

新型电力系统形态量化推演方法的总体 框架与功能设计

李健, 张钧, 韩新阳, 靳晓凌

(国网能源研究院有限公司, 北京 100192)

摘要: 新型电力系统形态推演研究是超前研判中国能源电力发展的重要内容, 对统筹布局源网荷储各要素具有重要指导意义。对新型电力系统形态的量化推演方法进行了研究, 提出了该方法的总体框架, 并设计了主要功能。首先, 阐述新型电力系统形态的发展逻辑, 提出新型电力系统形态的主要驱动力包括模式创新、技术创新和机制创新, 并对其推动作用进行了分析。在此基础上, 提出新型电力系统形态量化推演的计算流程, 主要包括驱动力分析、形态分析、综合评价 3 个环节, 实现形态推演和政策机制需求建议推演两大功能。其次, 将新型电力系统形态推演分析分为电源、输电网、配电网、负荷、储能等要素的形态分析, 并对各要素形态推演分析的功能进行了设计。最后, 从绿色、安全、经济、民生 4 个维度, 设计了新型电力系统形态的综合评价功能。研究成果能够指导新型电力系统形态分析相关模型工具设计开发, 为新型电力系统发展量化推演研究提供坚实支撑。

关键词: 新型电力系统; 形态推演; 驱动力分析; 源网荷储; 综合评价

DOI: 10.11930/j.issn.1004-9649.202411029

0 引言

新型电力系统是践行“双碳”战略的主力军, 对长远保障中国能源安全、应对好电力转型挑战具有重要意义^[1-2]。2023 年 7 月, 习近平总书记在中央全面深化改革委员会第二次会议上强调, “加快构建清洁低碳、安全充裕、经济高效、供需协同、灵活智能的新型电力系统”, 为新型电力系统高质量构建指明了方向。为扎实贯彻落实党中央要求、全面服务国家战略, 探讨新型电力系统形态成为行业研究热点。文献[3]提出电力系统形态由“源网荷”三要素向“源网荷储”四要素转变, 电网多种新技术形态并存。文献[4]从技术、网络、平衡 3 个方面分析了新型电力系统形态, 提出了循序渐进构建新型电力系统的发展路径。文献[5]对新型电力系统向以电力为平台、电网为枢纽核心的多能源、多层次综合能源

系统的转变过程进行了研究, 并就转变过程中面临的挑战提出了应对策略。文献[6]认为新型电力系统形态发展是供给侧、电网侧、消费侧、关键技术、市场和体制机制等的渐进式演变过程。文献[7]提出从生产结构、运行机理、控制机理 3 个方面, 构建新型电力系统发展研究仿真体系。文献[8]提出新型电力系统电源接入组网形态从单一的工频交流汇集接入电网, 逐步向交流汇集组网、直流汇集组网接入等多种形态过渡, 输电网络形态将从交流骨干网架支撑、直流远距离输送为主过渡到交流电网与直流组网互联。文献[9]将中国配电网形态分为城市、园区、农村 3 类, 并从网络架构、技术管控、商业运营等方面分析了配电网形态演进的驱动力和关键环节。文献[10]提出新型电力系统是“源网荷储碳数智治链”一体化融合创新发展的巨大经济社会环境综合系统工程, 顶层设计上需要强化系统观念, 规划路径上需要考虑电力与产业、技术、行业间的协同规划。文献[11]认为分布式电源接入规模大幅增长, 电动汽车等技术被作为终端能源消费清洁化的重要手段加以推广, 引发配电网形态正在经历巨大变革。文献[12]从控制形态与设备形态两方面提出

收稿日期: 2024-11-11; **修回日期:** 2025-02-05。

基金项目: 国网能源研究院有限公司 2023 年实验条件建设项目(新型电力系统实验室新型电力系统战略推演及安全分析模块开发, 51670023000B)。

了配电系统演化规律。文献[13]从各类电源电量占比、电力装机占比、能源分布、系统运行特性、新能源并网方式、配套储能作用方式等6个方面,对未来电力系统物理形态进行了分析。文献[14-15]系统分析了影响新型电力系统发展的关键技术。文献[16]提出未来电网形态由单向逐级输电为主的传统电网,向包括交直流混联大电网、微电网、局部直流电网和分布式电源、可调节负荷在内的能源互联网转变,呈现大电网与新能源形态协同融合发展态势。可以看出,业内研究者从不同维度对新型电力系统形态进行了深入阐述,然而随着新型电力系统构建深入推进,还需要研究其形态的量化分析方法,推动新型电力系统形态研究从定性向定量、分散向系统转变。

