

南非碳中和实现路径及减排措施研究

周立志^{1*}, 张鹏飞^{2,3}, 麻常辉⁴, 刘洁^{2,3}

(1. 国家电网有限公司驻非洲办事处, 南非 约翰内斯堡 2146;

2. 国网国际发展有限公司, 北京市 西城区 100075; 3. 希腊国家输电网, 希腊 雅典 10443;

4. 国网山东省电力公司电力科学研究院, 山东省 济南市 250003)

Study on Carbon Neutrality Pathway and Emission Reduction Measures in South Africa

ZHOU Lizhi^{1*}, ZHANG Pengfei^{2,3}, MA Changhui⁴, LIU Jie^{2,3}

(1. African Representative Office of State Grid Corporation of China, Johannesburg 2146, South Africa;

2. State Grid International Development Co., Ltd., Xicheng District, Beijing 100075, China;

3. Independent Power Transmission Operator, Athens 10443, Greece;

4. Electric Power Research Institute of State Grid Shandong Electric Power Company, Ji'nan 250003, Shandong Province, China)

Abstract: South Africa is one of the most influential countries in the African continent, and one of the world's largest emitters of greenhouse gases. As the global warming situation becomes more severe, and the country's high-quality coal resources become increasingly strained, South Africa has begun to actively promote energy and low-carbon transition, and thus issued a commitment to carbon neutrality by the year 2050. In this commitment, South Africa's energy structure, and the current status of carbon emissions are first introduced in detail. Second, the path to South Africa's carbon neutrality goals, as well as emission reduction policies, plans, and measures in areas such as power, industry, transportation, construction, agriculture, and forestry are outlined, and certain major difficulties and challenges faced are highlighted. South Africa's relevant practices hold important referential significance for other developing countries.

Keywords: South Africa; carbon neutrality; emission reduction pathway; low-carbon transition

摘要: 南非是非洲最具影响力的国家之一,也是全球主要温室气体排放国之一。随着全球气候变暖形势越发严峻以及本国优质煤炭资源日趋紧张,南非近年来开始积极推进能源低碳转型并提出2050年实现碳中和的减排目标。首先详细介绍了南非能源结构和碳排放现状,其次概述了南非碳中和目

标的实现路径以及涉及电力、工业、交通运输、建筑、农林等领域的减排政策、规划和措施,并指出了所面临的主要困难和挑战。南非的相关实践对其他发展中国家具有重要的参考意义。

关键词: 南非; 碳中和; 减排路径; 低碳转型

0 引言

近年来,随着全球政治经济和温室气体排放格局的变化,以中国、巴西、印度和南非“基础四国”为代表的新兴发展中国家在“自主决定”的基础上积极开展应对气候变化行动,推动能源低碳转型,倡导国际气候合作,在全球气候治理体制下扮演着越来越重要的角色。2020年9月,习近平主席提出中国二氧化碳排放将力争在2030年前达到峰值,努力争取在2060年前实现碳中和。

南非是非洲最发达的国家,也是全球主要温室气体排放国之一。富煤炭、少油气、缺水能的能源禀赋使南非长期以来保持着以煤炭为主的能源结构,2019年煤炭占该国一次能源供应比重高达75%。随着全球气候变暖形势越发严峻以及本国优质煤炭资源日趋紧张,作为首批《巴黎协定》签署国,南非近年来开始积极推进能源低碳转型。2020年和2021年,南非先后发布《低碳减排发展战略》(Low-emission Development Strategy, LEDS)和《国家自主贡献》

基金项目: 国家电网公司科技项目(5100-202113024A-0-0-00)。

Science and Technology Foundation of SGCC (5100-202113024A-0-0-00)。

(National Determined Contributions, NDC) 草案, 提出了2050年实现碳中和的减排承诺, 相关实现路径和减排措施也在加快推出。

虽然南非人均国民收入位列发展中国家中游, 但人均二氧化碳排放量却显著高于其他发展中国家。开展对南非碳中和策略、实现路径和减排措施的相关研究, 对其他发展中国家具有较强的参考和借鉴意义。截至目前, 该领域的研究相对较少。文献[1]聚焦南非电力市场整体情况, 重点介绍了指导南非能源低碳转型的《综合能源规划》和促进可再生能源发展的独立发电商采购计划。文献[2]介绍了南非新能源产业发展现状, 梳理总结了该国新能源产业政策、发展经验和对中国新能源发展的启示。文献[3]介绍了气候变化对南非经济造成的影响, 分析了南非政府和金融体系应对气候变化的有关措施, 并对中国应对气候变化政策提出了五点建议。文献[4]通过对“基础四国”气候变化政策和行动的介绍, 强调了南南合作和新兴发展中国家在全球气候治理体制中的重要性。

本文基于南非能源结构和碳排放现状, 结合南非《低碳减排发展战略》和最新版《国家自主贡献》, 聚焦南非2050碳中和实现路径, 详细介绍电力、工业、交通运输、建筑、农林等领域的减排政策、规划和措施, 对南非碳中和所面临的困难和挑战进行了分析, 以为相关研究提供参考。

1 南非能源结构和碳排放现状

1.1 能源结构

在能源供给方面, 南非是典型的煤炭依赖型国家, 油气资源探明储量很少, 煤炭资源相对丰富, 是世界第七大煤炭生产国和第五大煤炭出口国。如图1所示, 以煤炭为主的化石能源在南非能源供应结构中占据主导地位, 占比高达92%。近年来, 南非可再生能源发展迅速, 但规模仍然较小, 占比仅有4%, 远低于全球9.4%的平均水平。

在能源消费方面, 南非一次能源消费总量近年来保持平稳, 2019年约129 Mtoe (百万吨油当量), 同年人均用电量为3700 kWh^[5]。2019年南非各行业电力消费占比中, 工业用电占据首位 (56%), 其次是居民用电 (19%)、服务行业 (14%)、交通运输 (2%) 及其他^[6]。

近年来, 产量递减、品质下降、开采成本增加等问题开始困扰南非煤炭行业发展。截至2019年, 南非

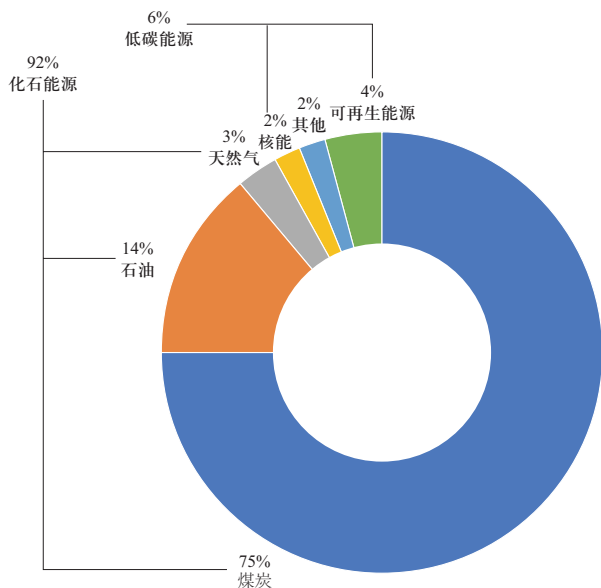


图1 2019年南非一次能源供应结构图

Fig. 1 Pie chart of primary energy supply structure of South Africa in 2019

煤炭探明储量为98.93亿t, 占全球总探明储量的0.9%, 储产比仅有39年^[7]。与此同时, 南非太阳能、风能等可再生能源储量丰富, 开发条件优越, 未来有望成为南非解决能源供应和能源安全问题的战略之选。

