达峰后陆续降低,届时产能的70%需要用于CCGT和蓝氢(甲烷制氢配合CCUS技术)生产。相关国家需要加速推动高效气电机组取代煤电设施。

中东北非国家淡水短缺已成为最突出的可持续发展问题。此前,中东北非“水电联产”主要利用电厂的蒸汽和电力为海水淡化装置提供动力。热源主要是燃气,其产水成本较低。目前,沙特海水淡化产能达780万m³/d,为全球之最;海水淡化产业消耗了全国10%的电力^[35]。沙特计划2030年将海水淡化产能提升至1080万m³/d。该区域内海水淡化与可再生能源联产开发模式亟待落地,将有力推动该区域海水淡化行业深度脱碳。有商业价值的低碳路径为“并网风电/光伏/光热+膜法”模式,小规模海水淡化工厂还可以考虑使用离网/微网可再生能源设施^[18]。

4.4 水电氢联动发展模式

结合上述各国资源禀赋、规划目标与基础设施客观条件,中东北非可持续发展的核心路径是在并网允许的条件下开发建设大规模光伏电站并配备储能设备等灵活性资源;在配置和消费侧依赖坚强可靠的区域骨干电网将清洁电力输送到民用和工业负荷中心,新增工业负荷主要来自海水淡化以及电解制氢工厂;盈余电力通过区域市场出口至有需求的成员国。为此,通过策划推动实施“清洁开发-规模储能-海水淡化-绿色制氢-电力出口联动发展模式”(即水电氢联动发展模式)示范项目,可与阿盟等提出的“泛阿拉伯电力市场”有机结合,作为在整个阿拉伯区域落实能源转型与经济社会可持续发展路径的重要抓手,形成可复制、可推广的实施范例,形成一套有效促进该模式健康发展的实施体系,具有较大的现实指导意义。

5 结论

以电能为中心的能源开发、配置和消费模式深度转型是实现中东北非气候目标、节能减排和可持续发展的核心内容和手段。该区域内太阳能和风能资源丰富,可开发潜力大,沙特、阿联酋、约旦、埃及、摩洛哥等五国已成为区域加速清洁能源布局的领导者。目前来看该区域内清洁能源项目尤其是电网项目融资吸引力仍然有限。

为促进经济社会可持续发展,中东北非地区需要:一是加速传统油气部门改革;二是加速部署太阳能、风能等可再生资源,并同步建设抽蓄、储能、新型燃气机组等灵活性资源;三是推动电源、电网侧协同规划与项目融资创新,加强电网基础设施互联互通建设;四是优化区域电力市场顶层设计,加大电力市场自由度;五是加速重工业部门转型与研发投入,积极研发传统能源替代技术,加速规模储能和新型(燃料)电池研发。在交通、建筑、工业部门加强循环经济理念的应用。

电网互联建设是中东北非能源转型的核心手段。“泛阿拉伯统一电力市场”有望成为欧洲电网后全球第二个相对成熟的区域电力市场,继续对其理论机制、政策市场、电网标准、创新融资模式等的深入研究对中资电力环保企业深耕“一带一路”沿线国别市场,以及中国牵头建设东北亚电力市场具有重要价值。

在沙特、阿联酋等重点国家探讨以水电氢联动发展模式为抓手,发展基于太阳能光伏模块、海水淡化、电解制氢相关工业产业,完善工业链,降低政府能源补贴,形成经济社会可持续发展的阿拉伯经验。同时,中资企业需要全面梳理把握阿拉伯国家能源电力上下游全产业链现状与中长期规划目标,因地制宜地推动“一带一路”沿线中阿能源基础设施合作项目落地,具有较大现实意义。

参考文献

- [1] 刘振亚. 全球能源互联网[M]. 北京: 中国电力出版社. 2015.
- [2] 黄磊, 闫涛, 俞凯峰, 等. 阿拉伯国家能源转型路径[J]. 中国机电经贸, 2020, 12: 38-42.
- [3] YU K F, LEHMKUHL F, SCHLÜTZ F, et al. Late Quaternary environments in the Gobi Desert of Mongolia: Vegetation, hydrological, and palaeoclimate evolution[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2019, 514: 77-91.
- [4] 刘武艺, 俞凯峰. 中东国家新能源IPP项目可融资性关键因素探讨与趋势展望[J]. 国际工程与劳务, 2021(2): 43-46.
- [5] World Bank. Middle East and North Africa - integration of electricity networks in the Arab world: regional market structure and design [EB/OL]. (2013-12-01) [2021-04-26]. <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/415281468059650302/middle-east-and-north-africa-integration-of-electricity-networks-in-the-arab-world-regional-market-structure-and-design>.
- [6] Gulf Cooperation Council Interconnection Authority (GCCIA). Annual report [EB/OL]. (2019) [2021-04-26]. <https://www.gccia.org>.