本文聚焦新型电力系统形态的量化推演方法,提出了总体框架和功能设计,基于机制创新、技术创新、模式创新驱动动力,从电源、电网、负荷、储能等要素层面,设计了新型电力系统形态量化分析功能,并通过综合评价实现了对形态的整体分析。

1 总体框架

新型电力系统构建是一项经济社会环境综合系统工程,需要统筹安全、绿色、经济、共享等四大目标,在保障电力安全可靠供应基础上,推动中国能源清洁低碳循环发展,保证电力可承受成本,并实现能源电力行业产业链、价值链共建共享价值。在上述目标牵引下,新型电力系统形态发展需要落实在典型场景当中,通过合理配置源网荷储要素,满足不同场景对电力系统的功能需求,分步骤、分年份实现既定目标。要实现上述目的,需要充分发挥驱动力推进作用,保证新型电力系统形态科学发展。基于此,新型电力系统形态发展逻辑如图1所示。

新型电力系统形态的驱动力主要包括3类,分别是模式创新、技术创新和机制创新。

1) 模式创新能够通过整合内外部生产要素,促进参与市场主体竞争合作,实现创新服务、提升效率效益等价值创造,催生新模式新业态,为新型电力系统发展形态提供动力。

2) 技术创新能够通过原理突破、设备创新、

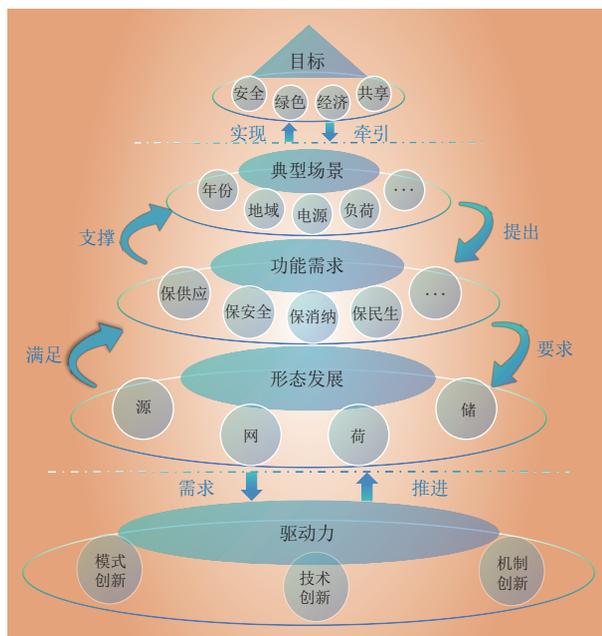


图 1 新型电力系统形态发展逻辑

Fig. 1 Development logic of the new power system form

技术经济性提升等,强化新型电力系统物质基础、控制手段等,对新型电力系统形态发展产生重要影响。

3) 机制创新能够通过国家政策文件、行业发展规划价格机制等,发挥战略指引、营造良好制度环境、打造发展合力等作用,推动新型电力系统向特定形态发展。

新型电力系统形态驱动力如图2所示。

考虑源网荷储等要素形态计算方法差别,将

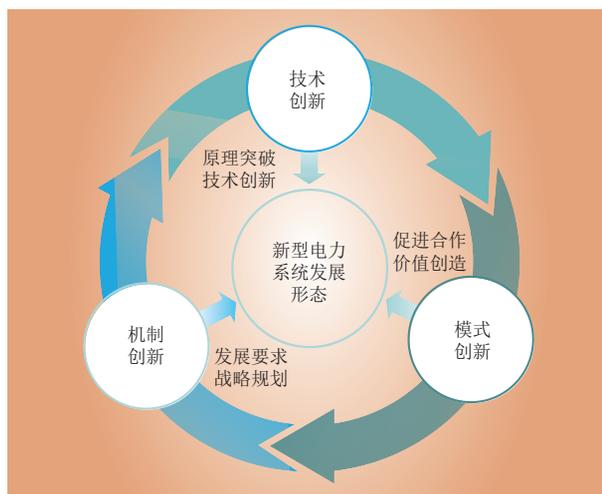


图 2 新型电力系统形态发展的三大驱动力

Fig. 2 Three boosting forces for development of the new power system form

新型电力系统形态分为电源、输电网、配电网、负荷、储能等 5 个方面的形态。在计算流程上，在开展机制创新、技术创新、模式创新驱动力分析之后，对形态推演功能进行选择，以便明确是开展电源、输电网、配电网、负荷、储能等单方面发展形态分析，还是 2 个及以上组合的发展形态分析，这是因为不同方面发展形态分析需要的参数设定不同。通过基础参数、驱动力参数两部分构建输入参数，然后计算新型电力系统形态，最后开展绿色、安全、经济、民生等 4 个维度的综合评价。新型电力系统形态量化推演的计算流程如图 3 所示。通过驱动力分析、形态分析、综合评价等环节联动，能够实现形态发展分析功能，并通过反馈综合评价结果修正驱动力参数，进而对评价提升效果进行验证，实现驱动力优化分析功能。