1.2 碳排放现状

化石燃料燃烧和工业用途是南非碳排放的主要来源, 占比长期维持在90%左右, 这也使南非碳排放总量在全球始终处于前列。2019年, 南非温室气体排放总量 (未含土地利用) 高达4.79亿t二氧化碳当量 (carbon dioxide equivalent, CO₂eq), 位居非洲首位, 全球排名第12位。同期人均二氧化碳排放量也高达8.2 t, 显著高于墨西哥、土耳其等排放总量相近的国家, 也高于印度、巴西、中国等发展中国家。南非及全球部分发展中国家2019年二氧化碳排放有关情况如图2所示。

21世纪以来, 南非温室气体总排放量 (未含土地利用) 增加了40%左右。除农业外, 所有部门排放总量都出现了增长。能源行业是南非温室气体排放最大的贡献者, 在2019年的占比约为78%, 包括电力、工业和其他能源相关部门。交通运输、建筑和农业分别占12%、8%和2%。近年来, 受经济增长缓慢和电价上涨等因素影响, 南非碳排放总量增长势头趋缓。

国别	人均GDP/美元	人均CO ₂ 排放量/t	CO ₂ 排放总量/Mt
印度	2116	1.9	2616
巴西	8755	2.1	466
印度尼西亚	4136	2.3	618
墨西哥	9849	3.4	436
土耳其	9127	4.9	405
马来西亚	11 414	7.8	250
南非	6000	8.2	479
伊朗	7282	9.4	780
俄罗斯	11 606	11.6	1678
韩国	32 142	11.8	611

图2 2019年全球部分发展中国家二氧化碳排放示意图

Fig. 2 Carbon emissions of developing countries in 2019

1.2.1 电力领域

电力领域的碳排放占南非全国总排放的47%。南非火电装机占总装机容量的78%，长期占据主导地位。2019—2020财年^①，南非总发电量2500亿kWh，其中87%来自煤电。虽然南非通过可再生能源独立发电商采购项目（renewable energy independent power producer procurement, REIPPPP）不断加大可再生能源开发，并在2014—2019年间将太阳能和风能为主的可再生能源发电量提高了158%，但在总发电量中占比仍然很小，仅6%左右。详情如图3所示。

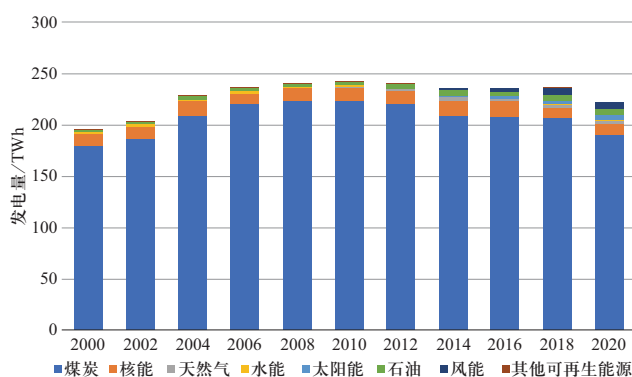


图3 南非2000—2020年发电量及电源结构示意图

Fig. 3 Schematic diagram of electricity generation and power supply structure of South Africa from 2000 to 2020

1.2.2 工业领域

在过去20年里，南非工业领域的直接碳排放占总排放量的比重一直维持在14%左右，与电力相关的碳排放占总排放量的26%。据全球气候行动追踪组织（Climate Action Tracker, CAT）数据，2016年南非工业领域碳强度（carbon intensity）为1.74 tCO₂eq/美元，

不但高于中国（1.49 t），而且是二十国集团（G20）平均水平（0.71 t）的两倍多^[8]。

1.2.3 交通运输领域

交通运输领域（未含航空领域）碳排放占总排放量的12%。目前南非国内45%的客运和85%的货运是通过燃油汽车完成的，这也是其交通运输碳排放的主要来源。汽油、柴油等化石燃料在该领域中占据主导，消费占比高达98%。根据南非统计局（Stats SA）数据，2020年南非全国汽车保有量约983万辆，而电动汽车仅有约1000辆。南非政府对消费者购置电动汽车尚无任何补贴，而且要征收25%的进口关税，比普通汽车高出8个百分点，这也在一定程度上限制了电动汽车的推广和普及。此外，南非目前尚无针对燃油汽车，尤其是重型燃油车辆的排放限制标准，也尚未发布淘汰化石燃料汽车的计划。

1.2.4 建筑领域

建筑领域直接碳排放（如取暖、做饭等）占总排放量的8%，间接排放（使用空调、电器等）约占15%。据统计，在约翰内斯堡、开普敦、比勒陀利亚和德班4个南非最大的城市中，与能源相关的碳排放中有36%来自建筑领域，主要是居民和商业建筑^[9]。2014—2019年间，南非人均建筑碳排放量减少1.4%，目前为1.8t CO₂eq/人。

在碳排放效率方面，南非各项指标也不理想。在碳强度方面，2020年全球碳强度下降2.4%，但南非却增长1.3%。另外，南非599t CO₂eq/百万美元的碳强度也是全球平均水平的两倍多^[10]。在电力领域碳强度方面，虽然南非在过去五年将该指标降低了9.8%至2019年的879g CO₂eq/kWh，但仍然是二十国集团平均水平的两倍。由于化石燃料发电长期处于高位，该指标在

近两年几无变化。

2 低碳减排发展战略和国家自主贡献

2.1 低碳减排发展战略

2020年2月,南非政府公布了《低碳减排发展战略》。该战略是南非作为签约国,针对《巴黎协定》要求各国制定长期气候战略的首次官方回应,战略汇总了现有政策、规划和研究,提出了“达峰-平稳-下降”(peak-plateau-decline)减排路径,并强调在确保社会经济发展的前提下,向碳中和目标公正、平稳过渡^[11]。

战略指出,2020—2025年属于达峰期,排放区间将控制在3.98亿~6.14亿t CO₂eq;2025—2035年进入稳定期,排放区间保持稳定;2035—2050年进入快速减排期,排放区间下降至2.12亿~4.28亿t CO₂eq。该战略还提出了适应和减缓气候变化的若干措施,涵盖了国家、省级、市政、私营部门等各层级,以及能源、工业、交通运输和农林等各领域。战略强调,南非碳中和目标的实现,不仅需要自身的努力,也需要国际社会的支持,尤其在技术转让、技能培训和财政支持等方面。

