

## 分布式信息能源系统理论与应用专题序言

张化光<sup>1</sup> 孙宏斌<sup>2</sup> 刘德荣<sup>3</sup> 王剑辉<sup>4</sup> 孙秋野<sup>1</sup>

分布式信息能源系统 (Distributed cyber energy system, DCES) 是能源互联网 (Energy internet, EI) 顺应新时代、新机遇与新挑战的产物, 是能源发展的新阶段与新形态. 能源作为信息的载体催生出海量能源数据, 而信息技术的发展又将反哺能源网络的改造和升级. DCES 通过信息流与能量流的交互影响, 实现能源互联网的计算、优化、控制与管理的深度融合, 以安全、高效、可靠和实时的方式感知与管控能源系统, 实现多能源系统之间的自治与协作.

随着可再生能源的高速发展、信息智能技术深度融合以及终端用能的多样化需求使得能源生产、分配及消费形式都出现了显著地变化, 呈现出时空异步、信能融合、多能互补以及智物协同的新趋势, 这使得终端信息能源系统的平衡、协同、管控、优化必须与之相适应. 如何实现终端的能源绿色高效利用成为全球广为关注的热门问题. DCES 及其相关技术为解决上述问题提供了可行的方案.

针对 DCES 方法驱动原则, 建模分析、状态监控、数据优化、控制决策以及能量调度管理等“方法型”特点, 以 CNKI 论文 278 篇, Web of Science 论文 353 篇为检索库, 采用科学知识图谱的方法形成学术地图如图 1 所示. 可以看出 DCES 的热点研究主要从人工智能、机器学习、强化学习、主从博弈、分布式优化、交替乘子法等方面逐步扩散.

《自动化学报》与《中国电机工程学报》针对这一热点领域, 共同组织了“分布式信息能源系统”专

题. 该专题受到广大同行专家的积极响应, 收到了近百篇投稿, 总录用率接近 20%, 《自动化学报》所录用文章主要以方法驱动, 《中国电机工程学报》所录用文章主要以对象驱动. 本次专题文章集中反映了近年来 DCES 及其相关技术的最新成果, 以供广大科技工作者了解和研讨. 《自动化学报》本期出版的 7 篇论文, 内容涉及综合能源系统的研究综述、机理模型、分布式优化、主从博弈、经济调度、协同控制等多个方面.

在《中国电机工程学报》中, 针对分布式信息能源系统的多场景应用, 中国农业大学付学谦与清华大学孙宏斌等从园区农业能源互联网的典型模式、理论体系、独特性、发展趋势等方面, 提出了农业园区能源互联网的在线安全分析思路, 促进了新能源开发与农业交叉融合发展. 而为了保障系统的稳定运行, 华北电力大学龚刚军等, 针对电网与电力通信网提出了可由客观因素修正主观赋权的多指标综合评价方法, 建立了电网节点的重要度评价指标体系, 为网络重构级骨干网架搜索提供参考.

DCES 由于各种不可抗力原因, 造成能源孤岛的情况时有发生. 南京邮电大学张占强、窦春霞等针对孤岛微电网中由不匹配馈线阻导致的无功均分偏差的问题, 提出了一种事件触发的电压分布式协同控制策略, 通过稳定的 DGs 电压同步来改善无功均分精度.

随着能源市场终端需求的改变, 市场结构已经由传统的垂直一体式结构逐步转向为交互竞争式, 山东大学的王海洋等提出了基于主从博弈的社区综合能源系统分布式协同优化运行策略, 求解出该信息能源系统的目标最优交互策略. 在有源配电网的分布式经济调度中, 经常会受到网络攻击、或个体欺骗问题, 武汉大学乐健、周谦等考虑到分布式系统全局信息难以获取的特点, 以微增成本为一致性变量设计了完全分布式经济调度策略, 采用偏差修正方法设计了相应的应对策略.

当系统框架建立完成, 稳定运行得到保障, 如何最优化信息能源网络的能量管理成为关键. 上海交通大学韩赫、张沛超等首先对区域热电系统的物

DOI 10.16383/j.aas.2020.y000003

引用格式 张化光, 孙宏斌, 刘德荣, 王剑辉, 孙秋野. 分布式信息能源系统理论与应用专题序言. 自动化学报, 2020, 45(9): 1767-1769

Citation Zhang Hua-Guang, Sun Hong-Bin, Liu De-Rong, Wang Jian-Hui, Sun Qiu-Ye. Introduction to the special session on theory and application of distributed information energy systems. *Acta Automatica Sinica*, 2020, 45(9): 1767-1769

1. 东北大学 沈阳 110819 中国 2. 清华大学 北京 100084 中国 3. 广东工业大学 广州 510006 中国 4. 美国南卫理公会大学 达拉斯 TX 75205 美国

1. Northeastern University, Shenyang 110819, China 2. Tsinghua University, Beijing 100084, China 3. Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China 4. Southern Methodist University, Dallas TX 75205 USA

