

引用格式: 朱永昶, 张小锋, 陈正洪, 等. 服务于新型能源体系建设的气象服务保障体系构建思考 [J]. 南方能源建设, 2025, 12(1): 58-64. ZHU Yongchang, ZHANG Xiaofeng, CHEN Zhenghong, et al. Thinking on the meteorological services to ensure the development of a system for new energy sources [J]. Southern energy construction, 2025, 12(1): 58-64. DOI: 10.16516/j.ceec.2024-234.

服务于新型能源体系建设的气象服务保障体系构建思考

朱永昶¹, 张小锋¹, 陈正洪², 叶冬^{3,✉}, 谭娟¹, 秦勇¹, 柳昭辉^{4,✉}, 许智棋⁵

(1. 中国气象局气候资源经济转化重点开放实验室, 中国气象局气象发展与规划院, 北京 100081;

2. 湖北省气象服务中心, 湖北 武汉 430074;

3. 中国气象局公共气象服务中心, 北京 100081;

4. 山东省气象服务中心, 山东 济南 250031;

5. 北京城市气象研究院, 北京 100089)

摘要: [目的] 新型能源体系是以清洁低碳为核心目标的能源体系, 国家新型能源体系构建是实现“双碳”目标的重要举措。天气气候因素及气象灾害等对电网稳定、安全运行影响巨大, 需要针对国家新型能源体系建设新需求, 构建高质量气象服务保障体系。[方法] 文章通过文献调研、政策调研和专家咨询等方法, 在对国家新型能源体系相关政策措施进行分析的基础上, 对照国内能源气象服务业务现状、研判未来发展方向, 提出新型能源体系建设的气象服务保障体系发展思路, 并研提相关建议。[结果] 研究表明, 中国气象局各级业务单位在风光发电、水电、核电, 及输电通道、能源消纳等方面均较好开展了能源气象服务。国家新型能源体系建设对气象服务保障提出了面向清洁能源基地建设整体优化气象服务保障布局, 强化发电功率预报以及气候预测等服务精准度, 针对新能源基础设施建设、发电、储能、输电、消纳等各场景开展气象服务保障等新要求。[结论] 对标国家新型能源体系建设要求, 文章从优化能源气象业务服务布局, 提升服务保障能力, 强化技术人才、合作机制保障支撑等方面, 对更好发挥气象部门在国家新型能源体系建设中的服务保障作用提出了对策建议。

关键词: 气象; 新型能源体系; 碳达峰; 碳中和; 气象服务保障

DOI: 10.16516/j.ceec.2024-234

文章编号: 2095-8676(2025)01-0058-07

CSTR: 32391.14.j.ceec.2024-234

中图分类号: TK01



论文二维码

Thinking on the Meteorological Services to Ensure the Development of a System for New Energy Sources

ZHU Yongchang¹, ZHANG Xiaofeng¹, CHEN Zhenghong², YE Dong^{3,✉}, TAN Juan¹, QIN Yong¹, LIU Zhaohui^{4,✉}, XU Zhiqi⁵

(1. CMA Key Open Laboratory of Transforming Climate Resources to Economy, CMA Institute for Development and Programme Design, Beijing 100081, China; 2. Hubei Meteorological Service Center, Wuhan 430074, Hubei, China; 3. Public Meteorological Service Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China; 4. Shandong Meteorological Service Center, Jinan 250031, Shandong, China; 5. Institute of Urban Meteorology, CMA, Beijing, Beijing 100089, China)

Abstract: [Objective] Clean and low-carbon production is the core target of a system for new energy sources, and which construction is an important measure to realize the carbon peaking and carbon neutrality goals. Meteorological factors and disasters have great