相较于全球气候行动追踪组织,南非制定的减排路径比较“宽松”,详情如图4所示。

2.2 国家自主贡献

2021年3月30日,南非环境事务部(DFFE)发布《国家自主贡献》(NDC)草案^②,向社会公开征

求意见,并计划在联合国气候公约第26次缔约方大会(COP26)召开前向《联合国气候变化框架公约》(UNFCCC)正式提交。

草案指出,根据《巴黎协定》设定的减排目标,南非将按照“达峰-平稳-下降”减排路径,实施“公正转型”(just transition),逐步减少温室气体排放。2025年南非碳排放将达到峰值,2025—2035年碳排放保持平稳,2035年后逐步降,并于2050年实现碳中和。草案确定了未来十年的减排目标,即2021—2025年温室气体排放范围将控制在3.98亿~5.10亿t CO₂eq,2026—2030年降低至3.98亿~4.40亿t CO₂eq,但该草案未指出2050年的减排目标^[12]。

在新版草案中,2025年和2030年的碳排放上限较2016年首版分别下降了17%和28%,但仍未达到《巴黎协定》要求。据国际气候行动追踪组织测算,按照1.5℃的“公平份额”路径,南非需要在2030年和2050年前将其排放分别降低至3.48亿t CO₂eq和2.24亿t CO₂eq以下,因此南非目前制定的减排努力“非常不足”(highly insufficient)。

3 碳中和的主要政策、规划和措施

作为非洲最具影响力的国家之一,南非在全球国际气候谈判中表现积极,一直扮演着非洲代言人的角色,也是最早签署《巴黎协定》国家之一。2020年12月,南非成立了总统气候变化协调委员会,负责气候变化咨询、统筹规划和低碳转型战略监督工作。

政策性的减排目标必须依靠具有强制约束力的法

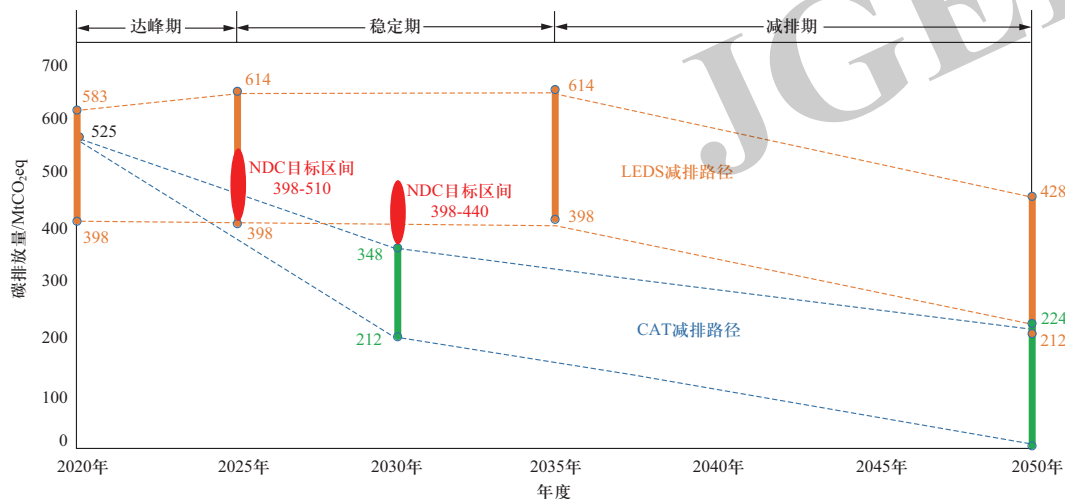


图4 LEDS和CAT减排路径比较示意图

Fig. 4 Comparison chart of emission reduction paths between LEDS and CAT

律保障和发展规划, 以及具有传导压力、落实责任、倒逼目标的具体措施。为履行相关减排承诺, 落实低碳减排战略, 南非政府近年来颁布了一系列与气候变化、低碳减排相关的政策法案和规划, 具体如图5所示。

3.1 政策方面

3.1.1 国家气候变化应对政策白皮书

《国家气候变化应对政策白皮书》(National Climate Change Response Policy White Paper) 发布于2011年10月, 是南非政府应对气候变化的综合政策框架文件, 旨在解决南非短期、中期和长期(至2050年)的气候适应和减缓问题, 其中包含碳定价、水资源保护、农林业发展、环境卫生、生物多样性、减少和预防自然灾害等诸多法律规定^[13]。

3.1.2 气候变化法案

2018年6月, 南非政府发布《气候变化法案》^[14] (Climate Change Bill) 草案并向社会征求意见, 法案目前已经提交国会审批, 有望于2021年底正式颁布。南非政府表示, 法案将有助于促进国家、省和地方三个层级各机构的协调, 是制定和落实其他减排政策的立法基础。法案要求南非各级政府定期审查温室气体排放标准, 并适时完善减排路径; 动态调整各部门排放目标, 合理分配碳预算; 根据《蒙特利尔议定书》基加利修正案制订逐步削减氢氟碳化物的生产和销售等。

3.1.3 碳税

2019年6月1日, 南非正式颁布《碳税法》, 成为首个实施碳税的非洲国家。南非政府表示, 鉴于化石燃料在本国能源消费中的比重过高, 碳税的征收会充分考虑其可能对经济造成的负面影响。因此法案将分两阶段实施, 第一阶段从2019年6月1日至2022年12月31日, 政府将配套出台一系列免税和补贴政策, 采取较为温和的碳税收费标准。该阶段将通过补贴的形式对所有碳排放免除60%~95%的税额^[15], 补贴形式包括基本补贴、无组织排放(fugitive emissions)补贴、贸易风险补贴、减排业绩补贴和减排设备购置补贴等, 使实际税率降至6~48兰特/t CO₂eq。此外, 南非政府还承诺碳税法在第一阶段不会对电价造成影响。第二阶段将从2023年持续至2030年, 具体政策则将视前期政策执行效果评估而定。

近年来, 南非政府还在加快建设“绿色电力交易机制”, 利用市场配置资源, 推动清洁电力发展。强制高污染企业购买由可再生能源电站提供的绿色电力, 在抵消碳排放的同时, 也扩大了绿色电力需求, 有利于促进可再生能源行业发展。

3.1.4 碳预算

南非环境事务部负责碳预算(carbon budget)的设计、监测、报告和核查工作。碳预算的实施分为两个阶段, 第一阶段从2016年1月至2022年12月, 具备条件的碳排放企业按照自愿原则向政府提交碳预算文件。经核准后, 这些企业可享受5%的碳税减免。第

