

“双碳”目标下新型电力系统 PEST-SWOT 分析

栗奕博¹, 代清钊¹, 杨富麟², 孙冬¹, 张晓春¹, 曾博²

(1. 华北电力大学经济与管理学院, 北京 102206; 2. 华北电力大学电气与工程学院, 北京 102206)

摘要:随着“双碳”目标的提出,中国将加快构建适应新能源比例不断提升的新型电力系统,大力发展低碳能源是实现“双碳”目标的必然路径。首先,研究了“双碳”目标与新型电力系统的耦合关系,分析新型电力系统发展现状;其次,考虑中国新型电力系统所处环境和自身特性,从宏观、微观两个层面,采用 PEST-SWOT 分析方法,全面分析新型电力系统建设过程中政治、经济、社会、技术方面自身的优劣势,以及面临的机遇与威胁;最后,基于上述分析,在不同发展战略下提出针对性政策建议和有效措施,为新型电力系统建设提供参考和借鉴。

关键词:“双碳”目标; 新型电力系统; PEST-SWOT 分析; 发展战略

中图分类号: TM 71 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2024)01-0035-08

DOI: 10.16527/j.issn.1003-6954.20240106

PEST-SWOT Analysis of New Power System under "Dual Carbon" Goal

LI Yibo¹, DAI Qingzhao¹, YANG Fulin², SUN Dong¹, ZHANG Xiaochun¹, ZENG Bo²

(1. School of Economics and Management, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. School of Electrical and Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China)

Abstract: With the proposal of "dual carbon" goal, China will accelerate the construction of new power system that adapts to the increasing proportion of new energy, and vigorously developing low-carbon energy is an inevitable path to achieve the "dual carbon" goal. Firstly, the coupling relationship between "dual carbon" goal and new power system is studied, and the development of new power system is analyzed. Secondly, considering the environment and its own characteristics of new power system in China, from the macro and micro levels, the PEST-SWOT analysis method is adopted to comprehensively analyze its own advantages and disadvantages in politics, economy, society and technologies in the construction of new power system, as well as the opportunities and threats faced. Finally, based on the above analysis, targeted policy suggestions and effective measures are put forward under different development strategies to provide a reference for the construction of new power systems.

Key words: "dual carbon" goal; new power system; PEST-SWOT analysis; development strategy

0 引言

2020年,中国宣布了2030年实现碳达峰、2060年实现碳中和的目标愿景^[1]。现阶段,“双碳”目标实现面临着减排幅度大、转型任务重、时间窗口紧等诸多挑战,中国碳排放主要来源于电力、建筑、工业生产、交通运输、农业等领域,其中能源电力比例最

基金项目: 国网四川省电力公司经济技术研究院、新型电力系统研究院科技项目“双碳目标下四川新型电力系统建设理论方法研究”(SGSCJY00NYJS2200058)

大,为40%左右^[2]。2021年3月15日,习近平总书记在中央财经委员会第九次会议上提出深化电力体制改革,构建以新能源为主体的新型电力系统^[3]。实现“双碳”目标需要进行能源变革、技术变革、产业变革和社会变革,能源电力行业既要保障供应安全,满足经济社会发展需要,又要实现全面绿色转型^[4]。随着“新电气化”引领终端电能替代加速推进,绿色消费比重将持续提升,电力转型发展对于实现“双碳”目标将起到决定性作用^[5]。

现阶段,针对“双碳”背景下新型电力系统的研究

究主要集中在理论研究和应用研究两个方面。在理论研究方面,文献[6]分析了电力系统转型现状下新型电力系统的内涵、构建原则与思路,并合理划分新型电力系统的发展阶段,针对性提出各阶段的发展建议。文献[7]分析了制约新型电力系统发展的难点以及各利益相关者关系,提出了构建新型电力系统的促进机制。文献[8]结合中国新能源发展现状,分析了安全稳定、优化调度、送出消纳等多重挑战,从源侧、网侧、荷侧提出构建以新能源为主体的新型电力系统发展路径。文献[9]从碳计量与碳追踪、碳规划与碳轨迹、碳减排与碳优化、碳市场与碳交易 4 个方面提出了新型电力系统“碳视角”的研究框架。文献[10]从能源供应的经济和政策不确定性及低碳转型带来的能源供应安全两个方面分析长期规划模型面临的挑战。在应用研究领域,文献[11]将电力系统不确定性调度模型分为 Wait-and-See 和 Here-and-Now 两种类型,归纳总结对应求解方法,探讨了不确定优化调度在新型电力系统中的应用。文献[12]提出了新型电力系统背景下电力设备高效运行和智能维护的基本特征和技术体系,详细阐述了电力设备数字化和智能化、新型电网设备状态评估等关键技术研究现状和进展,探讨了研究和应用中还需要解决的主要问题。文献[13]提出一种适用新型电力系统需求的储能多目标协同调控方法,可实现多时间尺度上功率和能量的高效平衡,为利用储能技术应对新型电力系统的关键挑战提供支撑。