收稿日期: 2024-07-16 修回日期: 2024-08-16 网络首发日期: 2024-11-21

基金项目: 中国气象局 2024 年度气象软科学研究课题“碳市场在全球气候治理体系中的作用及气象部门参与机制研究”(2024MSXM19); 中国气象局气象发展与规划院专项研究项目“提升气象对新能源转型发展服务能力研究”(JCYJ20230402); 中国气象局青年创新团队人才支撑计划(CMA2023QN18)

impacts on the stable and safe operation of the power grid. It is necessary to build a high-quality meteorological service system according to the needs of the construction of a system for new energy sources. [Method] In this paper, literature and policy research and expert consultation methods were adopted. Based on the analysis of the relevant policies of a system for new energy sources, the future development direction of the energy meteorological service was studied, and the development proposals of the meteorological service system for the construction of a system for new energy sources were put forward. [Result] The research shows that service departments at various levels of China Meteorological Administration have delivered energy meteorological services in wind power, solar power, hydropower, nuclear power, power grid operation, energy consumption etc. The construction of a system for new energy sources puts forward new requirements for meteorological service, such as optimizing the overall layout of meteorological service support for the construction of clean energy bases, strengthening the accuracy of power generation forecast and climate prediction services, and carrying out meteorological service support for various scenarios such as the construction of new energy infrastructure, power generation, storage, transmission and consumption. [Conclusion] According to the requirements of a system for new energy sources construction, proposals are put forward from aspects such as optimizing the layout of meteorological services, improving service support capabilities, strengthening talent and cooperation mechanisms.

Key words: meteorology; a system for new energy sources; carbon peaking; carbon neutrality; meteorological service and support

2095-8676 © 2025 Energy China GEDI. Publishing services by Energy Observer Magazine Co., Ltd. on behalf of Energy China GEDI.

This is an open access article under the CC BY-NC license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

0 引言

中国是世界第一发电大国,同时也是世界第一清洁能源发电大国,清洁能源发电量占比高达26%^[1]。清洁能源高比例并网是新型能源体系发展的重要特征,构建新型能源体系是确保“双碳”目标如期实现的重要举措^[2-4]。新型能源体系对风、光、水等相关气候资源依赖性强,同时,天气状况的不确定性使得可再生能源供应随机、波动^[5-7],气候变化导致的极端天气气候事件频发可导致电力供需失衡,影响电力安全保供^[8]。国、省、市、县四级气象部门在风光资源普查评估、电站规划选址、发电量预测、电力输送、电力设施灾害防御等全链条气象服务中发挥着重要的服务保障作用。但当前,气象部门新能源气象业务服务与国家新型能源体系建设的需求尚有差距,需要进一步加强气象部门在国家新型能源体系建设中的服务保障作用,这对保障国家能源安全意义重大。

1 保障新型能源体系建设对气象服务的新要求

新型电力系统是以新能源为主体的电力系统^[9-12],是新型能源体系的重要组成部分^[13]。从构建新型电力系统等角度来讲,新型能源体系未来发展方向包括能源基地建设、电网输电设施建设及调节性资源建设等^[14-17]。气象服务保障对国家新型能源体系建设至关重要。新型能源体系是在确保能源电力安全

的前提下,以风、光、水等新能源发电占主导地位的能源体系,易受气象因素影响。一方面,气象因素影响能源供需,风、光、水等气象因素是新能源电力系统的能量来源,且气温等气象要素变化会影响全社会对电能的需求^[18-22];另一方面,气象灾害等因素会对电网运行造成不利影响。大风、阴雨、沙尘等气象过程及干旱等气象灾害会造成新能源发电量短期内剧烈波动导致供电可靠性下降^[20],极端天气气候事件会通过损毁电力设施影响跨区域供电^[23]。据统计,气象原因导致的故障占电网总故障数60%以上^[24]。亟需根据国家新型能源体系建设要求布局能源气象服务发展,发挥气象服务保障作用。

新型能源体系建设对气象服务保障提出了新要求:(1)气象业务服务布局需由点拓面,面向清洁能源基地建设整体优化气象服务保障布局;(2)气象服务保障要更加精细,智能电网、煤电等调节性资源建设等均需要精准、精细的发电功率预报以及气候预测等服务;(3)要实现多种场景的气象服务保障,要求针对新能源基础设施建设、发电、储能、输电、消纳等“产、建、输、用、购”各环节,全面对接新能源企业需求,主动开展无缝隙融入式气象服务。