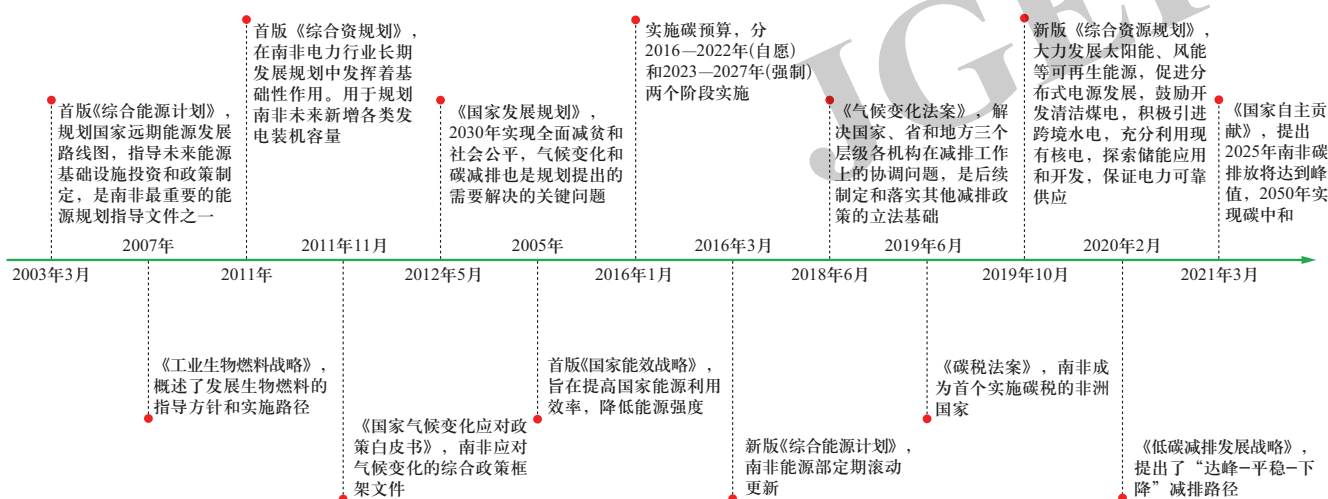


图5 南非碳中和相关政策和规划示意图

Fig. 5 Timeline of policies and plans related to carbon neutrality in South Africa

二阶段从2023年1月到2027年12月，政府将依据即将颁布的《气候变化法案》对所有碳排放企业强制实施碳预算。

目前，南非政府提出了3种碳预算核准方式供企业自行选择。一是固定减排法（fixed reduction），即将整个部门（企业）的固定削减额作为碳预算；二是减缓潜力分析法（mitigation potential analysis），即利用减缓模型分析预测碳预算；三是基准分析法（benchmarking），通过企业碳排放基准强度和减排设施确定碳预算。

3.2 规划方面

3.2.1 国家发展规划

《国家发展规划》^[16]（National Development Plan, NDP）发布于2012年5月，是南非最重要的总体发展规划之一，其主要目标是在2030年实现全面减贫和社会公平。应对气候变化是规划提出需要解决的关键问题之一。此外，规划还制定了推进生态环境可持续性发展，向低碳经济合理转型的总方针。

3.2.2 综合能源规划

2003年3月，南非首版《综合能源规划》（Integrated Energy Plan, IEP）发布，其主要目的是规划国家远期能源发展路线图，指导未来能源基础设施投资和政策制定，是南非最重要的能源规划指导文件之一。IEP通过分析工业、商业、建筑、农业和交通运输等

各部门能源消耗趋势，预测不同情景下的远期能源需求和技术发展趋势，并根据不同行业的复杂性和成熟度，提出相应意见和建议。南非能源部^③负责定期滚动更新IEP，最新版IEP发布于2016年^[17]。

3.2.3 综合资源规划

《综合资源规划》（Integrated Resource Plan, IRP）在南非电力行业中发挥着基础性作用。规划根据能源安全、节能减排和电力消费等需求，制定国家中长期发电装机的规模和结构。南非能源部负责规划的编制和滚动修订工作。首版IRP颁布于2011年。2019年10月，最新版的IRP2019发布^[18]。新版规划强调，南非发电装机结构将在坚持多元化的前提下，努力提高太阳能、风能等可再生能源占比，鼓励分布式发电，提倡清洁煤电，积极引进跨境水电，充分利用现有核电，探索储能应用和开发，保证电力可靠供应。

根据IRP2019，南非至2030年将退役约11 GW的煤电机组，至2050年这一数字将增加至35 GW。此外，南非可再生能源装机比例将由2019年的8%提高至2030年的34%，期间将新增14.4 GW风能、6000 MW太阳能和4000 MW生物质能和垃圾发电，详情如图6所示。

3.2.4 工业生物燃料战略

早在2007年，南非政府就发布了《工业生物燃料战略》（Industrial Biofuels Strategy），明确了生物燃料对减缓气候变化的积极作用，概述了发展生物燃料

	煤电	拟退役煤电	核电	水电	储能	太阳能	风电	聚光太阳能	燃气/燃油	其他
2018年	37 149		1860	2100	2912	1474	1980	300	3830	499
2019年	2155	-2373					244	300		
2020年	1433	-557				114	300			
2021年	1433	-1403				300	818			
2022年	711	-844			513	400	1000	1600		
2023年	750	-555				1000	1600			500
2024年			1860				1600		1000	500
2025年						1000	1600			500
2026年		-1219					1600			500
2027年	750	-847					1600		2000	500
2028年		-475				1000	1600			500
2029年		-1694			1575	1000	1600			500
2030年		-1050		2500		1000	1600			500
2030年总装机容量	33 364		1860	4600	5000	8288	17 742	600	6380	
装机占比/%	43		2.36	5.84	6.35	10.52	22.53	0.76	8.1	
发电量占比/%	58.8		4.5	8.4	1.2	6.3	17.8	1.6	1.3	
	现有装机容量		说明： 1. 表中装机容量单位为MW； 2. 科贝尔核电站服役年限延长20年； 3. 主要包含生物质能和垃圾发电等。							
	已确定新增装机容量									
	拟退役装机容量									
	新增装机容量									
	延长核电站服役年限									
	分布式装机容量									

图 6 南非2019—2030年装机容量变化示意图

Fig. 6 Schematic diagram of installed capacity change of South Africa from 2019 to 2030

的指导方针和实施路径, 并提出将生物燃料在液体燃料供应中比重提高到2%的目标^[19]。2012年8月, 南非又公布了有关强制将生物燃料与汽油和柴油混合的规定, 明确了混合用生物燃料的认证资格和购买流程, 并提出生物燃料在柴油和汽油中5%和2% (以体积计算) 的最低浓度限制。2019年, 南非矿能部又推出生物燃料监管框架文件, 推出政府补贴和税收减免措施, 支持生物燃料行业发展, 并将其纳入南非低碳发展战略。

3.2.5 国家能效战略

2005年, 南非政府推出了首版《国家能效战略》(National Energy Efficiency Strategy), 借此提高能源利用效率, 降低能源强度。主要措施包括: 加强能源安全, 更好利用现有和新增发电能力; 通过降低能源成本, 创造就业机会。2016年, 最新版国家能效战略颁布实施, 战略提出了2016—2030年整个经济领域提高能效的一系列目标以及相关措施。

3.3 行业方面

3.3.1 能源领域

1) 积极发展可再生能源

南非可再生能源储量丰富, 尤其在太阳能和风能等方面具有天然优势, 开发前景广阔。如图7所示, 该国大部分地区年平均日照时长超过2500 h, 日均太阳辐射水平在4.5~6.5 kWh/m², 位居全球前列。西部和东部沿海以及东开普省、西开普省、西北省是该国风电资源最为丰富的地区, 且资源禀赋优良, 大部分属于Ⅲ类风区, 平均风速达7~8.5 m/s, 部分地区高达10 m/s, 非常适合风电项目开发。

凭借优越的资源禀赋, 通过大力开发可再生能源, 尤其是太阳能和风能, 推动能源结构转型, 成为南非能源战略转型的国家共识和必由之路。2012—2020年间, 南非累计完成4轮共五期招标, 新增可再生能源装机容量共计6327 MW。2021年3月, 南非再次启动第五轮可再生能源招标, 招标容量2600 MW, 其中风电1600 MW, 太阳能1000 MW^[20]。第六轮招标也拟于2022年1月底启动。

