

特约主编寄语

面对全球气候变化的严峻挑战，实现碳达峰、碳中和已成为推动能源系统变革的重要驱动力。近年来，信息物理系统与能源技术的深度融合，推动了传统电力系统向高度数字化、智能化、低碳化的方向加速演进。能源系统数字化不仅提升了大规模可再生能源的接入与协调能力，也促进了跨区域、跨领域能源流与信息流的深度互操作，推动能源网络成为多能互补、多向互动的复杂系统。与此同时，从能源生产、传输到消费全过程的碳强度追踪与评估逐渐成为低碳能源系统运行的重要依据，碳交易平台和绿色市场机制对数据可信性、安全性提出了更高要求。在此背景下，本刊特组织“信息-物理能源系统低碳发展”专刊，聚焦能源系统低碳化、智能化发展中的关键理论、方法与实践成果，涵盖微电网协同优化、电网智能控制、市场机制建模、新能源消纳与智能感知等多个技术方向，全面展现当前信息-物理能源系统发展的研究前沿与趋势

在微电网与源网荷储协同优化方面，研究聚焦于提升多能系统的协同运行效率与智能决策水平，针对不同场景下的能量耦合、多主体互动与运行优化问题展开深入探讨。李德兴等提出了源网荷储双时间尺度协调运行策略，在提升微电网经济性的同时，有效抑制了功率波动对储能套利机制的影响，增强了系统灵活性。朱志芳等构建了光伏-储能-微网三方合作博弈模型，实现了保供电型微电网多方投资效益的均衡调节，为保电任务市场化提供了可推广路径。张仕鹏等设计了面向异构设备接入的云边协同双层调度框架，推动多微电网在复杂环境下的高效协同调控。孙岩等面向数据中心多能需求特性，构建了融合余热回收的微能源网容量配置模型，在保障供能多样性的同时实现了低碳运行。陆亚舒等则在热电联供微电网中引入激励型需求响应机制，结合用户满意度模型与多目标灰狼优化算法，实现系统运行成本、环境影响与用户体验的多维统一。时珊珊等面向典型住宅、商业与工业负载构建的多能微网群，提出了基于合作博弈与高斯混合聚类的联盟能量管理策略，通过 ADMM 分布式算法实现隐私保护下的能量交互优化，在源荷高度不确定条件下仍能保持较高鲁棒性与效益水平。王菲菲等则从更宏观视角出发，构建了主从-合作混合博弈框架，协调运营商、源荷储各主体间的规划行为，为多参与方共同协同的配电系统架构构建提供了理论基础与工程路径。

在电网频率调控与负荷优化控制对策上，多篇研究关注在高比例新能源接入背景下的系统频率波动问题及负荷侧响应机制设计，体现出控制策略的智能化、协同化趋势。柳丹等提出了高维协同软演员-评论家结构的多智能体自动发电控制算法，在新能源出力波动剧烈的场景下显著提升了频率调节的稳定性与控制精度。黄润等则聚焦于风电场参与一次调频过程中的经济与技术平衡，构建了全寿命周期成本-收益模型与开环频率响应机制，实现了储能配置的最优经济性。杨秀等面向数据中心动态负载调度场景提出了基于多智能体近端策略网络的双层优化控制策略，兼顾调度灵活性与能耗成本控制。上述研究成果体现了频控问题向“成本感知、分布式协调、智能优化”方向的发展趋势，为构建新型调频体系提供了可行路径。

在电力市场与博弈机制建模方法上，研究重心从传统集中调度逐步转向以“多主体、自主决策”为特征的智能化博弈机制建模，体现出未来市场化电力系统对交互策略与定价机制的更高要求。张帅等面向不完全信息下的产消者 P2P 交易，融合 Harsanyi 转换、前景理论与 Markov 过程，构建了一种稳健的交易策略优化模型，并引入状态树削减算法以提升计算效率

与策略合理性。李咸善等进一步将碳市场机制引入综合能源系统运营，构建双层优化模型以实现碳排放约束下的电碳联合出清，推动了能碳耦合调度机制从理论构建向实际落地迈进。这些成果共同为未来电力市场构建更加精准、透明、弹性的交互机制奠定了模型基础。

在配电网结构优化与新能源接入方面，研究围绕提升分布式电源就地消纳能力与配网运行适应性展开，强调结构划分、特征匹配与异常识别等关键技术的组合应用。彭琦等针对高比例光伏接入的区域电网，构建了以源荷匹配度为核心的多断面集群划分指标体系，兼顾线损抑制与电压波动控制，显著提升了光伏就地消纳效率。白云霄等则从现货市场价格演化出发，提出了基于孤立森林的空间异常电价分区域识别方法，在多区域多节点市场环境中提升了异常监测的精度与识别维度。这类研究着眼于新能源接入带来的局部复杂性挑战，为新型配电网形态的设计与运行调控提供了方法支撑。