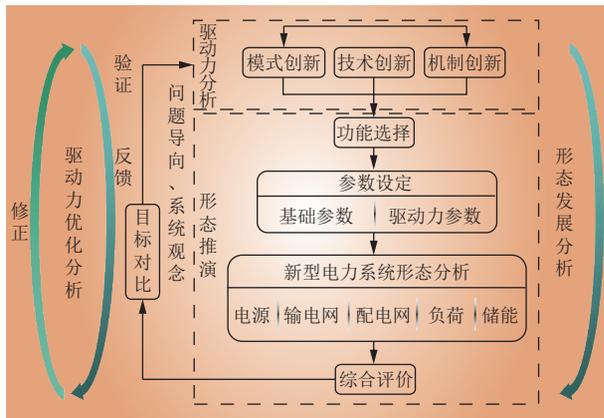


图 3 新型电力系统形态量化推演的计算流程
Fig. 3 Calculation process of the new power system form quantitative gaming

2 功能设计

2.1 整体功能

通过上述计算流程，能够实现新型电力系统形态推演两个功能，分别为

1) 形态发展分析。在驱动力量化分析基础上，针对典型场景，分析新型电力系统的形态及演进路径，给出特定发展形态的评价指标，反映新型电力系统的发展阶段；

2) 驱动力优化分析。设定驱动力参数变量后，计算新型电力系统形态及综合评估结果，分析评估指标与发展目标差异，基于驱动力敏感性

分析对驱动参数进行修正，并重复上述过程，通过循环分析提出驱动力优化建议。

2.2 驱动力分析

2.2.1 模式创新分析

随着新型电力系统中市场主体增多，相关主体通过创新竞合模式推动价值创造，将对新型电力系统形态发展产生重要影响。从电力系统迫切需求看，这些价值创造将聚焦在系统灵活资源需求、新能源出力波动性平抑、用户用能成本降低等方面。

1) 在灵活性资源需求方面，主要包括需求响应、车-网互动、虚拟电厂等模式。

2) 在新能源出力波动性平抑方面，主要包括电-氢耦合、源网荷储一体化等模式。

3) 在用户用能成本降低方面，主要包括综合能源系统等模式。

模式创新分析需要具备对上述模式运行特性及效率效益的计算能力，支撑新型电力系统形态分析中相关模式发展规模测算，如图 4 所示。

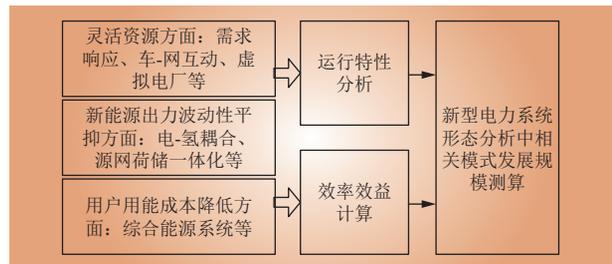


图 4 模式创新分析功能
Fig. 4 Model innovation analysis function

2.2.2 技术创新分析

新型电力系统构建过程中面临诸多挑战。从电力保供看，一方面随着能源绿色低碳转型、新能源发电快速发展，虽然高比例新能源发电提供的电量贡献更加显著，但电力贡献较弱，季节上大风期和冬夏用电高峰期不一致，负荷高峰期新能源出力近 60% 时间处于装机容量 15% 以下，日内极热无风、晚峰无光，高比例分布式光伏接入地区遇到“鸭子曲线”难题，发电能力与用电需求不匹配，难以有效发挥顶峰作用；另一方面，常规电源调节深度有限，储能等新型资源受技术成本影响调节能力和持续时间有待提升，难以满足系统调节需求。从电网安全看，高比例电力电子设备广泛接入，造成系统动态支撑调节能力较

弱，电网安全运行风险显著加大。

面对这些挑战，需要扎实贯彻落实国家创新驱动发展战略，抓住科学技术第一生产力，推动电力高水平科技自立自强，支撑新型电力系统高质量构建。对新型电力系统构建具有重要影响的技术大致可分为 4 类，分别是降碳减排技术、系统稳定技术、灵活互动技术、全局影响技术。