可以看出,现阶段研究方向主要集中在新型电力系统发展阶段及路径、总体架构、应用场景等,从源网荷储、机制体制等方面对新型电力系统发展路径进行规划;较少有结合新形势新政策下,从宏观和微观层面对新型电力系统进行具体分析,并从政策、经济、社会、技术等多维度提出对应发展策略。鉴于此,通过结合“双碳”目标愿景,研究“双碳”目标与新型电力系统的耦合关系,阐述新型电力系统发展现状,并运用 PEST-SWOT 分析方法,全方位分析新型电力系统发展的优势、劣势、机遇和挑战。在此基础上,为中国新型电力系统发展提出针对性政策建议和具体措施。

1 “双碳”目标下新型电力系统发展现状

1.1 新型电力系统助力实现“双碳”目标

“双碳”目标与新型电力系统之间存在着紧密联系,“双碳”为新型电力系统构建指明了发展方向,在实现“双碳”目标的过程中,电力行业作为主力,能源行业作为主要战场。为实现“双碳”目标,需提升非化石能源消费比重,保证未来 5 年内每年递增 1%,在 2035 年,满足新增电量的 80% 均来自非化石能源发电。考虑到新能源未来会逐渐转变为主要能源,需要进行技术攻关和体制改革,并采取有效措施应对。新型电力系统的构建是一项长期且复杂的系统工程,在不同的发展阶段均有所差异,随着实现“双碳”目标的进程而有所变化。未来,新型电力系统将以新能源为主体,以数字信息技术为驱动,在保障电力供应安全、绿色可持续发展等方面发挥重要作用。

与之对应,新型电力系统则可以看作实现“双碳”目标的枢纽平台。新型电力系统是以确保能源电力安全为基本前提,以满足经济社会高质量发展的电力需求为首要目标,以大规模新能源供给消纳体系建设为主线任务,以技术创新和体制机制创新为基础保障的新时代电力系统^[14],是践行新形势下能源安全战略的重要举措,是实现“双碳”目标的关键核心。构建新型电力系统,要从两端发力推进“两个替代”,即电力生产侧实施清洁替代、能源消费侧实施电能替代,实现源端减碳、终端脱碳。清洁低碳发展已成为未来趋势,新型电力系统是对传统电力系统的继承与发展,其基础理论、技术产业和体制机制面临新的变革,需要不断推进新型电力系统构建和技术发展,为实现“双碳”目标做出更大贡献。

1.2 新型电力系统发展现状

现阶段,中国新型电力系统正处于加速转型阶段,电力供应保障能力稳步提升,电力技术创新能力不断加强,电力体制改革攻坚成效显著,电力绿色低碳转型也在不断加速进程。以新型电力系统的转变、继承与进化为基础,通过新、旧电力系统的对比,从源、网、荷、储各环节分析新型电力系统的发展变化过程。

1) 从供给侧来看,传统电力系统主要以化石能

源为主。随着“双碳”目标等政策的提出,新型电力系统将发展成为以新能源为主体、以煤电等化石能源为辅助的新型电力系统。新型电力系统不但强调新能源的主体性,更倾向整体性,这不仅仅是“量”的改进,还会带来“质”的变化。以新能源为主体,这意味着未来新能源发电装机将占据主导地位。

2)从电网侧来看,随着新能源的大量并网,由于其难预测、波动大、易受天气和气候影响等特点,给电网的安全稳定带来巨大的冲击。传统电力系统一般只注重电网的安全稳定运行,新型电力系统还需要注重供电可靠性,提升调频、调压能力,挖掘灵活性资源等,以适应新能源大量接入带来的环境变化。

3)从负荷侧来看,随着社会的不断发展,社会总用电量不断增加。随着电能替代工作推进,多元化用电设备不断涌现,第三产业和居民的用电负荷占比不断攀升,新型电力系统负荷特性向柔性、生产与消费兼具型转变。