2) 逐步降低煤炭发电比重

近年来, 南非年均煤炭总产量约2.5亿t, 其中三分之二被南非电力公司(Eskom)和萨索尔公司(Sasol)两家企业用于燃煤发电和煤制油等。为响应政府提出的碳中和目标, 两家企业近期也分别推出了减排战略。

2020年8月, 南非电力公司推出“公正能源转型”(just energy transition, JET)计划, 逐渐淘汰老旧燃煤电厂, 提高可再生能源比重, 扩大输电领域投资, 计划在未来20~30年减少10亿t碳排放。该公司所属的15座燃煤电站在南非总装机容量和总发电量的比重分别为85%和87%。燃煤电站的关停、升级和改造成为其降低碳排放、推进能源转型的关键所在。作为JET计划的一部分, 2020年3月, 南非电力公司向社会征求关于重新利用Camden等4座燃煤电站, 或将其改造为可再生能源发电、燃气发电或建设工业区的意见和建议^[21]。2021年3月, 南非电力公司承诺在2050年实现碳中和, 并发布“清洁火力发电计划”, 拟在2021—2050年间投资3000亿兰特, 对碳排放超标的燃煤电站进行改造, 增加节能减排设备, 加强自身碳足迹管理, 减少运营产生的碳排放。

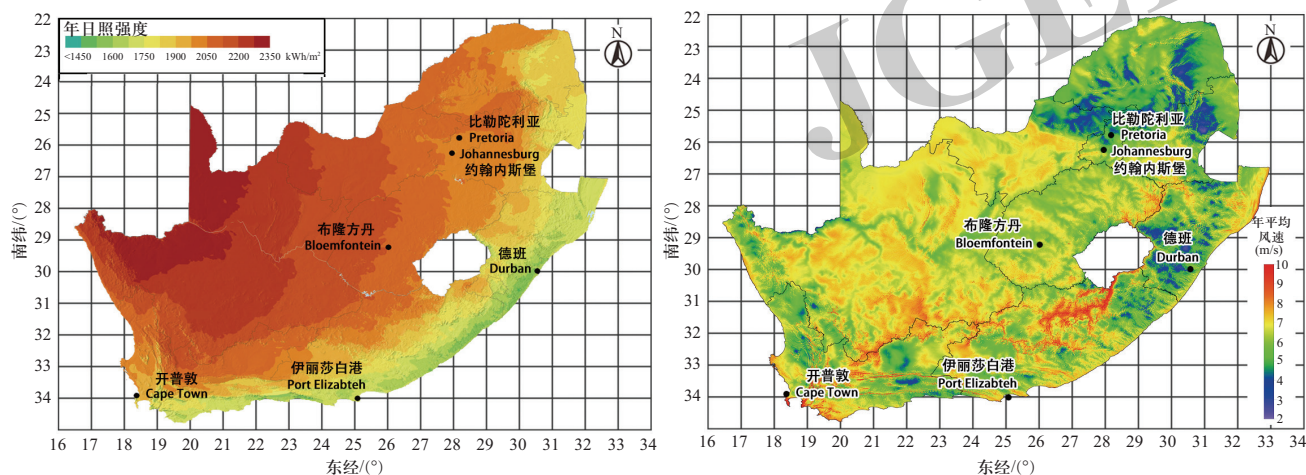


图7 南非境内太阳能和风能资源示意图

Fig. 7 Solar and wind energy resources in South Africa

萨索尔公司是南非大型国企之一,以能源和化工为主营业务,也是南非煤炭消费和碳排放重点企业。目前,萨索尔公司已经设定了2030年碳排放较2020年减少10%以上的目标,逐步使用清洁能源发电取代燃煤发电,至2030年完全使用天然气和氢气发电。目前,萨索尔公司已承诺将在2050年实现碳中和。

3) 大力推广和应用节能设备

近年来,南非政府在全国范围内积极推广应用节能设备,包括太阳能热水器、太阳能交通灯和节能灯泡等。2010年,南非启动国家太阳能热水器计划(National Solar Water Heating Programme, NSWHP),授权南非电力公司在2015年和2030年前分别安装100万套和400万套太阳能热水器^[22]。南非电力公司也配合推出优惠政策,向消费者提供20%的购置补贴。2015年,南非能源部接管了NSWHP的实施工作,并提供了多达5000项补贴,用于推广屋顶光伏、节能家用电器等。南非近年来持续上涨的电价和不断增加的限电风险也助推了各种节能设备的普及。

3.3.2 工业领域

南非工业领域的减排措施主要包括颁布国家工业政策行动计划和实施绿色退税。

工业政策行动计划(Industrial Policy Action Plan, IPAP)是南非工业政策的一个总体框架,其中概述了工业发展的总体路径。最新版的IPAP 2019—2021提出,将为应对气候变化制定新的工业发展路线,收集分析各类资源效率数据,推进工业能效项目开发,提高工业用水效率和清洁生产技能,支持燃料电池产业发展等。

为支持和鼓励工业领域低碳减排,南非财政部(National Treasury)通过修订《所得税法》颁布了一系列税收激励措施^[23],例如:2B条款允许公司从其应纳税收入中直接扣除用于可再生能源生产的投资成本;12I条款对南非制造业中使用了节能设备或提高15%以上能效的项目和投资实施税收减免;12K条款对企业低碳减排活动所获收益实施部分免税;12L条款明确税收激励措施,支持工业部门实施节能;37B条款允许企业从应税收入中扣除控制和监测环境污染的设备及处置场地的费用。

3.3.3 交通运输领域

2018年,南非政府颁布《绿色交通战略》(Green Transport Strategy),将货运作为交通运输领域的减排关键,并提出至2050年将本部门碳排放占比由2018年的12%下降至7%,并将30%的货运量从公路转向

铁路,20%的客运量从私家车转向公共交通和绿色交通^[24]。相关措施包括:一是完善交通基础设施,加大对电动汽车和储能技术研发投入和财政补贴,用电动汽车、氢能燃料汽车逐步替代燃油汽车;二是在全国范围内推广已在约翰内斯堡应用的快速公交系统(BRT),增加由太阳能电池板供电的公共充电站的数量;三是通过“公转铁”调整货运结构,减少公路货运占比,降低整体碳排放;四是建立低碳燃料标准并实施税收抵免,统一购车标准,鼓励使用电动或零排放车辆;五是对燃油汽车征收碳排放税(carbon emissions tax),起征点为120 g/km,超过该限值的车辆,按照75兰特/g(不含附加税)征收碳排放税。

3.3.4 农林业与土地利用领域

南非地处非洲最南端,属热带草原气候,植被主要由灌木地(40%)、稀树草原林地(33%)和草原(27%)构成。2015年的南非《国家陆地碳汇评估报告》显示,尽管境内的森林覆盖面积较小,但仍吸收了90%以上的碳排放。南非环境事务部负责制定农林业和土地利用部门(agriculture, forestry and land use)的适应和减缓气候变化政策和措施。已颁布政策包括《气候变化适应和减缓计划》(Climate Change Adaptation and Mitigation Plan)草案、《农业保护策略》(Conservation Agriculture Policy)和《农用林业战略框架》(Agroforestry Strategic Framework)等。