2 气象服务保障新型能源体系建设上需要开展的主要工作

中国气象局高度重视新能源气象服务保障工作,建立了“主责明确、分工合理、协调发展”的新能源

气象服务业务布局(表 1)。开展中国气象局首个气象服务示范计划(Service Demonstration Program, SDP)——风能太阳能发电精细化气象服务示范计划,以“赛马制”等形式推进新能源气象服务发展。同时开展能源领域气象服务需求调查研究,召开能源气象服务需求对接会等,明确能源企业对气象服务保障需求,并印发能源气象服务行动计划。

表 1 中国气象局各级业务单位新能源气象业务布局

Tab. 1 New energy meteorological service layout of China Meteorological Administration

单位层级	业务方向
国家级气象业务单位	中国气象局公共气象服务中心:开展新能源气象服务体系建设和开展新能源气象服务技术和产品研发、完善风能太阳能资源技术标准体系、建设风能太阳能气象业务服务平台、开展服务效益评估及推广应用
	国家气象中心:开展灾害预警相关气象要素的短中期预测关键技术研发
	国家气候中心:开展风能太阳能资源延伸期和月季尺度气候预测业务技术研发
省(区、市)气象局	国家气象信息中心:提供数据支撑
	中国气象局地球系统数值预报中心:开展针对风能太阳能资源的自主可控的数值模式关键技术研发,搭建风能太阳能资源数值预报业务系统,支撑风能太阳能资源预报业务建设
	中国气象局气象探测中心:完善优化新能源气象资源专业观测站网布局,建立观测数据质控和评估的技术方法及标准
	开展与本省需求相关的新能源气象服务关键技术及产品研发,开展本省新能源气象服务体系建设,实现国家级前沿技术以及系统和产品的本地化应用

中国气象局在为保障新型能源体系建设提供服务方面具有较好的业务基础。本研究对其各级业务单位开展能源气象服务业务情况进行了调研,结果表明他们针对风、光、水、核电等均较好开展了相关气象服务(表 2)。

与当前国家新型能源体系建设服务保障的总体要求相比,气象部门尚需面向清洁能源基地完善气象服务布局、提升服务精细化水平、针对新型能源体系建设全链条各环节增强气象服务能力等,需要开展的主要工作包括:

1)完善面向清洁能源基地建设的能源气象服务体系和布局。目前能源气象服务业务主要针对单个场站开展预报预警服务,除针对特定区域开展风能、

表 2 中国气象局各级业务单位能源气象服务开展情况

Tab. 2 Development of energy meteorological services in business units at all levels of China Meteorological Administration

服务项目	服务内容
风光发电	风能太阳能资源详查与监测评估、风光发电站点选址、气象条件及风光发电功率预报、风能太阳能资源趋势预测、能源消纳预测研判、电网运行及电力设施安全气象灾害风险预警等“全链条”气象服务
水电	水电场址气候分析及水电工程对局地气候生态影响评估等工作,并针对水电建设施工、运行维护、精准运营调度、发电设施及线路安全等开展了相应气象服务
核电	前期选址气候、气象灾害数据资料服务,及台风、温带气旋、龙卷风等极端气象灾害气候可行性论证,并开展了特殊时段气象信息、作业区短时精细化灾害天气预警等核电安全运行气象服务
输电通道	电线覆冰、大风舞动,及强对流、雷电、山洪地质灾害、森林及草原火灾等自然灾害的监测预报预警、灾情调查评估、气象灾害风险评估及输电通道建设气候可行性论证等服务
能源消纳	发电功率的中短期预报及极端天气气候事件的提前预判,服务迎峰度夏、度冬能源保供

太阳能资源的精细评估外,尚未面向各大清洁能源基地统筹开展服务布局。同时,面向未来需求的能源气象服务体系及分工明确、布局合理的国、区域中心、省三级能源气象服务布局尚未建立,部门内外互动联动等方面的工作机制尚不完善,综合限制了能源气象服务质量及服务规模的提高。