4)从储能侧来看,因电力即产即用的特性,任何时候生产量和需求量都需要严格匹配。以新能源为主体的电力系统因风光等新能源出力的不确定性会影响电力系统实时电力电量平衡,储能可有效解决新能源出力与用电负荷时空不匹配的问题,实现新能源充分消纳利用。在新型电力系统推进过程中,集中式和分布式储能需结合发展。当前,新能源发展呈现出集中式与分布式并举的态势,新型电力系统的网架结构将向“主干网架+中小型电网及微型电网”柔性互联形态发展,与此相适应,储能行业应推动集中式和分布式储能相结合发展。

2 新型电力系统 PEST-SWOT 分析

2.1 PEST-SWOT 方法理论

PEST-SWOT 方法是一种经过整合和创新后的战略分析方法,PEST 分析是指对目标所处的宏观环境进行分析,包括政治(politics)、经济(economy)、社会(society)、技术(technology)4个方面;SWOT 分析是对目标所处微观环境进行分析,包括优势(strengths)、劣势(weaknesses)、机遇(opportunities)、威胁(threats)4个方面^[15]。将两种分析方法结合,从整体角度运用系统思维对目标进行详细分析,得到政治、经济、社会、技术4个方面存在的内部

优势和劣势,以及现阶段面临的外部机遇和威胁,通过分析得到针对性较强的发展策略。

2.2 PEST-SWOT 模型分析

下面从宏观、微观环境两个层次对中国新型电力系统领域进行探讨,分析新型电力系统发展现状,并提出对应发展战略和政策建议。建立 PEST-SWOT 分析模型,结果如表 1 所示。

表 1 新型电力系统 PEST-SWOT 分析矩阵

PEST-SWOT	优势(S)	劣势(W)	机遇(O)	威胁(T)
政治(P)	政府加大力度支持新型电力系统发展	新型电力系统体制机制亟需完善	国家能源局发布《新型电力系统发展蓝皮书》	电力市场建设滞后阻碍电力体制改革
经济(E)	节能高效、安全可靠	灵活性资源成本上升	市场交易机制与体系建设不断完善	缺乏市场化电价机制
社会(S)	用户需求催动下的电力系统多元化发展	能源分布不均衡	终端用能领域电气化水平提升	电力供应安全形势愈发严峻
技术(T)	电力电子技术和数字化技术在能源电力系统得到广泛应用	科技创新能力亟需提升	新型电力系统技术正在加速演变	系统调节能力不足制约发展

2.3 政治环境(P)

2.3.1 优势(S):政府加大力度支持新型电力系统发展

近年来,国家能源局制定 2022 年能源工作“路线图”,提出提升电力系统调节能力;国家发展改革委发布《关于完善能源绿色低碳转型体制机制和政策措施的意见》,提出加强新型电力系统顶层设计。2023 年 7 月份,全国出台能源电力相关政策合计 43 条,8 月份达到 63 条,涵盖绿证、电力消纳、电力安全、能源低碳技术等方面。可以看出政府层面大力支持新型电力系统发展建设,明确为新型电力系统发展方向提供指导。同时各省市积极配合响应国家号召,着力构建省级新型电力系统。在行业内部,国家电网、南方电网也相继公布构建新型电力系统的行动指南并制定发展路径。

2.3.2 劣势(W):新型电力系统体制机制亟需完善

现阶段中国电力体制改革只取得了阶段性成果,电力体制改革并不顺利,电价平衡机制、煤电合作机制、新能源管理体制等问题不断涌现。随着电力体制改革逐步深入,矛盾逐渐显露,电力市场自身不协调和不平衡的问题仍难以完全解决,同时

相关领域部分既定方针政策尚未实现。

2.3.3 机遇(O):《新型电力系统发展蓝皮书》发布

为全面贯彻落实二十大精神,近日国家能源局发布《新型电力系统发展蓝皮书》,提出了整体架构和重点任务。蓝皮书为下个阶段新型电力系统发展指明了方向,随着相关政策方案和体制机制逐步健全,可以预料到未来新型电力系统将处于良好的政策环境中,迎来新的发展机遇。

2.3.4 威胁(T):电力市场法制建设滞后阻碍电力体制改革

英国、美国等发达国家电力市场化改革的关键因素之一在于通过立法提供制度保障。现阶段中国市场经济发展迅速,电力体制改革也逐渐深入,但法制建设却逐步滞后,《电力法》作为基础法直到现在仍未修订完善,已经成为电力体制改革不可避免的一处阻碍。

2.4 经济环境(E)