农业方面的主要措施包括:一是推广农作物多样化,发展更广泛的可持续农业,扩大集约化生产和土地利用;二是进一步为保护性农业提供政策支持,提高其比例(现占比20%~30%),推广免耕和保护耕作,发展精准农业等;三是减少农用车辆的燃料消耗,提高农作物产量,减少使用化肥。

林业方面的主要措施包括:一是开展森林恢复和退耕还林工作;二是减少森林砍伐,延缓森林退化,保护森林碳储存能力,提高现有森林碳库(carbon stock);三是提出在东开普省和夸祖鲁-纳塔尔省造林10万hm²的绿色倡议。

3.3.5 建筑领域

为减少建筑领域碳排放,在政策层面,南非政府在《国家建筑条例》和《建筑标准法》基础上,又颁布《建筑物能效标准》(204号)和《建筑物能源利用标准》(SANS 10400-XA),用于提高建筑物能效和降低能耗。204号标准规定了与建筑物能效有关的各项设计要求,包括通风和空调系统设计标准、建筑物朝向、最大能源需求值、最大年能耗值等。SANS

10400-XA标准侧重于建筑物节能,提出了安装分布式可再生能源发电系统、隔热保温系统以及给水排水、照明和电气系统的能耗标准和规范。

3.3.6 废弃物领域

2009年,南非颁布了《废弃物法》(Waste Act),指导废弃物管理。2011年又颁布了《国家废弃物管理策略》(National Waste Management Strategy),引进国际公认的废弃物管理办法,包括避免及减少废弃物以及废弃物回收、处理和循环利用等多个方面^[25]。具体措施包括:一是推广实施废弃物分类;二是开展废弃物资源化、资源化利用,对高耗能行业产品实施再利用,推广电池回收;三是实施垃圾发电,减少废弃物甲烷排放,以抵消化石燃料发电碳排放。2020年,南非对《国家废弃物管理策略》进行了更新,引入“循环经济”概念,即通过重复使用和回收加工来减少对环境的影响,倡导可持续发展。

2018年,南非政府还推出了近20项国家废弃物管理倡议,其主要目标是每年将2000万t废物转移至堆填区,其中包含约75%的工业废弃物和50%的都市废弃物。在这些倡议中,与碳排放直接相关的包括:至2023年,50%以上的家庭能够直接分离废弃物;提高塑料回收率,制定包装行业碳减排责任计划;扩大宣传,提高消费者节约粮食意识;在全国范围内推广垃圾发电;加大制冷剂的回收和再利用,减少制冷剂气体排放等。

3.4 技术方面

自签署《巴黎协定》以来,南非政府不断加大对低碳技术研发的政策和资金支持,并建立了由科技与创新部(DSI)牵头的国家研发体系。依托国家科学与工业研究理事会(CSIR)、国家能源发展研究所(SANEDI)等专业科研机构,制定低碳技术发展规划,集中社会研究力量,引导投资,进行低碳技术研发。政策的激励与支持对技术研究具有重要影响。2019年,南非政府颁布的《科学、技术和创新白皮书》(White Paper on Science, Technology and Innovation),重点强调了创新技术对减缓、适应和应对气候变化的重要作用。

截止目前,南非在低碳技术领域主要的研究活动包括:

1) 废弃物的研究、开发和创新路线图(Waste Research, Development and Innovation Roadmap),该研究项目由SANEDI负责,旨在提高废弃物利用效率,

减少垃圾填埋及相关碳排放。

2) 氢能研究计划(Hydrogen South Africa Research Programme),旨在通过燃料电池技术的原型设计、示范和商业化,推动燃料电池技术发展。

3) 可再生能源枢纽和辐射计划(Renewable Energy Hub and Spokes Initiative),旨在提高风能、太阳能光伏和光热发电的技术水平,项目由南非多所大学联合实施。

4) 锂离子电池计划(Lithium-Ion Battery Programme),旨在推进储能技术开发,提高太阳能和风能的利用效率。

除此之外,南非也非常重视国际合作。2019年8月,南非国家科学与工业研究理事会、金山大学、比勒陀利亚大学与北京化工大学、中国可再生能源学会等单位共同签署谅解备忘录,成立中南清洁能源联合研究中心,搭建产学研合作平台,共同开展在生物质能等领域的创新研发。

3.5 其他方面

除了上述政策法案、规划、行业措施和技术研究外,南非各级政府、私营部门和金融机构也纷纷采取措施,推进节能减排。

3.5.1 地方政府

除国家层面正在实施的政策和措施,南非各省级政府、市政、社会组织和社区机构也在践行低碳发展战略中发挥重要作用。目前,南非许多省级和地方政府已经开始制定低碳减排发展战略,并进行了一系列实践,如安装屋顶光伏装置、实施提高能效的建筑规范、加强对废物处理部门的行政干预等。为便于协调和沟通,南非地方政府联合相关机构建立了多个气候变化交流平台,如气候正义联盟(Climate Justice Coalition)、环境正义网络论坛(Environmental Justice Networking Forum)等,通过这些机构分享经验和做法,协调和监督各方减排措施的实施。另外,约翰内斯堡、开普敦、比勒陀利亚和德班等大城市作为全球百强弹性城市(100RC)、C40城市集团等国际组织成员,也大多已经公布了碳中和承诺及减排路径。

3.5.2 私营部门

私营部门在调动资金开发创新性减排解决方案等方面具备优势,能够更好地利用市场信号减少成本,扩大效益。截至目前,南非REIPPPP招标已成功引入了92个可再生能源项目,私营部门投资约1920亿兰特。2021年6月10日,南非政府将分布式发电许可证申报限值由1 MW提高到100 MW,进一步降低准入门

槛,吸引私营部门投资。

3.5.3 金融机构

随着碳中和目标的提出,南非有关金融机构的投融资和信贷业务也开始向低碳产业倾斜,降低高碳资产配置,注重气候风险管理。2020年,南非三大银行——奈德银行(Nedbank)、标准银行(Standard Bank)和第一兰德银行(First Rand Bank)相继表示将不再为任何新建燃煤电厂项目提供贷款,以践行《巴黎协定》有关要求,满足节能减排的国际环境需求,降低金融风险^④。并承诺将创新绿色金融,通过私募股权和风险投资等方式投资先进的绿色技术,提高对绿色产业支持。

3.6 各方反馈

针对政府提出的碳中和承诺、实现路径以及相关减排措施,南非各界反应不一。南非总统拉马福萨表示,“将为减少碳排放,践行《巴黎协定》作出应有贡献,但首先会确保社会中的弱势群体不被抛下”。南非矿能部部长曼塔什对2050年碳中和目标信心十足,并强调不会因为新冠疫情而改变目标,但同时也表示“将致力于公正地向低碳经济过渡,在投资清洁能源的同时,必须确保能源供应安全,因此短期内还会支持新的煤电项目开发”。

南非联合国气候谈判代表拉马洛普表示,新版《国家自主贡献》草案虽然有很大改善,但仍然雄心不足,无法满足《巴黎协定》中1.5℃场景的需求。世界资源研究所(World Resources Institute)非洲区主任马泰表示,南非的减排目标和努力基本符合《巴黎协定》中将温度限制在2℃以内的目标。