针对智能建模与感知，史茗元等融合图卷积、卷积神经网络、自注意力机制与 LSTM，构建了一种多算法融合的非侵入式负荷监测模型，实现了多状态电器负荷分解的精度突破。汪颖翔等基于 AERMOD 系统建立了工业园区内 CO_2 扩散的正向模型，并利用粒子群优化算法、鲸鱼优化算法和鸚鵡优化算法优化后的神经网络对工业园区中 CO_2 排放源位置及排放强度进行反演计算，最终对工业园区内 CO_2 排放源实现较为精确的定位，为工业园区应对气候变化和推进绿色转型提供决策支持。相关研究在提升设备识别准确率的同时，也为能耗优化、用户行为建模与用能安全提供了数据支撑，拓展了电力系统边缘侧的智能应用场景。

最后，感谢各位专家学者对本专刊的支持与积极投稿，也感谢评审专家对稿件严谨专业的评议。面向未来，信息-物理能源系统将在促进可再生能源高比例接入、实现能源系统低碳安全运行以及构建多层次市场机制等方面发挥越来越核心的作用。我们相信，随着数字化与能源技术的深度耦合，低碳能源系统的设计理念、运行范式与管理体系将迎来根本性变革。为持续推动该领域的理论研究与工程落地，本刊也将继续关注信息-物理系统与能源融合发展过程中的前沿问题，诚邀各位专家持续关注与积极参与，共同为构建面向“双碳”目标的智慧能源系统贡献力量。

华昊辰 裴伟 张沁习 陈敏婷 王青

2025年04月08日



特约主编简介：

华昊辰，英国利物浦大学本科、博士，清华大学博士后，现任河海大学卓越工程师学院副院长、教授、博士生导师，国家“万人计划”青年拔尖人才、国家重点研发计划国际合作项目首席科学家，入选斯坦福大学全球前2%顶尖科学家榜单。

担任 IEEE PES Analytic Methods for Power Systems 委员会副秘书长，中国自动化学会能源互联网专委会委员，中国电科院期刊中心青年专家团委员，《中国电力》、《电力建设》、《南方电网技术》期刊青年编委。作为项目负责人承担了国家重点研发计划“政府间国际科技创新合作”重点项目，国家自然科学基金委联合重点项目、面上基金等，累计发表论文 120 余篇。



裴玮，中国科学院电工研究所电网技术实验室主任，研究员。长期从事分布式能源、交直流配网/微网研究，入选国家级青年拔尖人才、中国科学院拔尖青年科学家、中国科学院先导B专项首席科学家，任科技部十四五智能电网专项总体组和指南组专家。担任中国电工技术学会交直流供电专委会副主任兼秘书长、氢能产业与装备专委会委员兼副秘书长、中电联直流配电系统标准化技术委员会副主任委员。近年主持国家自然科学基金联合基金重点项目2项、中科院先导B专项及省部级项目多项。牵头获北京市科技进步一等奖等省部级奖励多项、并获中国电力优秀科技工作者奖。



张沈习，上海交通大学研究员、博士生导师，IEEE Senior Member、中国电机工程学会高级会员，入选上海青年科技启明星计划(A类)，担任IEEE Transactions on Industry Applications等SCI期刊编委、《电力自动化设备》等期刊青年编委、中国电机工程学会分布式发电与智能配电专委会委员。主要从事电力能源系统规划与运行研究，主持国家自然科学基金项目、上海市科委项目、产学研项目等。作为第一或通信作者发表SCI/EI期刊论文50余篇，获得上海市科技进步一等奖等省部级奖励3项。



陈俊儒，博士，教授，博士生导师，国家高层次青年人才，新疆大学工程师学院学术副院长，新疆新型电力系统风光集中消纳运行与控制工程技术研究中心主任。长期从事新能源并网与控制技术，电力系统稳定性分析，电力电子建模、控制与稳定性分析，综合能源控制系统，时域仿真软件开发的研究。主持国家级项目3项，省部级项目6项，横向课题11项；以第一/通信作者身份发表论文50余篇，其中SCI收录20余篇，共著《Grid-Forming Converters: Principles, Control, and Applications in Modern Power Systems》，《Converter-Based Dynamics and Control of Modern Power Systems》。



王睿，东北大学信息学院研究员/副教授，博士生导师，IEEE Senior Member，中国制冷学会新型储能技术和综合能源系统工作委员会秘书长，入选“中国科协青年人才托举工程”、“辽宁省向上向善好青年”，获评“爱思唯尔RINENG优秀青年科学家”，发表SCI论文超80篇，其中第一作者/通信发表IEEE Transactions长文26篇。主持“科创甬江”重点研发计划项目、国家自然科学基金面上项目、青年项目、博士后特别资助等20余项横/纵项课题。以第二完成人获得中国仿真学会自然科学一等奖、中国自动化学会自然科学一等奖、中国人工智能学会教学成果激励计划二类成果。