2.4.1 优势(S):节能高效、安全可靠

现阶段中国正处于经济转型阶段,经济结构持续优化,经济发展更加注重效率和质量,注重对低碳清洁能源的开发利用,这与新型电力系统的特点相符合。新型电力系统的经济性,体现在节能高效、安全可靠等方面。首先,新型电力系统与传统电力系统相比,拥有更高效的节能功能,可以实现较大范围内的额外节能,从而减少能源消耗与碳排放,带来一定经济效益。此外,新型电力系统拥有智能化管理功能,可以最大限度地提高电力系统的运行效率,可以实现自动调度和有效的发电利用,确保电力系统的可靠运行,节约相关电力企业的运行管理成本。

2.4.2 劣势(W):灵活性资源成本上升

随着技术进步和规模化发展,风电、光伏上网环节已经可与化石能源竞争,但随着新能源比例的增大,系统平衡成本、安全保障成本将成为电力系统的成本增量。近年来,中国用电负荷峰谷差率持续扩大。结合国网能源研究院近期对“十四五”的相关分析,国网经营区的负荷增速将高于用电量增速,到2025年,最大预测日峰谷差将达到400GW,最大日峰谷差率增至35%。随着新能源渗透率的提升,系统需要增加更多的灵活性资源来满足运行和消纳要求;同时还需要增加电压支撑、惯量支撑和系统备用等,来应对高比例新能源发电并网带来的电压、频率以及特殊天气条件下的供电安全问题,可以说灵活

性资源成本上升成为了制约新型电力系统发展的关键性问题。

2.4.3 机遇(O):市场交易机制与体系建设不断完善

在电力体制改革背景下,依托国家政策支持,中国电力市场建设稳步推进,绿色电力交易机制和市场体系建设初步形成,电力市场体系向多层次方向发展,中长期和辅助服务市场实现全覆盖。与此同时电力市场化交易机制也不断完善,充分发挥了市场资源配置的决定性作用。

2.4.4 威胁(T):缺乏市场化电价机制

近些年来,电价在大多数情况下均由政府确定,显然政府定价模式不能体现电力企业的真实成本,也很难根据市场供需变化进行动态调整,不利于电力企业发展。如何建立完全市场化下的电价机制,由市场来主导电价,是电力市场化建设面临的一大难题。

2.5 社会环境(S)

2.5.1 优势(S):用户需求催动电力系统多元化发展

随着社会不断进步,电力相关应用领域也随之逐渐拓展,用电需求也变得复杂多样,个性化和低碳化成为了新的消费理念,催动电力系统多元化发展,产业链和业务模式不断演变,从而满足多样化的用户用能需求。

2.5.2 劣势(W):能源分布不均衡

从中国的能源资源分布情况来看,西部地区以及东北地区地大物博,风光等新能源资源禀赋条件良好。据资料显示,86%的风能资源、96%的太阳能资源以及81%的水能资源均分布在上述区域。而中东部地区能源分布较少;但是人口密集和工业生产区域较多,用能需求较大,占据全国约2/3的用电量,因此导致了能源分布的不均衡问题。西北地区的大型新能源基地与能源负荷需求大的区域相距较远,电能难以就地消纳,因此导致弃风、弃光现象的发生,制约新能源的发展。

2.5.3 机遇(O):终端用能领域电气化水平提升

随着社会的不断发展,总用电量不断增加,多元化用电设备不断涌现,第三产业和居民用电负荷不断攀升,负荷特性逐步向柔性、生产与消费兼具型转变,终端用能领域电气化水平不断提升,以电代油、以电代煤等方式能够帮助电力系统提升新能源消纳水平,为新型电力系统带来新的发展契机。

2.5.4 威胁(T):电力供应安全形势愈发严峻

现阶段国内能源供应相对紧张,煤炭、天然气等

能源价格持续上涨,再加上新能源本身出力的不确定性,导致部分地区电力供应紧张。未来一段时间,中国电力需求仍将持续增长,体现尖峰负荷特征。同时电力供应的可靠替代仍未形成,届时电力供应安全形势将愈发严峻,面临“双高”“双峰”等挑战,保障电力可靠供应难度大幅增加,导致部分时段部分地区电力供需紧张。

2.6 技术环境(T)

2.6.1 优势(S):电力电子技术和数字化技术的广泛应用

电力电子技术和数字化技术在能源电力系统日益广泛应用并深度融合,在此背景下,新能源、分布式电源、微电网纷纷加快发展进程。与此同时,电力技术水平持续提升,清洁能源装备制造产业链基本完备,一大批新技术、新模式、新业态蓬勃兴起。