1) 降碳减排技术。主要包括碳捕集、碳捕集利用与封存技术 (carbon capture, utilization and storage, CCUS)，以及风电、光伏等新能源技术，突破这些技术能够显著影响火电发展转型，加速提升新能源装机并网规模，对电源结构布局具有直接影响。

2) 系统稳定技术。主要包括新能源功率预测、柔性输电、系统仿真计算等技术，推动这些技术成熟应用，能够促进大规模新能源并网的友好性，提升新型电力系统的平衡保供和安全稳定运行能力。

3) 灵活互动技术。主要包括新型储能、微电网、虚拟电厂、需求响应等技术，这些技术发展能够显著提升电力系统灵活响应能力，对解决负荷尖峰、提升供电可靠性具有重要作用。

4) 全局影响技术。主要包括可控核聚变、无线电能传输等技术，这些技术一旦取得突破，能够颠覆性改变电力系统生产组织方式，对新型电力系统发展形态具有巨大影响。

对上述技术进行跟踪，开展技术成熟度评估，预测技术经济性发展趋势，形成新型电力系统形态分析中技术应用规模测算的输入，是技术创新分析功能的主要内容，如图 5 所示。

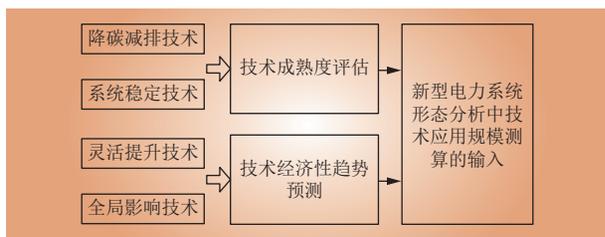


图 5 技术创新分析功能
Fig. 5 Technology innovation analysis function

2.2.3 机制创新分析

新型电力系统是一个涉及全社会各环节的开放的复杂巨系统，需要统筹各方力量，充分发挥有为政府、有效市场的推动作用，形成发展合

力，引导新型电力系统向科学形态发展。从对新型电力发展形态的影响机理看，机制创新驱动动力分析需要实现两大功能。

1) 对新型电力系统相关政策文件、发展规划等信息进行分析，包括对非结构化、半结构化信息利用德尔菲、层次分析、系统动力学等分析方法，量化分析上述信息在凝聚各方共识、明确发展方向等方面的潜在引导作用；对结构化信息进行提取，形成新型电力系统形态分析的预期性、约束性指标集合。

2) 对新型电力系统相关产业政策、市场机制进行分析，包括对非结构化、半结构化信息分析其在提升各方信心、提升合作积极性、引导市场主体行为改变等方面的作用进行分析，形成影响新型电力系统发展形态的量化指标；对结构化信息进行提取，形成新型电力系统形态的机制边界条件，例如提取电价数据，成为新型电力系统形态分析中相关经济效益测算的输入。

机制创新分析的功能设计如图 6 所示。

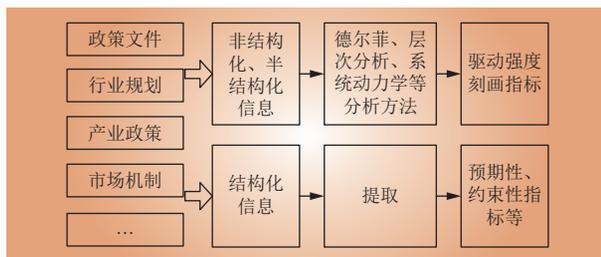


图 6 机制创新分析功能
Fig. 6 Mechanism innovation analysis function

2.3 新型电力系统形态分析

2.3.1 参数设定

参数设定主要包括基础参数和驱动力参数两个部分。基础参数用于汇集梳理新型电力系统形态分析需要的基础数据，主要包括电源、电网、负荷、GIS 数据、设备台账等现状数据。

驱动力参数实现与驱动力分析的接口互动，主要功能是将驱动力分析的计算结果进行汇集整理，作为新型电力系统形态分析的输入。例如，与机制创新分析接口，获取电力系统发展预期性、约束性指标，以及电价等重要参数变量，作为新型电力系统形态的边界条件；与技术创新分析接口，获取风电、光伏等技术经济性趋势预测数据，支撑新型电力系统形态中风电、光伏规模