- gccia.com.sa/Data/Downloads/Reports/FILE_25.pdf.
- [7] HASAN S. Electricity market integration in the GCC and MENA: imperatives and challenges[R]. King Abdullah Petroleum Studies and Research Center, 2018.
 - [8] BRAND B, ZINGERLE J. The renewable energy targets of the Maghreb countries: impact on electricity supply and conventional power markets[J]. *Energy Policy*, 2011, 39(8): 4411-4419.
 - [9] 全球能源互联网发展合作组织. 西亚能源互联网研究与展望 [R/OL]. (2019-05) [2021-04-26]. <https://geidco.org.cn/publications/plan/2020/3107.shtml>.
 - [10] ALJOHANI T M, ALZAHIRANI A M. The operation of the GCCIA HVDC project and its potential impacts on the electric power systems of the region[J]. *International Journal of Electronics and Electrical Engineering*, 2014: 207-213.
 - [11] ZHANG X P, OU M Y, SONG Y M, et al. Review of Middle East energy interconnection development[J]. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2017, 5(6): 917-935.
 - [12] LEAL-ARCAS R, AKONDO N, ALEMANY RIOS J. RETRACTED: energy trade in the MENA region: looking beyond the Pan-Arab electricity market[J]. *The Journal of World Energy Law & Business*, 2017, 10(6): 520-549.
 - [13] YU K F, HARTMANN K, NOTTEBAUM V, et al. Discriminating sediment archives and sedimentary processes in the arid endorheic Ejina Basin, NW China using a robust geochemical approach[J]. *Journal of Asian Earth Sciences*, 2016, 119: 128-144.
 - [14] YU K F, LEHMKUHL F, DIEKMANN B, et al. Geochemical imprints of coupled paleoenvironmental and provenance change in the lacustrine sequence of Orog Nuur, Gobi Desert of Mongolia[J]. *Journal of Paleolimnology*, 2017, 58(4): 511-532.
 - [15] International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable capacity statistics 2021 [R/OL]. (2021-03) [2021-04-26]. <https://www.irena.org/publications/2021/March/Renewable-Capacity-Statistics-2021>.
 - [16] Gulf Research Center. Renewable energy in the GCC countries: resources, potential, and prospects [R/OL]. (2012) [2021-04-26]. <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/amman/09008.pdf>.
 - [17] VAN WIJK A, CHATZIMARKAKIS J. Green hydrogen for a European green deal a 2*40 GW initiative [R/OL]. (2020) [2021-04-26]. https://static1.squarespace.com/static/5d3f0387728026000121b2a2/t/5e85aa53179bb450f86a4efb/1585818266517/2020-04-01_Dii_Hydrogen_Studie2020_v13_SP.pdf.
 - [18] NEGEWO B D. Renewable energy desalination: an emerging solution to close the water gap in the middle east and north Africa [M]. Washington DC: World Bank, 2012: 87-109.
 - [19] TIAN Y, ZHAO C Y. A review of solar collectors and thermal energy storage in solar thermal applications[J]. *Applied Energy*, 2013, 104: 538-553.
 - [20] MALTBY T. European Union energy policy integration: a case of European Commission policy entrepreneurship and increasing supranationalism[J]. *Energy Policy*, 2013, 55: 435-444.
 - [21] Arab Union of Electricity (AUE). 29th Arab Electricity Magazine 2020 [R/OL]. (2020) [2021-04-26]. <https://aupde.org/en/latest-releases>.
 - [22] MORETTI A, PITAS C, CHRISTOFI G, et al. Grid integration as a strategy of Med-TSO in the Mediterranean area in the framework of climate change and energy transition[J]. *Energies*, 2020, 13(20): 5307.
 - [23] HIRTH L, MÜHLENPFORDT J, BULKELEY M. The ENTSO-E transparency platform - a review of Europe's most ambitious electricity data platform[J]. *Applied Energy*, 2018, 225: 1054-1067.
 - [24] European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E). Ten-year network development plan (TYNDP) 2020 main report version for ACER opinion [EB/OL]. (2020) [2021-04-26]. https://eepublicdownloads.blob.core.windows.net/public-cdn-container/tyndp-documents/TYNDP2020/Foropinon/TYNDP2020_Main_Report.pdf.
 - [25] Islamic Republic News Agency (IRNA). Iran eyes developing regional power grid network [EB/OL]. (2018) [2021-04-26]. <http://www.ima.ir/en/News/82806720>.
 - [26] AVANESOV A. Ministry of energy: works on Armenia-Iran second high voltage power transmission line proceed in several dimensions [EB/OL]. (2017-02-08) [2021-04-26]. http://finport.am/full_news.php?id=28346&lang=3.
 - [27] ASLANIDZE A. The role of the energy charter in promoting electricity cooperation in the South Caucasus [R]. Brussels: Energy Charter Secretariat Knowledge Centre, 2016.
 - [28] ZEYNALLOV O. Opportunities and challenges for development of electricity trade in ECO region[J]. *ECO Secretariat Staff Papers*, 2014.
 - [29] Monenco Iran. Feasibility study of Iran and Oman grids interconnection [EB/OL]. (2018) [2021-04-26]. <https://monencogroup.com/EN/FullStory.aspx?nid=575>.
 - [30] SNC Lavalin. Central Asia South Asia electricity transmission trade (CASA-1000) project feasibility study [R/OL]. (2014-02) [2021-04-26] <http://www.casa-1000.org/Docs/0104/CASA-1000%20REA%20Main%20February-14%20Final.pdf>.
 - [31] 新华社. 全球能源互联网发展合作组织与海合会及埃塞签署三方协议 [N/OL]. (2019-01-13) [2021-04-26]. http://www.gov.cn/xinwen/2019-01/13/content_5357411.htm.
 - [32] International Renewable Energy Agency (IRENA). World energy transitions outlook: 1.5 °C pathway [R/OL]. (2021-03) [2021-04-26]. <https://www.irena.org/publications/2021/March/World-Energy-Transitions-Outlook>.
 - [33] International Renewable Energy Agency (IRENA). Renewable energy market analysis: GCC 2019 [R/OL]. (2019-01)