2.6.2 劣势(W):科技创新能力亟需提升

现阶段电力核心技术装备国产化水平相比国外先进水平仍然处于落后状态,科技创新能力亟需提升。中国在能源电力领域已形成完整供应链和产业链,但同其他能源电力科技强国相比仍存在一些不足,新型核电、高温材料等核心技术装备长期被国外垄断,支撑新型电力系统构建的“卡脖子”技术和核心装备亟需攻关突破。

2.6.3 机遇(O):新型电力系统相关技术加速演变

能源电力与信息技术的深度融合,将为能源互联网产业的发展提供技术支撑。在电网科技创新领域,相关技术正在加速演变发展。未来新型电力系统要加快开展新能源友好并网、电力系统仿真分析及安全高效运行等关键技术装备的集中攻关和示范试验,以支撑大规模高比例新能源并网、保障电网安全稳定运行和促进电网数字化转型升级,为促进相关产业升级与开拓国际市场带来更多推动与支持^[16]。

2.6.4 威胁(T):系统调节能力不足制约发展

随着可再生能源的大量接入,电力系统平衡调节能力亟待增强。新能源间歇性等特点能够快速消耗电力系统灵活调节资源,使电力系统调节能力面临掣肘。全国新能源利用率总体保持较高水平,但局部地区仍存在弃风、弃光现象,2023年1—4月,蒙东地区弃风率为14.1%,青海弃光率为5.4%。未来,新能源大规模高比例发展对系统调节能力提出了巨大需求,区域性新能源高效消纳风险增大,制约新能源高效利用,阻碍了新型电力系统的发展。

3 新型电力系统发展战略

通过PEST-SWOT分析,可以看出新型电力系统发展过程中在政治、经济、社会和技术环境下,存在着优势和机遇,但同时也面临着诸多难题和挑战。下面遵循利用优势、克服劣势、把握机遇、化解威胁的原则,面对不同情境提出针对性发展战略,为构建新型电力系统提供理论支撑与实践指导。对应发展战略及应对措施如图1所示。

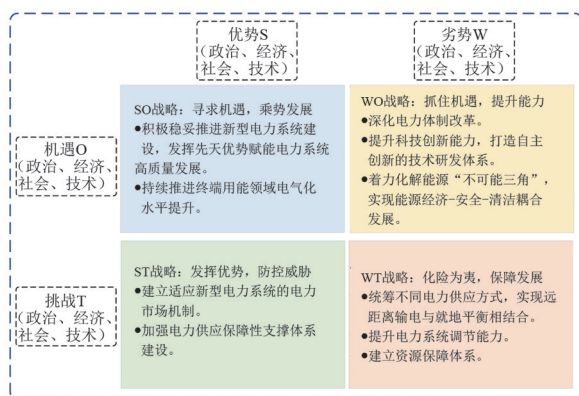


图 1 基于 PEST-SWOT 分析的新型电力系统发展战略

3.1 SO 战略: 寻求机遇, 乘势发展

在 SO 战略下, 内外部形势良好, 应采取积极的发展战略, 利用政策、技术等现有优势条件, 扬长避短, 同时抓住市场交易体系不断完善等发展机遇并寻求现有形势下新的发展机遇。

1) 积极稳妥推进新型电力系统建设, 发挥先天优势赋能电力系统高质量发展

现阶段新型电力系统发展具备优势, 同时也面临着诸多发展机遇。随着相关政策方案和体制机制逐步健全, 可以预料到未来新型电力系统将具备良好的政策前景。政府承担着制定新型电力系统发展战略的重要责任, 同时政府强有力的资金支持也是新型电力系统建设项目落地的关键。新形势下, 应由中央政府设计新型电力系统建设的总体框架, 地方政府制定适合自身资源禀赋及发展要求的地区差异化发展战略。政府层面应同时围绕高比例可再生能源、源网荷储互动环境下的电力系统安全稳定运行, 远近结合、科学谋划电力系统转型的发展方向 and 路径, 统筹规划、建设、运行、市场、科研等各项工作, 建立稳定的管理体系。

2) 持续推进终端用能领域电气化水平提升

为了实现“双碳”目标,需要改变消费者的能源消费习惯,提升电能占终端能源消费比例。预计到 2025 年,电能占终端能源消费比例要达到 35% 以上,力求减少 4.8×10^8 t 左右的二氧化碳排放量。现阶段,需要积极挖掘需求侧灵活性资源潜力,推进智慧能源城市、智慧能源小区建设;提高用户侧电制氢、电供暖、电动汽车充电等设施负荷灵活性;鼓励用户侧以电代替其他能源,利用市场手段调整用电需求,抑制不合理的能源消费。