测算；与模式创新分析接口，获取车-网互动、源网荷储一体化等典型模式的运行特性及效率效益，支撑新型电力系统形态中车-网互动、微电网的发展规模测算。

2.3.2 电源形态分析

电源形态分析主要实现煤电、水电、集中式新能源的发展推演功能，以碳减排目标、负荷发展，以及CCUS、风电、光伏、电-氢耦合等技术经济性预测构建典型场景，以电力系统建设运维成本最低为目标，利用电力生产模拟等方法，计算煤电、水电、集中式新能源的发展规模、结构和布局，如图7所示。

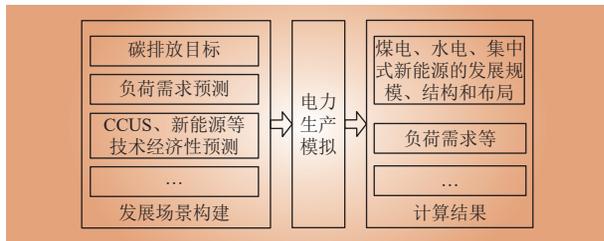


图 7 电源形态分析功能
Fig. 7 Power source form analysis function

2.3.3 输电网形态分析

输电网形态分析主要包括关键输电走廊、主网规模走向分析功能，以电源发展、负荷需求，以及柔性输电等先进技术经济性预测构建典型情景，以电力系统建设运行成本最低为目标，利用电力生产模拟等方法，计算关键输电走廊、主网架的新建与优化需求，如图8所示。

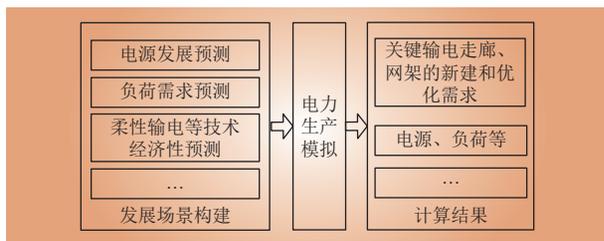


图 8 输电网形态分析功能
Fig. 8 Transmission network form analysis function

2.3.4 配电网形态分析

配电网形态分析主要实现微电网、虚拟电厂等分布式系统的规模分布，以及适应微电网、虚拟电厂规模分布的配电网拓扑变化分析功能，以电价政策，风电、光伏、新型储能技术经济性预测，以及车-网互动、需求响应、综合能源规模预

测等构建典型场景，根据配电网中不同节点供需互补特性，测算微电网、虚拟电厂等分布式系统的发展潜力。在此基础上，通过配电网潮流计算重过载、轻载线路，分析配电网线路切改、网侧储能优化配置等潜在方案，并计算电力系统综合效率效益，得出不同分布式系统规模分布下的配电网形态，如图9所示。

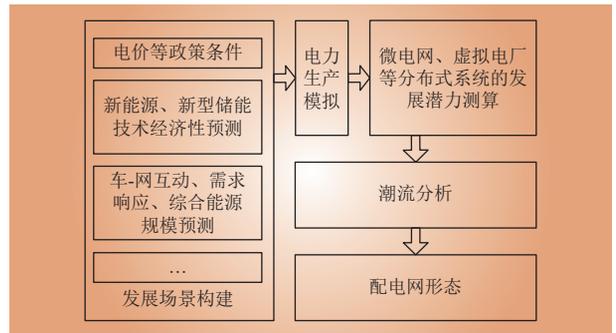


图 9 配电网形态分析功能
Fig. 9 Distribution network form analysis function

2.3.5 负荷形态分析

负荷形态分析主要实现车-网、需求响应等负荷侧灵活互动资源的规模分析功能，以电价政策，电动汽车、充电桩规模预测，以及灵活负荷规模预测等构建典型场景，根据用户行为特性模拟，测算车-网、需求响应等灵活负荷的削峰填谷能力，如图10所示。

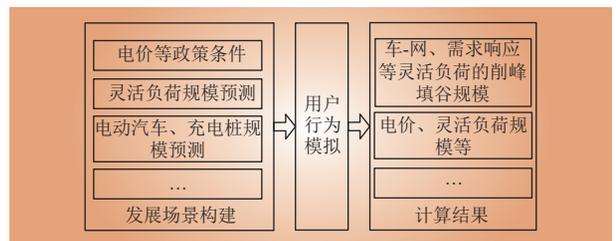


图 10 负荷形态分析功能
Fig. 10 Load form analysis function

2.3.6 储能形态分析

储能形态分析主要实现抽水蓄能、新型储能的规模布局分析功能，以电价政策，电源规模、结构和布局，负荷规模和特性，以及新型储能技术经济性预测等构建典型场景，通过电力生产模拟等，测算抽水蓄能、新型储能规模、布局和出力。储能形态分析功能如图11所示。