2)提高能源气象服务精细化水平。需要进一步增强能源气象专业要素预报产品的时空分辨率、预报时效、准确性等,以满足智能电网建设,发挥煤电、储能等调节性支撑性作用等方面需求。风能太阳能资源预报精准性尚待进一步提高,特别是转折天气(沙尘、强对流等)预报及超短期功率预测等能力。各省份水电气象服务水平参差不齐,技术团队力量总体薄弱,且尚未形成国家级统一技术体系。核电气象服务多属于气候可行性论证范畴,较少开展施工、运营及电力调度气象服务。同时,气象部门人工智能等技术方法在新能源气象服务中的应用尚处于起步探索阶段,相比之下能源企业掌握一手数据,具有计算流体力学人才队伍,采取动力降尺度和人工智能等方式开展新能源气象预报,场站端预报能力较强。

3)提升能源气象服务基础能力以全面满足新型能源体系建设全链条服务需求。风能太阳能资源普

查方面,尚需强化中国气象局数值模式作用。发电设施服务方面,受企业保密等因素影响,气象部门难以获取企业发电设施灾情数据,导致对相关需求及灾害影响特征了解不够,难以开展面向风电场、光伏、光热电站发电设施的气象灾害预警服务。输电通道服务方面,各省份服务内容及服务能力不平衡,尚未构建全国或跨区域的输电线路气象灾害评价或预报预警标准及相关业务,到杆塔、变电站、大跨越线路的精准气象预报服务开展较少。能源消纳服务方面,尚未开展微电网、电力交易等气象服务。数据服务方面,气象数据开放共享不能满足能源企业需求,由于缺少数据平台及气象数据共享相关政策限制,能源企业获取有关气象数据存在困难,其业务开展多购买相对更好获取的英国等国家的再分析和预报数据,对我国能源安全存在潜在威胁。

3 关于加强新型能源体系建设气象服务保障能力的思考与建议

3.1 由点及面,围绕清洁能源基地优化业务服务布局

建议紧跟国家新型能源体系建设要求,围绕各大清洁能源基地建设,优化能源气象服务保障业务服务布局,这主要应该包括下列工作:

1)加强能源气象服务总体设计与规划。建议在现有业务服务基础上,进一步优化能源气象服务发展战略目标,围绕各大清洁能源基地优化调整国、区域中心、省三级业务布局。统筹和配置数值模式研发、气候预测、专业服务等各业务单位资源,开展国家、区域中心两级新能源气象台建设,做到有部署、有项目、有考核。同时与有关部委、部门开展切实合作,形成整体合力。在国家级层面,从国家安全和提高效益出发,与相关部委、重点能源企业协调沟通,通过全国性建设项目带动相关服务和科研工作开展和人才培养。打造国家新能源气象台,逐步建立国家级新能源预报业务。强化新能源气象预报能力建设,依托中国气象局数值模式开发新能源模块,强化人工智能算法应用,优化电功率预测等。在区域中心层面,围绕各大清洁能源基地建设统筹各省资源,设立国家能源气象台分中心,开展针对性服务。在省级及以下层面,应积极参与跨区域能源保供、能源大数据建设等。建议开展本地新能源气象服务产品

优化订正,对接新能源企业实际需求,针对性开展精细化风光发电功率预测等技术方法研发等。同时,发挥气象服务联盟机制作用,推动国、区域中心、省三级气象部门及社会企业等紧密合作,与企业建立气象观测站点共建共享共用,重大天气过程交流,关键科学技术共研等机制,整合气象企业力量,以新能源气象服务为抓手推动气象信息服务产业发展。

2)优化清洁能源基地区域能源气象服务观测站网布局。建议观测方面联合社会企业统一规划布局,以“补盲、联网”为重点,优化新能源观测站网框架,在各大清洁能源基地,及密集输电通道等能源保供重点区域加密布设光、水、风等相关气象要素观测站点及天气雷达等强对流天气监测设施。并根据海上风电、风电机组大型化,风光互补等发展需求,加密布设高空风、辐射等气象要素观测站网,加强对新能源企业实时发电量数据获取,加强气象数据监测对电力生产运行的支持。同时注重“一网多能”,推动新能源等专业气象观测网与其他观测站网统一规划设计、协调管理。加强数据库建设,加强气象数据监测对电力生产运行的支持。