3.2 WO 战略:抓住机遇,提升能力

在 WO 战略下,自身处于劣势,但同时外部存在发展机遇,新型电力系统应在弥补自身劣势的同时,抓住外部机遇,加快发展进程。

1) 深化电力体制改革

针对中国电力系统体制机制现存问题,以适应新型电力系统为目标导向,深化电力体制改革。首先,要健全统一多层次市场体系,推进省、区、市以及区域电力市场建设,加强不同类型市场间的衔接程度;其次,加强交易品种之间衔接,完善中长期和辅助服务市场,积极推进现货市场建设;然后,推进市场主体多元化发展,制定并完善新兴市场主体参与市场机制体系;最后,推进治理能力与治理体系现代化,加强电力统筹规划和电力监管,持续加快电力法律法规修订工作。

2) 提升科技创新能力,打造自主创新的技术研发体系

高质量建设国家实验室,充分发挥大型国有企业技术创新龙头作用,建立工程技术研究中心、国家能源研发创新平台,完善科技创新考核和激励机制,支撑新型电力系统建设所需的关键技术和“卡脖子”技术攻关研发。强化科技研发的多向整合,推进跨领域、跨行业协同创新,推进新型电力系统与其他领域“跨界融合”的发展。

3) 着力化解能源“不可能三角”,实现能源经济-安全-清洁耦合发展

安全性、经济性、清洁性作为能源的重要属性,三者之间属于辩证统一的关系。“双碳”目标下,安全稳定、经济可行、清洁低碳是实现可持续发展的关键方向,决定了“不可能三角”问题或将长期存在。为实现能源经济-安全-清洁的耦合发展,首先,需要根据不同时期的发展阶段和政策目标协调处理三者关系,依靠相关技术进步和体制机制的创新,见招

拆招,先解决安全性和经济性问题,再解决低碳环保问题,实现不断提升破解相关难题;然后,需要着重构建现代能源体系,强化供应链的安全与稳定,提升能源产业链现代化水平,同时推动能源结构绿色低碳转型;最后,也需要有为政府和有效市场引领,发挥好政府政策引导作用,通过市场化高效配置能源。

3.3 ST 战略:发挥优势,防控威胁

在 ST 战略下,新型电力系统的发展应充分利用自身优势,同时寻找新的发展机遇,防控外部威胁。

1) 建立适应新型电力系统的电力市场机制

现阶段绿色电力交易机制和市场体系建设持续发展,应抓住当前机遇,不断完善新型电力系统中的市场机制。积极探索不同市场类型和交易机制的差异,在电能市场建设方面,设计完善双边交易规则与跨区域交易规则,研究现货市场交易机制;在辅助服务市场建设方面,完善需求侧响应机制;在碳市场建设方面,丰富碳市场交易品种和交易方式,设计合理的碳市场机制。同时稳步推进各项电价改革,提高消费者积极性,优化市场结构,创造出公平透明的电价市场环境。

2) 加强电力供应保障性支撑体系建设

面对电力供应安全形势愈发严峻的威胁,应加强电力供应保障性支撑体系建设,统筹绿色与安全,推动保障性支撑电源建设,大力发展常规水电、气电、核电,推动煤电清洁低碳发展、优化发展布局,依托技术创新提升新能源可靠替代能力,构建多元化电力供应体系。

3.4 WT 战略:化险为夷,保障发展

在 WT 战略下,内外部形势较为严峻,需要在解决中国能源分布不平衡等劣势、提升系统平衡调节能力规避风险的同时,采取政策、技术等保障措施保证新型电力系统的正常发展。

1) 统筹不同电力供应方式,实现远距离输电与就地平衡相结合

中国现阶段能源分布不均衡的问题严重阻碍了新能源的发展,导致部分地区弃风、弃光现象频发。在此背景下西北地区需要提升新能源就地消纳水平,同时不断优化输电通道配套电源结构,持续提升清洁能源电量比例。东、中部地区要加强受端交流网架建设,为跨省跨区通道提供坚强网架支撑,依托省区外电力与本地电源共同满足新增电力需求,最终实现“电从远方来”与“电从身边来”相辅相成,远距离输电与就地平衡相结合。