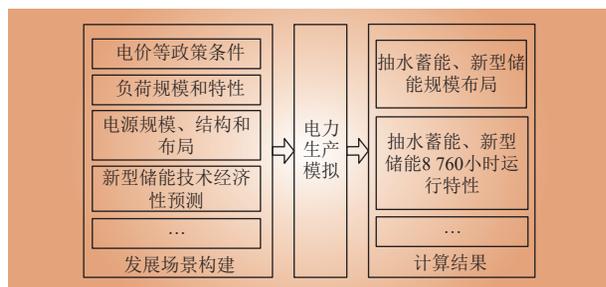


图 11 储能形态分析功能

Fig. 11 Energy storage form analysis function

2.4 综合评价分析

综合评价从绿色、经济、安全、民生 4 个维度对新型电力系统形态进行分析。

1) 绿色评价。主要计算给定新型电力系统形态下碳排放、新能源消纳量等数据，刻画新型电力系统发展在能源绿色发展方面的推动作用。

2) 经济评价。主要测算给定新型电力系统形态下不同市场主体经济收益、系统综合效率效益等，并能够计算典型新型电力系统示范工程的效率效益。

3) 安全评价。主要从安全性、充裕性 2 个层面对给定新型电力系统形态进行测算，包括电力缺口、电量缺口、系统备用能力等，并能够针对特定配电网形态分析分布式系统对快速恢复供电的支撑作用。

4) 民生评价。主要测算新型电力系统构建对国家战略的支撑作用，例如开展电动汽车下乡等重大举措的落实效果评估，分析新型电力系统构建对能源电力产业链、供应链发展的带动作用，并能够评估典型新型电力系统示范工程的社会、环境效益。

在上述分维度评价基础上，利用层次分析等指标融合计算方法，实现对形态的综合评价。综合评估功能如图 12 所示。

3 结论

本文针对新型电力系统形态量化推演方法进行了顶层设计，主要结论如下。

1) 新型电力系统形态受中国能源电力发展目标牵引，需要落实在典型场景，以满足典型场景中的功能需求为目的。为此，需要充分发挥驱动力推动作用，实现新型电力系统形态科学发展，

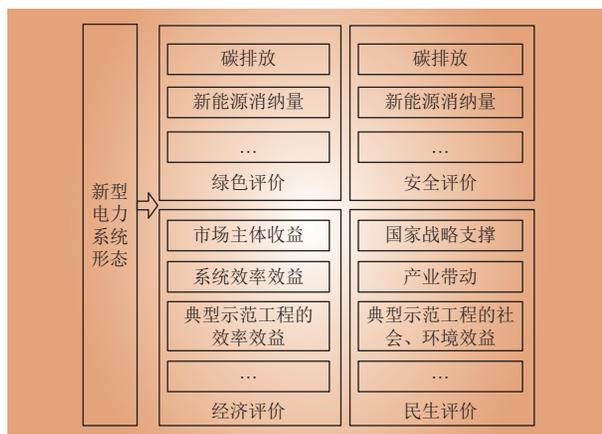


图 12 综合评估功能

Fig. 12 Synthetic evaluation function

其驱动力包括模式创新、技术创新和机制创新。

2) 新型电力系统形态推演计算流程主要包括驱动力分析、新型电力系统形态分析、综合评价 3 个环节，能够实现形态发展、驱动力优化分析功能，形态分析功能是在驱动力量化分析基础上，分析新型电力系统形态和演进路径；驱动力优化分析功能基于新型电力系统形态评估结果与发展目标差异分析，对驱动参数进行循环验证，以此提出新型电力系统相关政策建议。

3) 新型电力系统形态分析主要包括电源、输电网、配电网、负荷、储能等要素的形态分析，其中电源形态分析功能主要分析电源规模、结构和布局，输电网形态分析功能主要分析关键输电走廊、主网架新建优化方案，配电网形态分析功能主要分析分布式系统规模分布及配电网拓扑变化方案，负荷形态分析功能主要测算灵活互动潜力，储能形态分析功能主要分析抽水蓄能、新型储能规模布局。

本文在提出新型电力系统形态发展逻辑的基础上，研究了一种能够量化分析形态发展的计算流程，并对主要功能进行了设计，能够为后续模型工具开发提供指导，有力推动新型电力系统形态的量化推演分析。

参考文献：

[1] 周勤勇, 李根兆, 秦晓辉, 等. 能源革命下的电力系统范式转换分析[J]. 中国电力, 2024, 57(3): 1-11.