3)推进重点省份开展试点示范。建议在能源气象保障服务行动计划基础上,对标新型能源体系建设要求,由中国气象局针对新型能源体系建设重点省份印发相应工作方案,开展试点示范。充分发挥气象部门管理体制优势,推进国、省一体的新型能源体系业务服务体系构建,有效提升省级气象部门新型能源体系服务保障能力水平。建议选取相关省份开展清洁能源基地气象服务示范,从产品体系、业务系统构建,数据共享及人员培训等方面,进一步强化国家级业务单位对试点省份业务技术指导支持。

3.2 聚焦重点,深度融入“全链条”能源气象服务场景

对照国家新型能源体系建设发展方向和布局,建议在现有“全链条”能源气象服务业务基础上,进一步精耕细作,深度融入能源企业运行,扩展业务服务场景。

在资源开发及基础设施建设方面,细化能源开发保障、海上风电布局等气象服务,开展场站建设气象服务,开展风能太阳能资源普查试点,将风光资源普查结果融入国土空间规划。在电力系统运行方面,强化新能源气象服务专业数值模式开发,提高气象

预报和气候预测准确率。发展跨区域输电调度、火力发电量测算、储能系统调节、水库调蓄等针对性气象服务,并针对风光互补、分散式风电、分布式光伏等新业态开展相关研究。在输电方面,发展输电、输气线路设备相关雷击、大风、冰冻、暴雨等高影响天气预报预警服务。在防灾减灾方面,开展海上风电气象灾害防御、台风对核电影响防御、煤矿灾害性天气预警等电网安全运行气象服务,增强电力设备对极端天气抵御能力。在新能源消纳方面,发展用电需求预测、电力交易、可再生能源消纳气象服务。

3.3 强化支撑,开放合作促进服务质量提升

建议进一步强化科技创新、人才建设、合作机制等方面保障支撑,促进能源气象服务质量提升。

1) 实施能源气象科技创新驱动行动。与能源领域相关政府部门、企业等设立联合基金、培育建设联合重点实验室,聚焦观测装备、监测预报预警等技术研发,及图像识别、风场反演、风光互补、功率预测、储能预测等领域瓶颈问题开展技术攻关,同时自主制定一批重要的国家和行业标准,提高新能源服务领域技术自主化水平。实施能源气象人才队伍建设行动。联合相关高校、科研院所和社会企业,强化能源气象等交叉学科人才培养,建设高水平的新能源气象服务科技和技能人才队伍。

2) 以数据开放共享为抓手促进新能源气象服务发展。中国气象局再分析、实况及预报数据与国外数据相比具有更加精密的优势,特别是再分析数据方面,已构建了全球 10 km×10 km,逐小时的,50~200 m 逐 10 m 风的数据集。建议发挥气象部门大数据优势,构建数据服务平台,将气象部门再分析、实况及预报数据交易给新能源企业,将数据产品无缝隙融入企业调度系统,打破相关企业对国外数据依赖的局面,提高数据自主性。同时发挥数据“磁石”作用,吸引能源企业与气象部门在新能源气象服务领域深化合作。

3) 实施新能源气象服务合作开发行动。优化开放合作机制,以产业化方式推进全国新能源气象服务。在新能源气象服务重点环节领域培育扶持影响力大、示范作用明显、带动性强的重点骨干企业,打造以中国气象局为主导的新能源气象服务中小微企业创新生态系统。构建新能源气象服务产业体系。

发挥中国气象局主体作用,构建政府主导、市场配置资源、社会力量参与的,包括政策体系、技术体系、支撑体系、标准体系和用户体系在内的,覆盖中国和“一带一路”沿线国家的新能源气象服务产业体系。强化气象部门对新能源气象服务市场发展指导,及基础气象数据资料和基本气象服务支撑,引导相关服务企业及社会力量互补协同,发挥整体合力。

4 结论

能源是“双碳”战略主战场,新能源是绿色电力供应主力军^[25-26],为新型能源体系建设提供科技支撑是气象部门发挥应对气候变化科技支撑作用的关键环节。针对国家新型能源体系建设,中国气象局各级业务单位在发电、输电及能源消纳等方面均较好开展了能源气象服务。