2) 提升电力系统平衡调节能力

提升系统调节能力是实现新能源大规模消纳的必要条件。未来较长一段时间内,结合潜力规模和经济性来看,应以火电灵活性改造、抽水蓄能电站、电化学储能、可调节负荷为首次,加快提升电力系统平衡调节能力。

3) 建立资源保障体系

全面推进新型电力系统建设必须基于完备的资源保障体系,需要从政策、资金及技术3个方面考虑。在政策保障方面,需要从规划建设、运行消纳等方面加强新能源政策体系顶层设计,完善电力市场机制体系,完善先进高效的电力行业治理体系,完善政策保障;在资金保障方面,加快新能源补贴退坡,推动新能源平价上网,完善投融资和财税政策体系;在技术保障方面,应推动电力系统源网荷储各环节技术水平升级,重点从源网荷储各环节挖掘技术发展潜力,推动新型电力系统快速发展。

4 结 论

落实“双碳”目标,构建新型电力系统是时代赋予的责任和使命,电力行业责任重大。上面深入研究了新型电力系统发展现状以及内涵,并基于PEST-SWOT理论从宏观、微观环境两个层次对中国新型电力系统领域进行了分析探讨,研究发现新型电力系统内部和外部环境既有优势也有劣势,在进行策略抉择时,应充分发挥其优势,弥补自身劣势,防控或消除其负面效应,促进新型电力系统稳步发展。

整体来看,新型电力系统构建需要考虑内外部环境,从政治、经济、社会、技术多层次共同推进。在政治层面,需要完善相关政策方案和体制机制,发挥政府政策引领作用,推动源网荷储规划同步进行,远近结合、科学谋划电力系统转型的发展方向和路径;在经济层面,需要深化电力体制改革,推动构建全国统一电力市场体系,完善中长期和辅助服务市场,积极推进现货市场建设,通过市场化高效配置能源,体现经济性;在社会层面,应统筹不同电力供应方式,实现远距离输电与就地平衡相结合,解决能源分布不均衡问题,同时加强电力供应保障性支撑体系建设,构建多元化电力供应体系;在技术层面,应提升科技创新能力,打造自主创新的技术研发体系,支撑新型电力系统建设所需的关键技术和“卡脖子”技

术攻关研发。此外,考虑到新型电力系统的建设过程是一项长期复杂的系统工程,在后续研究中应继续深入研究电力系统灵活性资源、新能源大基地特高压建设等新领域,从更多角度深入分析研判新型电力系统发展路径。

参考文献

- [1] 庄贵阳.我国实现“双碳”目标面临的挑战及对策[J].人民论坛,2021(18):50-53.
- [2] 张英杰.构建以新能源为主体的新型电力系统的发展路径研究[J].电工技术,2022(18):172-174.
- [3] 韩肖清,李廷钧,张东霞,等.双碳目标下的新型电力系统规划新问题及关键技术[J].高电压技术,2021,47(9):3036-3046.
- [4] 黄雨涵,丁涛,李雨婷,等.碳中和背景下能源低碳化技术综述及对新型电力系统发展的启示[J].中国电机工程学报,2021,41(S1):28-51.
- [5] 张智刚,康重庆.碳中和目标下构建新型电力系统的挑战与展望[J].中国电机工程学报,2022,42(8):2806-2819.
- [6] 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.
- [7] 赵剑波,王蕾.“十四五”构建以新能源为主体的新型电力系统[J].中国能源,2021,43(5):17-21.
- [8] 张金平,周强,王定美,等.“双碳”目标下新型电力系统发展路径研究[J].华电技术,2021,43(12):46-51.
- [9] 康重庆,杜尔顺,李姚旺,等.新型电力系统的“碳视角”:科学问题与研究框架[J].电网技术,2022,46(3):821-833.
- [10] 黎博,陈民铀,钟海旺,等.高比例可再生能源新型电力系统长期规划综述[J].中国电机工程学报,2023,43(2):555-581.
- [11] 黎静华,谢育天,曾鸿宇,等.不确定优化调度研究综述及其在新型电力系统中的应用探讨[J].高电压技术,2022,48(9):3447-3464.
- [12] 盛戈峰,钱勇,罗林根,等.面向新型电力系统的电力设备运行维护关键技术及其应用展望[J].高电压技术,2021,47(9):3072-3084.
- [13] 谢小荣,马宁嘉,刘威,等.新型电力系统中储能应用功能的综述与展望[J].中国电机工程学报,2023,43(1):158-169.
- [14] 周劭英,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.
- [15] HUANG Yanling, CHEN Jialin. Analysis of Development

of "Blockchain Technology + Supply Chain Finance" Based on PEST-SWOT Model[J]. Academic Journal of Business & Management, 2023, 5(8): 27-33.