2021年8月11日,南非国家商业倡议联盟(National Business Initiative)发布的《南非电力系统脱碳报告》^[26]指出,若目前的低碳减排政策和措施若能顺利实施,南非完全有希望在2050年实现碳中和,但在此过程中必须平衡能源转型和经济增长的关系,并谨慎应对贫困、不平等、失业等社会问题,以摆脱对以化石燃料为主的能源系统的长期依赖,建立一个具有弹性和包容性的低碳社会。

煤炭行业工会是南非能源转型的主要反对者,捍卫工作权利是其诉求重点,其中南非矿工工会(NUM)和南非金属工人工会(NUMSA)对政府的能源转型路径,特别是关停矿区和燃煤电站等措施反对声最为强烈,罢工、抗议等活动时有发生。2018年11月,工会组织大规模游行,反对政府关停5个老旧

燃煤电站并将其改造为可再生能源电站,导致该计划被迫搁浅。南非金属工人工会秘书长欧文吉米表示:“我们要求进行公正的能源转型,并确保煤炭产业工人不会因为转型而失业。政府应该制定详细的煤电退出计划,并组织培训,使工人们可以在可再生能源行业再就业。”

4 困难与挑战

与其他很多国家类似,如何平衡经济增长、能源消费和低碳减排三者的关系是南非能否如期实现碳中和的关键。总体而言,南非的碳中和进程面临着如下三个主要的困难和挑战。

1) 制约因素多。低碳减排既是气候和环境问题,也是发展问题,涉及社会、政治、经济等诸多因素,必定会对社会经济发展和劳动力就业带来阵痛。南非是全球失业率最高的国家之一,失业率长期维持在25%左右,2021年二季度更是达到34.4%。随着低碳减排措施的落实,以煤炭行业为代表的劳动密集型产业在需求下滑、能源转型、劳动生产率提升等因素作用下,必将受到冲击。南非煤炭行业就业人口高达10万,且多集中在失业率较高的地区。如何兼顾公平和公正,平衡和协调各方利益,妥善处理劳动力转业问题是南非推进能源转型,实现碳中和面临的最主要挑战之一。此外,南非的碳中和目标提出后,近期已经遭到了反对党、工会组织和煤炭开采行业等利益相关方的反对。

2) 减排时间紧。作为全球最大的温室气体排放国之一,南非能源生产大部份依赖煤炭发电,二氧化碳排放量约占非洲大陆的一半。对煤炭资源的长期需求和依赖,使南非在碳排放总量和强度上呈现“双高”特征,发展惯性大,路径依赖性强,煤炭消费比、碳排放总量、人均碳排放量都高于世界平均水平。按照目前的碳中和实现路径,即使如期达峰并在2035年以前保持平稳,要实现2050年碳中和的目标,意味着碳排放需要快速下降,减排时间非常紧张,难度很大。

3) 筹集资金难。普华永道最新研究报告显示,南非要在2050年实现碳中和,累计需要约7000亿美元投资。然而南非近年来经济总体表现不佳,财政赤字持续增加,主权信用评级连遭下调。新冠疫情使南非经济雪上加霜,封禁措施导致经济活动停滞,各行业发展遭受沉重打击,南非GDP在2020年萎缩了近6%。

这使得在恢复经济的同时,筹集资金推动能源转型变得更加困难。作为南非能源领域减排主力的南非电力公司近年来深陷危机,债台高筑,负债金额高达4018亿兰特。该公司所推出的“公正能源转型”和“清洁火力发电计划”的实施都需要大量资金,考虑到当前运营和财务现状,筹集和获取资金的前景不容乐观。

5 相关启示

以“基础四国”为代表的发展中国家在推动全球应对气候变化进程中扮演着重要角色。发展中国家普遍经济基础相当、发展阶段相似,在应对气候变化方面都面临着经济发展、消除贫困、社会进步等的多重挑战。因此,深入剖析南非碳中和实现路径及减排措施对其他发展中国家具有一定的参考和启示作用,具体总结如下。

1) 积极参与国际气候治理,认真履行减排义务。宣布碳中和及低碳减排目标,制定短期目标和长期愿景相结合的行动方案。明确煤电、工业、交通运输等重点行业和地方的减排目标、路线图、行动方案和配套措施。根据形势变化,不断完善政策组合,丰富政策内涵。在实现碳中和的过程中,兼顾社会经济发展,倡导包容性、公平性、可持续性的能源转型。

2) 在危机中育新机,于变局中开新局。积极应对气候变化,将低碳转型作为实现产业升级和重塑经济竞争力的战略举措。通过行政立法和积极的产业政策,支持太阳能、风能等可再生能源项目开发。统筹经济社会发展需求,制定远期综合能源规划,保证能源供应安全,优化能源供应结构,提高能源利用效率。

3) 将可再生能源作为推动国家能源转型的重要抓手和关键所在。不断加强对电网、储能等电力基础设施的规划建设,对系统灵活性资源提前规划布局。充分发挥地方政府、私营部门和金融机构优势,通过公开招标、财政补贴、政策激励等措施,持续加强对可再生能源、分布式发电、低碳产业的支持力度。利用碳税、碳预算、碳市场等政策工具,倒逼高耗能、高排放行业及企业加快转型升级。

6 结论

南非作为发展中国家代表和全球最大的温室气体排放国之一,近年来积极参与全球气候治理,主动提出国家自主贡献和2050年碳中和目标,是对国际社会关注的积极回应,体现了作为非洲国家代表和国际大国的责任担当。

截至目前,南非已经颁布了较为系统的法律法规,制定了覆盖能源、工业、交通运输、建筑、农林等行业的发展规划和具体措施。逐步实施碳税和碳预算,积极推动碳定价,激励企业采取积极措施主动进行低碳减排,并将其纳入与企业经营绩效直接关联的实际测量。注重发挥地方政府、私营部门和金融机构积极作用,助力能源转型。

碳中和对南非社会经济发展意义重大,但长期以煤炭为主体的能源结构,以及对高碳行业的过度依赖也让南非碳中和进程面临诸多困难和挑战。能源消费结构的调整和优化,尤其是可再生能源的大规模使用,必然带来社会、经济和成本问题,如何统筹协调好各方关系将是南非能否实现碳中和的关键。

注释

- ① 南非财政年度采取跨年制,2019—2020财年起讫日期为2019年4月1日至2020年3月31日。
- ② 南非曾于2015年9月25日发布过预期国家自主贡献(intended nationally determined contribution),并于2016年11月1日提交至联合国气候变化框架公约组织。
- ③ 2019年5月,原南非能源部(Department of Energy)和南非矿产资源部(Department of Mineral resources)合并成立南非矿产资源和能源部(Department of Mineral resources and Energy)。本文对该部门合并前后分别称“南非能源部”和“南非矿能部”。
- ④ 为实现公正转型,解决好受影响群体的就业和生计问题,三家银行同时表示,在符合一定标准的前提下,还会为新的动力煤开采和扩建项目以及现有火电企业提供融资。