本文系统分析了中国气象局能源气象服务现状,新型能源体系建设对气象服务保障需求。从优化业务服务布局、提升服务保障能力及强化保障支撑等方面,对更好发挥气象部门在国家新型能源体系建设中的服务保障作用提出了相关对策建议。

参考文献:

- [1] 曹政. 我国水电、风电、太阳能发电、生物质发电装机均居世界第一“双碳”工作开局良好 定能如期实现目标 [N]. 北京日报, 2022-09-23.
CAO Z. The installed capacity of hydropower, wind power, solar power and biomass power in China all ranks first in the world. Work towards "carbon peaking and carbon neutrality goals" has a good start and will achieve the target on schedule [N]. Beijing daily, 2022-09-23.
- [2] 朱晔, 徐石明, 丁孝华, 等. 新型能源体系建设的背景形势、策略建议和未来展望 [J]. 中国科学院院刊, 2023, 38(8): 1187-1196. DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230320002.
ZHU Y, XU S M, DING X H, et al. Background situation, strategic suggestions and future prospects of construction of new energy system [J]. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2023, 38(8): 1187-1196. DOI: 10.16418/j.issn.1000-3045.20230320002.
- [3] 罗莎莎, 郭经韬, 蔡颖倩, 等. 面向碳中和的广东省电源结构转型分析 [J]. 南方能源建设, 2024, 11(4): 102-110. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.4.10.
LUO S S, GUO J T, CAI Y Q, et al. Analysis on power supply structure transformation towards carbon neutrality in Guangdong [J]. Southern energy construction, 2024, 11(4): 102-110. DOI: 10.16516/j.ceec.2024.4.10.
- [4] 李金铠, 刘守临, 张瑾. 加快新型能源体系建设, 以绿色化、低