- [16] 张传远, 赵久勇, 王光磊, 等. 新型电力系统的新能源挑战和数字化技术研究[J]. 科技与创新, 2023(10): 7-10.

作者简介:

栗奕博(1999), 男, 硕士研究生, 研究方向为综合能源、电力市场;

(上接第 14 页)

- [10] YANG Lin, JIANG Xiaolan, HAO Yanpeng, et al. Recognition of natural ice types on in-service glass insulators based on texture feature descriptor[J]. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 2017, 24(1): 535-542.
- [11] 张焯, 冯玲, 穆靖宇, 等. 输电线路绝缘子覆冰厚度图像识别算法[J]. 电力系统自动化, 2016, 40(21): 195-202.
- [12] 林刚, 王波, 彭辉, 等. 基于强泛化卷积神经网络的输电线路图像覆冰厚度辨识[J]. 中国电机工程学报, 2018, 38(11): 3393-3401.
- [13] WANG Bo, MA Fuqi, GE Leijiao, et al. Icing-EdgeNet: a pruning lightweight edge intelligent method of discriminative driving channel for ice thickness of transmission lines [J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 2021, 70: 1-12
- [14] HE Lifu, LUO Jing, ZHOU Xiudong, A novel deep learning model for transmission line icing thickness prediction[C]. 2021 IEEE 5th Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference (IAEAC), IEEE, 2021: 733-738.
- [15] DAN Handong, HU Bo, SHEN Xiang, et al, Prediction model for transmission line icing thickness based on ISSA-WNN[C]. 2022 5th International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE), IEEE, 2022: 338-342.
- [16] SUN Wei, WANG Caifei. Staged icing forecasting of power transmission lines based on icing cycle and improved extreme learning machine [J]. Journal of Cleaner Production, 2019, 208: 1384-1392.
- [17] 张思建, 林志赞, 颜钢锋. 基于电容传感器的架空输电线覆冰厚度检测方法[J]. 电力系统自动化, 2011, 35(17): 99-102.
- [18] 马国明, 李成榕, 蒋建, 等. 架空输电线路覆冰监测用光纤光栅风速传感器的研制[J]. 中国电机工程学报,

代清钊(1998), 男, 硕士研究生, 研究方向为能源金融;
杨富麟(1998), 男, 硕士研究生, 研究方向为储能;
孙冬(1973), 女, 研究生导师, 副教授, 研究方向为能源金融;

张晓春(1972), 女, 研究生导师, 副教授, 研究方向为能源经济及可持续发展、电力市场理论与应用;

曾博(1987), 男, 博士生导师, 副教授, 研究方向为综合能源系统优化规划、能源互联网等。

(收稿日期: 2023-06-09)

2011, 31(13): 128-134.

- [19] BARAT Adil, GUO Qingrui, FAN Fangjun, et. al. Analysis and design of transmission line icing monitoring system based on optical fiber sensing[C]. 2022 IEEE 10th Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC), IEEE, 2022: 1846-1849.
- [20] WEI Jie, HAO Yanpeng, FU Yuan, et al. Experimental study on glaze icing detection of 110 kV composite insulators using fiber Bragg gratings[J]. Sensors, 2020, 20(7): 1834.
- [21] HE Ling, YI Jizhao, WANG Yanming, et al. Application research of transmission line icing monitoring based on optical fiber sensing technology[C]. 2022 IEEE 6th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC), IEEE, 2022: 1838-1842.
- [22] SIEGL A, NEUMAYER M, BRETTERKLIEBER T. Fibre optical ice sensing: sensor model and icing experiments for different ice types[C] // 2020 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), IEEE, 2020. DOI: 10.1109/I2MTC43012.2020.9128617.
- [23] 全国裸电线标准化技术委员会. 圆线同心绞架空导线: GB/T 1179—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

作者简介:

吴天宝(1986), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为输变电运检技术;

马小敏(1988), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电网智能运检技术;

刘益岑(1986), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为高电压与绝缘;

刘小江(1986), 男, 硕士, 高级工程师, 研究方向为高电压与绝缘;

庄杰(1976), 男, 博士, 副教授, 研究方向为嵌入式 AI 系统、通信与信号处理。

(收稿日期: 2023-06-02)