- [2021-04-26]. <https://www.irena.org/publications/2019/Jan/Renewable-Energy-Market-Analysis-GCC-2019>.
- [34] BENALI L, ANSARI M, AI ASHMAWY R. MENA energy investment outlook 2020-2024 [R/OL]. (2020) [2021-04-26]. https://www.apicorp.org/wp-content/uploads/2020/06/MENA-Energy-Investment-Outlook-2020-2024_FINAL_Final.pdf.
- [35] Bloomberg New Energy Finance (BNEF). 2020 Saudi Arabia energy transition [R]. BNEF, 2020: 8-26.
- [36] GANDÍA L M, ARZAMENDI G, DIÉGUEZ P M. Renewable hydrogen technologies. production, purification, storage, applications and safety [M]. Elsevier Science: 2013.
- [37] YU K F, WERKMEISTER C. Trans-boundary energy and electricity markets [C]// CIGRE CGG Power Proceedings 2019, Muscat, Oman, 2019.

收稿日期: 2021-04-04; 修回日期: 2021-08-30。



俞凯峰

作者简介:

俞凯峰 (1987), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为能源环境与气候变化。通信作者, E-mail: kaifeng-yu@geidco.org。

黄磊 (1974), 男, 电气工程硕士, 工商管理硕士, 长期从事电力技术研究、电网生产运营管理、电力市场营销等工作, E-mail: lei-huang@geidco.org。

闫涛 (1979), 男, 硕士, 研究方向为西亚北非地区能源转型与国际合作, E-mail: tao-yan@geidco.org。

冯宗邦 (1997), 男, 硕士, 研究方向为资源政策法规与金融, E-mail: 851782477@qq.com。

刘武艺 (1981), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为中东北非可再生能源项目开发与融资, E-mail: liuwuyi@powerchina-intl.com。

Radia Sedaoui (1975), 女, 硕士, 研究方向为阿拉伯国家能源转型与市场架构, E-mail: sedaoui@un.org。

(责任编辑 张宇)