- 碳化、生态化推进中国式现代化 [J]. 生态经济, 2023, 39(6): 13-17.
- LI J K, LIU S L, ZHANG J. Accelerating the construction of the new-type energy system and promoting Chinese-style modernization through greenization, low-carbonization, and ecologization [J]. *Ecological economy*, 2023, 39(6): 13-17.
- [5] 王鹏, 王文涛, 辛力. 新型电力系统内涵特征及发展方向 [J]. *中国基础科学*, 2023, 25(3): 23-28, 35. DOI: 10.3969/j.issn.1009-2412.2023.03.003.
- WANG P, WANG W T, XIN L. Connotation characteristics and development direction of new power system [J]. *China basic science*, 2023, 25(3): 23-28, 35. DOI: 10.3969/j.issn.1009-2412.2023.03.003.
- [6] RAPELLA L, FARANDA D, GAETANI M, et al. Climate change on extreme winds already affects off-shore wind power availability in Europe [J]. *Environmental research letters*, 2023, 18(3): 034040. DOI: 10.1088/1748-9326/acbdb2.
- [7] CRADDEN L C, HARRISON G P, CHICK J P. Will climate change impact on wind power development in the UK? [J]. *Climatic change*, 2012, 115(3/4): 837-852. DOI: 10.1007/s10584-012-0486-5.
- [8] 鞠冠章, 王靖然, 崔琛, 等. 极端天气事件对新能源发电和电网运行影响研究 [J]. *智慧电力*, 2022, 50(11): 77-83. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7598.2022.11.013.
- JU G Z, WANG J R, CUI C, et al. Impact of extreme weather events on new energy power generation and power grid operation [J]. *Smart power*, 2022, 50(11): 77-83. DOI: 10.3969/j.issn.1673-7598.2022.11.013.
- [9] 中共中央, 国务院. 中共中央 国务院关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见 [EB/OL]. (2021-10-24) [2024-05-27]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5649728.htm.
- The CPC Central Committee, The State Council. The CPC Central Committee, The State Council opinions on the complete, accurate and comprehensive implementation of the new development concept and the work of carbon peak and carbon neutrality [EB/OL]. (2021-10-24) [2024-05-27]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2021/content_5649728.htm.
- [10] 国家发展改革委, 国家能源局. 国家发展改革委 国家能源局关于印发《“十四五”现代能源体系规划》的通知 [EB/OL]. (2022-01-29) [2024-05-28]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202203/t20220322_1320017.html?code=&state=123.
- National Development and Reform Commission, National Energy Administration. National Development and Reform Commission, *National Energy Administration 14th Five-year plan for modern energy system* [EB/OL]. (2022-01-29) [2024-05-28]. https://www.ndrc.gov.cn/xwdt/tzgg/202203/t20220322_1320017.html?code=&state=123.
- [11] 舒印彪, 陈国平, 贺静波, 等. 构建以新能源为主体的新型电力系统框架研究 [J]. *中国工程科学*, 2021, 23(6): 61-69. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2021.06.003.
- SHU Y B, CHEN G P, HE J B, et al. Building a new electric power system based on new energy sources [J]. *Strategic study of CAE*, 2021, 23(6): 61-69. DOI: 10.15302/J-SSCAE-2021.06.003.
- [12] 高志远, 张晶, 庄卫金, 等. 关于新型电力系统部分特点的思考 [J]. *电力自动化设备*, 2023, 43(6): 137-143, 151. DOI: 10.16081/j.epae.202209007.
- GAO Z Y, ZHANG J, ZHUANG W J, et al. Thoughts on some characteristics of new style power system [J]. *Electric power automation equipment*, 2023, 43(6): 137-143, 151. DOI: 10.16081/j.epae.202209007.
- [13] 郭剑波. 构建新型电力系统, 助力能源体系建设 [J]. *科技报*, 2023, 41(3): 1.
- GUO J B. Building a new power system to help the construction of energy system [J]. *Science & technology review*, 2023, 41(3): 1.
- [14] 周劼英, 张晓, 邵立嵩, 等. 新型电力系统网络安全防护挑战与展望 [J]. *电力系统自动化*, 2023, 47(8): 15-24. DOI: 10.7500/AEPS20220627002.
- ZHOU J Y, ZHANG X, SHAO L S, et al. Challenges and prospects of cyber security protection for new power system [J]. *Automation of electric power systems*, 2023, 47(8): 15-24. DOI: 10.7500/AEPS20220627002.
- [15] 史立山. 构建适应可再生能源资源特点的新型电力体系 [J]. *电网与清洁能源*, 2009, 25(4): 1-4. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3814.2009.04.001.
- SHI L S. Construct a new power system compatible with the characteristics of renewable energy resources [J]. *Power system and clean energy*, 2009, 25(4): 1-4. DOI: 10.3969/j.issn.1674-3814.2009.04.001.
- [16] LEI Y D, WANG Z L, WANG D Y, et al. Co-benefits of carbon neutrality in enhancing and stabilizing solar and wind energy [J]. *Nature climate change*, 2023, 13(7): 693-700. DOI: 10.1038/s41558-023-01692-7.
- [17] CRAIG M T, CARREÑO I L, ROSSOL M, et al. Effects on power system operations of potential changes in wind and solar generation potential under climate change [J]. *Environmental research letters*, 2019, 14(3): 034014. DOI: 10.1088/1748-9326/aaf93b.
- [18] 王彩霞, 时智勇, 梁志峰, 等. 新能源为主体电力系统的需求侧资源利用关键技术及展望 [J]. *电力系统自动化*, 2021, 45(16): 37-48. DOI: 10.7500/AEPS20210323004.
- WANG C X, SHI Z Y, LIANG Z F, et al. Key technologies and prospects of demand-side resource utilization for power systems dominated by renewable energy [J]. *Automation of electric power systems*, 2021, 45(16): 37-48. DOI: 10.7500/AEPS20210323004.
- [19] 田泉, 王斌. 气候变化及极端天气对地区电力设备需求影响研究 [J]. *电子测试*, 2017(15): 127, 119. DOI: 10.16520/j.cnki.