参考文献

- [1] 周立志. 南非电力市场及可再生能源发展研究[J]. 中外能源, 2021, 26(2): 7-19.
ZHOU Lizhi. Research on electricity market and renewable energy development in South Africa[J]. Sino-Global Energy, 2021, 26(2): 7-19(in Chinese).
- [2] 王倩. 南非新能源产业发展现状及启示[J]. 中外能源, 2019, 24(3): 34-43.
WANG Qian. Development status and enlightenment of South Africa's new energy industry[J]. Sino-Global Energy, 2019, 24(3): 34-43(in Chinese).
- [3] 李涛, 焦芑, 王冬斌. 南非政府和金融体系应对气候变化风险对策研究[J]. 国际金融, 2020(6): 74-80.
- [4] 祁悦, 樊依纯. 基础四国气候变化南南合作的政策行动及启示[J]. 世界环境, 2017(1): 60-63.
QI Yue, FAN Yichun. Climate change in BASIC countries: Policy action and enlightenment of South-South cooperation[J]. World Environment, 2017(1): 60-63(in Chinese).
- [5] Enerdata. South Africa Energy Information[EB/OL]. [2021-05-

- 19]. <https://www.enerdata.net/estore/energy-market/south-africa/>.
- [6] Statista. Distribution of electricity consumption in South Africa as of 2019 by sector[EB/OL]. [2021-05-19]. <https://www.statista.com/statistics/1221769/electricity-consumption-in-south-africa-by-sector/>.
- [7] BP. Statistical Review of World Energy 2020[EB/OL]. (2020-06-01)[2021-05-21]. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2020-full-report.pdf>.
- [8] Climate Action Tracker. Climate Transparency Report 2020[R/OL]. (2020-11)[2021-05-01]. <https://www.climate-transparency.org/wp-content/uploads/2020/11/South-Africa-CT-2020.pdf>.
- [9] Zanie Cilliers, Megan Euston-Brown. Aiming for Zero-Carbon New Buildings in South African metros[EB/OL]. (2018-08)[2021-05-20]. <https://www.sustainable.org.za/uploads/files/file145.pdf>.
- [10] PwC. Net Zero for South Africa[EB/OL]. (2021-02-05)[2021-05-19]. <https://www.pwc.co.za/en/assets/pdf/net-zero-for-south-africa.pdf>.
- [11] Ministry of Forestry, Fisheries and the Environment of South Africa. South Africa's Low-Emission Development Strategy 2050[EB/OL]. (2020-02)[2021-05-11]. https://www.environment.gov.za/sites/default/files/docs/2020lowemission_developmentstrategy.pdf.
- [12] Ministry of Forestry, Fisheries and the Environment of South Africa. South Africa's First Nationally Determined Contribution under the Paris Agreement[EB/OL]. (2021-03-30)[2021-05-10]. https://www.environment.gov.za/sites/default/files/reports/draftnationallydeterminedcontributions_2021updat ed.pdf.
- [13] Ministry of Forestry, Fisheries and the Environment of South Africa. National Climate Change Response Policy White Paper[EB/OL]. (2011-10)[2021-05-10]. https://www.environment.gov.za/sites/default/files/legislations/national_climatechange_response_whitepaper_0.pdf.
- [14] Department of Environmental Affairs of South Africa. Climate Change Bill [EB/OL]. (2018-06-08)[2021-08-23]. https://www.environment.gov.za/sites/default/files/legislations/climatechangebill2018_gn41689.pdf.
- [15] Department of Presidency of South Africa. Carbon Tax Act of South Africa[EB/OL]. (2019-06-01)[2021-05-10]. https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/201905/4248323-5act15of2019carbontaxact.pdf.
- [16] Department of Presidency of South Africa. National Development Plan 2030[EB/OL]. (2012-08)[2021-05-10]. <https://www.gov.za/sites/default/files/Executive%20Summary-NDP%202030%20-%20Our%20future%20-%20make%20it%20work.pdf>.
- [17] Department of Mineral Resources and Energy of South Africa. National Integrated Energy Plan 2016[EB/OL]. (2016-11-22)[2021-08-23]. <http://www.energy.gov.za/files/IEP/2016/Integrated-Energy-Plan-Report.pdf>.
- [18] Department of Presidency of South Africa. Integrated Resource Plan 2019[EB/OL]. (2019-10-17)[2021-05-10]. <http://www.energy.gov.za/IRP/2019/IRP-2019.pdf>.
- [19] Department of Minerals and Energy of South Africa. Biofuels Industrial Strategy[EB/OL]. (2007-12)[2021-05-10]. [http://www.energy.gov.za/files/esources/renewables/biofuels_indus_strat.pdf\(2\).pdf](http://www.energy.gov.za/files/esources/renewables/biofuels_indus_strat.pdf(2).pdf).
- [20] Department of Mineral resources and Energy of South Africa. Independent Power Producer Procurement Programme BW5[EB/OL]. (2021-04)[2021-05-08]. <https://www.ipp-renewables.co.za/>.
- [21] Ternece Creamer. Eskom to seek authorisation to proceed with repurposing of four coal stations[EB/OL]. (2020-07-07)[2021-05-10]. <https://www.engineeringnews.co.za/article/eskom-to-seek-authorisation-to-proceed-with-repurposing-of-four-coal-stations-2020-07-07>.
- [22] Department of Mineral Resources and Energy of South Africa. National Solar Water Heating Programme[EB/OL]. (2007-12)[2021-05-10]. <https://www.ipp-renewables.co.za/>.
- [23] National Treasury of South Africa. Taxation Laws Amendment Act 31 of 2013[EB/OL]. (2013-12-12)[2021-05-10]. https://www.gov.za/sites/default/files/gcis_document/201409/37158act31of2013taxationlawsamend12dec.pdf.
- [24] Department of Transport of Republic of South Africa. Green Transport Strategy for South Africa: 2018-2050 [EB/OL]. (2018)[2021-05-10]. https://www.transport.gov.za/documents/11623/89294/Green_Transport_Strategy_2018_2050_onlineversion.pdf/71e19f1d-259e-4c55-9b27-30db418f105a.
- [25] Waste Act of South Africa[EB/OL]. (2018)[2021-05-10]. https://www.environment.gov.za/sites/default/files/legislations/nema_amendment_act59.pdf.
- [26] National Business Initiative. Decarbonising South Africa's Power System[EB/OL]. (2021-08-11)[2021-08-23]. <https://www.nbi.org.za/wp-content/uploads/2021/08/NBI-Transition-Chapter-Decarbonising-SA-power-11-Aug-2021.pdf>.

收稿日期: 2021-06-02; 修回日期: 2021-09-16。

作者简介:



周立志

周立志(1981), 男, 高级工程师, 研究方向为国际电力市场、跨国电力交易、新能源发电及并网应用。通信作者, E-mail: lizhi-zhou@sgcc.com.cn。

张鹏飞(1978), 男, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为电网规划, 电网运行与分析, 电力与能源分析,

E-mail: zhangpengfei@stategrid.com.cn。

麻常辉(1975), 男, 博士, 教授级高级工程师, 研究方向为电力系统运行分析与控制, E-mail: machanghui@163.com。

刘洁(1973), 女, 硕士, 高级会计师, 研究方向为财务管理, 能源经济分析, E-mail: liujie@stategrid.com.cn。

(责任编辑 张鹏)