ZHOU Qinyong, LI Genzhao, QIN Xiaohui, et al. Analysis of power

- system paradigm shift under energy revolution[J]. *Electric Power*, 2024, 57(3): 1–11.
- [2] 王新宝, 葛景, 韩连山, 等. 构网型储能支撑新型电力系统建设的思考与实践 [J]. *电力系统保护与控制*, 2023, 51(5): 172–179.
WANG Xinbao, GE Jing, HAN Lianshan, *et al.* Theory and practice of grid-forming BESS supporting the construction of a new type of power system[J]. *Power System Protection and Control*, 2023, 51(5): 172–179.
- [3] 新型电力系统发展蓝皮书 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2023.
- [4] 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.
SHU Yinbiao, CHEN Guoping, HE Jingbo, *et al.* Building a new electric power system based on new energy sources[J]. *Strategic Study of CAE*, 2021, 23(6): 61–69.
- [5] 郭剑波, 王铁柱, 罗魁, 等. 新型电力系统面临的挑战及应对思考 [J]. *新型电力系统*, 2023(1): 32–43.
GUO Jianbo, WANG Tiezhu, LUO Kui, *et al.* Development of new power systems: challenges and solutions[J]. *New Type Power Systems*, 2023(1): 32–43.
- [6] 戴璟, 王剑晓, 张兆华, 等. 新型电力系统形态特征与关键技术 [J]. *新型电力系统*, 2023(2): 161–183.
DAI Jing, WANG Jianxiao, ZHANG Zhaohua, *et al.* Morphological characteristics and key technologies of new power system[J]. *New Type Power Systems*, 2023(2): 161–183.
- [7] 陈国平, 李明节, 董昱, 等. 构建新型电力系统仿真体系研究 [J]. *中国电机工程学报*, 2023, 43(17): 6535–6551.
CHEN Guoping, LI Mingjie, DONG Yu, *et al.* Research on the simulation technology architecture for the new-type power system[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2023, 43(17): 6535–6551.
- [8] 辛保安. 新型电力系统构建方法论研究 [N]. *中国电力报*, 2023-07-11(1).
- [9] 陈维江, 靳晓凌, 吴鸣, 等. 双碳目标下我国配电网形态快速演进的思考 [J]. *中国电机工程学报*, 2024, 44(17): 6811–6818.
CHEN Weijiang, JIN Xiaoling, WU Ming, *et al.* Thinking on the rapid evolution of distribution network form under the carbon peaking and carbon neutrality goals[J]. *Proceedings of the CSEE*, 2024, 44(17): 6811–6818.
- [10] 欧阳昌裕. 新型电力系统规划要充分发挥现代电力治理体系效能 [J]. *中国电力企业管理*, 2024(16): 18–21.
- [11] 王成山, 于浩, 李鹏, 等. 新型配电网中的软件定义技术理念及特征 [J]. *新型电力系统*, 2024(1): 1–12.
WANG Chengshan, YU Hao, LI Peng, *et al.* Concepts and features of software-defined technology in new power distribution networks[J]. *New Type Power Systems*, 2024(1): 1–12.
- [12] 盛万兴, 刘科研, 李昭, 等. 新型配电系统形态演化与安全高效运行方法综述 [J]. *高电压技术*, 2024, 50(1): 1–18.
SHENG Wanxing, LIU Keyan, LI Zhao, *et al.* Review of basic theory and methods of morphological evolution and safe & efficient operation of new distribution system[J]. *High Voltage Engineering*, 2024, 50(1): 1–18.
- [13] 孙瑜歌, 丁涛, 黄雨涵, 等. 高比例新能源电力市场不同发展阶段划分及形态结构演进 [J]. *高电压技术*, 2023, 49(7): 2725–2743.
SUN Yuge, DING Tao, HUANG Yuhan, *et al.* Development stage division and morphological evolution of power market with high proportion of renewable energy[J]. *High Voltage Engineering*, 2023, 49(7): 2725–2743.
- [14] 舒印彪. 新型电力系统构建及其关键技术 [N]. 国际标准化大会, 202306-7(13).
- [15] 李欣, 王艳, 高宁, 等. 面向新型电力系统的颠覆性技术识别研究现状与展望 [J]. *新型电力系统*, 2024(1): 78–93.
LI Xin, WANG Yan, GAO Ning, *et al.* Research status and prospects of disruptive technology identification for new power systems[J]. *New Type Power Systems*, 2024(1): 78–93.
- [16] 国网能源研究院有限公司. 新型电力系统发展分析报告-2023[M]. 北京: 中国电力出版社, 2024.