- 1000-8519.2017.15.067.
TIAN Q, WANG B. Research on the impacts of climate change and extreme weather on regional power equipment [J]. *Electronic test*, 2017(15): 127, 119. DOI: [10.16520/j.cnki.1000-8519.2017.15.067](https://doi.org/10.16520/j.cnki.1000-8519.2017.15.067).
- [20] 王越, 丁坤, 冯皓, 等. 基于模糊 C 均值聚类的光伏组件发电量预测 [J]. *广东电力*, 2018, 31(4): 43-48. DOI: [10.3969/j.issn.1007-290X.2018.004.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-290X.2018.004.007).
WANG Y, DING K, FENG H, et al. Forecasting on PV module power generation based on fuzzy C-Means clustering [J]. *Guangdong electric power*, 2018, 31(4): 43-48. DOI: [10.3969/j.issn.1007-290X.2018.004.007](https://doi.org/10.3969/j.issn.1007-290X.2018.004.007).
- [21] 王彬滨, 余江, 张荣, 等. 典型风电场地形大气稳定度对风机出力的影响 [J]. *南方能源建设*, 2024, 11(1): 105-111. DOI: [10.16516/j.ceec.2024.1.11](https://doi.org/10.16516/j.ceec.2024.1.11).
WANG B B, YU J, ZHANG R, et al. Influence of atmospheric stability on wind power output under typical wind field topography [J]. *Southern energy construction*, 2024, 11(1): 105-111. DOI: [10.16516/j.ceec.2024.1.11](https://doi.org/10.16516/j.ceec.2024.1.11).
- [22] 曲晓黎, 尤琦, 李文晴, 等. 气象因子相对危险度在电网用电负荷预测中的应用 [J]. *南方能源建设*, 2024, 11(1): 166-175. DOI: [10.16516/j.ceec.2024.1.17](https://doi.org/10.16516/j.ceec.2024.1.17).
QU X L, YOU Q, LI W Q, et al. Application of relative risk of meteorological factors in power grid electricity load forecasting [J]. *Southern energy construction*, 2024, 11(1): 166-175. DOI: [10.16516/j.ceec.2024.1.17](https://doi.org/10.16516/j.ceec.2024.1.17).
- [23] 任永建, 成丹. 湖北: 成立电力气象服务创新团队 [N]. *中国气象报*, 2018.
REN Y J, CHENG D. Hubei: establishment of electric power meteorological service innovation team [N]. *China Meteorological News*, 2018.
- [24] PANTELI M, MANCARELLA P. Influence of extreme weather and climate change on the resilience of power systems: impacts and possible mitigation strategies [J]. *Electric power systems research*, 2015, 127: 259-270. DOI: [10.1016/j.epsr.2015.06.012](https://doi.org/10.1016/j.epsr.2015.06.012).
- [25] 《新型电力系统发展蓝皮书》编写组. 新型电力系统发展蓝皮书 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2023.
New Electricity System Development Blue Book Compilation Group. *New power system development blue book* [M]. Beijing: China Electric Power Press, 2023.
- [26] 李世峰, 朱国云. “双碳”愿景下的能源转型路径探析 [J]. *南京社会科学*, 2021(12): 48-56. DOI: [10.15937/j.cnki.issn1001-8263.2021.12.006](https://doi.org/10.15937/j.cnki.issn1001-8263.2021.12.006).
LI S F, ZHU G Y. Analysis of solutions to the energy transition, from the perspective of "carbon-peak and carbon-neutralization" [J]. *Nanjing journal of social sciences*, 2021(12): 48-56. DOI: [10.15937/j.cnki.issn1001-8263.2021.12.006](https://doi.org/10.15937/j.cnki.issn1001-8263.2021.12.006).

作者简介:



朱永昶

朱永昶(第一作者)

1992-, 男, 高级工程师, 博士, 主要从事应用气象等方面研究工作(e-mail) zhuyongchangcma@126.com。



叶冬

叶冬(通信作者)

1981-, 男, 正高级工程师, 博士, 主要从事风能太阳能资源评估及预报等方面研究工作(e-mail) yedong@cma.gov.cn。



柳昭辉

柳昭辉(通信作者)

1988-, 男, 工程师, 硕士, 主要从事公共气象服务等方面研究工作(e-mail) liuzhaohui191@163.com。

(责任编辑 孙舒)