李健

作者简介:

李健 (1976), 男, 硕士, 高级工程师 (教授级), 从事能源电力和电网发展规划研究, E-mail: lijian@sgeri.sgcc.com.cn;

张钧 (1982), 男, 通信作者, 博士, 高级工程师 (教授级), 从事电力系统战略发展、电网安全研究,

E-mail: zhangjunece@163.com;

韩新阳 (1972), 男, 硕士, 高级工程师 (教授级), 从事电力系统发展、电力供需分析等研究, E-mail: hanxinyang@sgeri.sgcc.com.cn;

靳晓凌 (1979), 女, 博士, 高级工程师 (教授级), 从事配用电系统形态推演、政策机制等研究, E-mail: jinxiaoling@sgeri.sgcc.com.cn.

(责任编辑 许晓艳)

(下转第 97 页)

A Load Control User Combinatorial Optimization Method Considering Electric Vehicle and Temperature-Controlled Load Clusters

LI Siwei^{1,2}, XU Zhongping², YU Long², DU Lishi², YUE Liang², ZHANG Xirun², WANG Xiaoming³

(1. Key Laboratory of Smart Grid of Ministry of Education (Tianjin University), Tianjin 300072, China; 2. Beijing Fibrlink Communications Co., Ltd., Beijing 100071, China; 3. Electric Power Research Institute of State Grid Anhui Electric Power Company, Hefei 230061, China)

Abstract: As the construction of the new power system continues to deepen, the power system faces such problems as large peak-to-valley difference and high volatility, and the use of user-side resources to participate in load control is one of the important initiatives to solve the above-said problems. In this paper, a load control user combinatorial optimization method considering electric vehicle (EV) and temperature-controlled load clusters is proposed. Firstly, a hierarchical control method is used to aggregate individual EVs and temperature-controlled load clusters, and the aggregated clusters are divided into peak load shifting type and peak load shedding type according to their willingness to participate in load control types, and their respective user load control models are established. Secondly, a three-stage rebound load model is constructed to solve the load rebound problem after peak load shifting users participate in load control. And then, a load control influence function is established with consideration of the influence degree of users participating in load control. Finally, the composition of user groups participating in peak load shifting and shedding and the adjustment amount of user load are optimized with the minimum load control influence, minimum network loss and minimum load fluctuation as multi-objectives. While meeting the demand of load control, the proposed method can effectively inhibit the new peak load caused by the rebound of load after users participating in load control, as a result, realizing the good interaction of supply and demand between distributed load resources and the power system.

This work is supported by Science and Technology Project of SGCC (Research on Key Technology and Operation Mechanism of Load Management Cloud for Multi-agent Participation, No.5400-202320223A-1-1-ZN).

Keywords: distributed load resources; temperature control load cluster; load rebound; load control; combinatorial optimization

(上接第 7 页)

Overall Framework and Function Design of Quantified Gaming Method for New Power System Forms

LI Jian, ZHANG Jun, HAN Xinyang, JIN Xiaoling

(State Grid Energy Research Institute Co., Ltd., Beijing 100192, China)

Abstract: The research on the form gaming of new power system is essential for advanced judgment of China's energy and power development, and significant for overall layout of all elements of source-network-load-storage. This paper studies the quantitative gaming method of the new power system forms, proposes an overall framework, and designs its main functions. Firstly, the development logic of new power system is introduced, and the main boosting forces of the new power system form are identified, which include model innovation, technological innovation and mechanism innovation. And the boosting effects of the aforementioned three innovations are analyzed respectively. On this basis, the whole calculation process of the new power system form gaming is put forward, which mainly consists of three parts including boosting force analysis, form analysis and synthetic evaluation. By this calculation, the new power system form gaming and policy mechanism suggestion analysis are achieved. Secondly, the new power system form gaming analysis is detailed according to five elements: power source, transmission network, distribution network, load and energy storage, and the functions of each element form gaming analysis is designed. Finally, the synthetic evaluation function of the new power system form is designed from four dimensions of green, security, economy and people's livelihood. The research results can guide the design and development of modeling tools related to the new power system form analysis, and provide solid support for the quantitative gaming research on the new power systems.

This work is supported by 2023 Experimental Conditions Construction Project of State Grid Energy Research Institute Co., Ltd. (Development of Strategic Simulation and Security Analysis Module for New-Type Power System Laboratory, No.51670023000B).

Keywords: new power system; form gaming; boosting force analysis; source-network-load-storage; synthetic evaluation