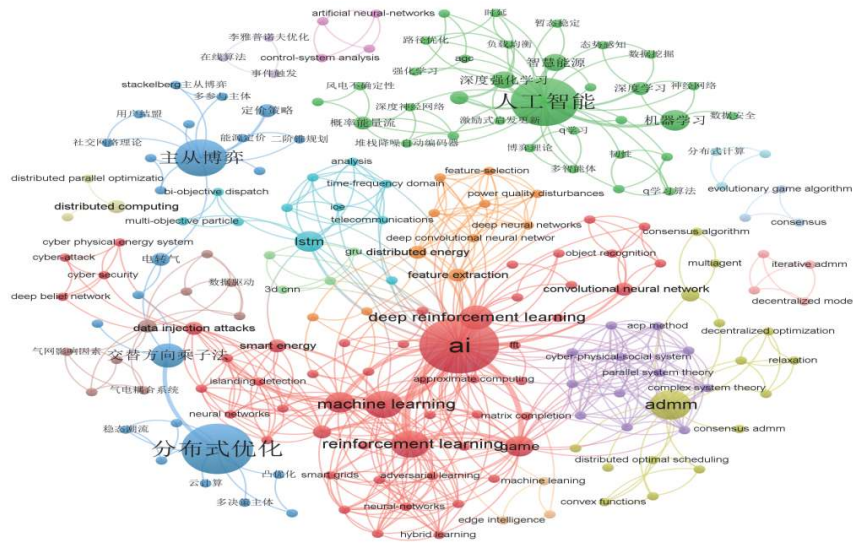


图1 DCES“方法型”重点领域学术地图

Fig.1 DCES is a “methodical” academic map of the focus area

理模型抽象化,建立了关键设备的凸优化模型,之后利用交替方向乘子法对集中式热电最优潮流问题进行了分解,通过具有分散式决策能力的信息物理模块化,实现了能量流、信息流和价值流的协同能量管理.而天津大学李浩、赵军等提出基于熵的能力与信息的一致标度,利用熵理论同时对由能级降低造成的能量不可用性和由不确定性造成的能量不可用性进行量化,很好地解决了可再生能源的波动和不确定性问题.

安全问题不仅局限于 DCES 的稳定运行,还体现在面对台风、地震等极端自然灾害面前的安全性和可靠性.东北电力大学李雪等首先建立了海岛综合能源系统及其面临极端自然灾害下元件故障率的数学模型,并分析了系统鲁棒性、快速性、冗余性等韧性量化指标.

《自动化学报》本着方法驱动的原则,聚焦于 DCES 的监测、建模、优化、控制以及调度等方面的关键技术实现.近年来,国内外学者针对有关分布式信息能源系统的各种关键理论与工程技术,开展了大量的科学研究和理论分析.

针对网络安全与故障过程监控,华东理工大学的姜庆超和颜学峰以单元-变量分层贡献图的方式,对故障单元以及故障变量实现了分层定位.同时,东北大学胡旭光、马大中等利用生成式对抗网络对数据缺失进行了可靠性补偿,基于关联信息对抗学习建立了综合能源系统的运行状态分析方法.

多系统、多耦合的 DCES 在实际建模过程中,经常面对机理建模困难的问题.华中科技大学平作

为等基于数据驱动稀疏学习算法,将人工智能引入微电网建模,同时实现负载模型结构选择和参数的校准.

与已有电、气、热等单一供能系统一样,如何实现系统的分布式协同优化、管理、控制也是人们重点关注的问题.大连海事大学的滕菲、单麒麟等基于宽度学习、带有广义噪声的多智能体分布式优化相关理论,建立了智能船舶综合能源的系统的能量优化调度模型,实现高效的能源优化调度.三峡大学的席磊等利用了资格迹及双重 Q 学习,在避免传统强化学习动作探索值易高估的同时,实现了分布式多区域多能微网的协同.

关于 DCES 的能量调度和管理,Denver 大学高文忠等引入辅助变量可将连续通讯离散替代化,并利用异步动态事件触发可以很好地解决.随着人工智能在能源系统起到越来越大的作用,北京理工大学的夏元清等利用机器学习算法对采集到的风、光电功率进行短时预测.

DCES 建模、场景应用、网络架构、优化配置、安全运行等方面研究尚处于初期阶段,迫切需要通过理论和实践创新来解决新形势下信息能源系统面临的新问题.衷心希望能够与各位作者、读者共同探讨关于分布式信息能源系统各个方面的理论与实践应用问题.

衷心感谢有关专家对于本专题的大力支持,同时感谢《自动化学报》编辑部对于本专题策划组织以及顺利出版做出的努力.希望本专题的出版能够对关心和从事相关研究的专家提供参考,推动我国

信息能源系统相关领域的科技进步。

## 附录 A 《自动化学报》与《中国电机工程学报》 关于“分布式能源系统”专题录用文章目录

- 1 付学谦, 周亚中, 孙宏斌, 郭庆来. 园区农业能源互联网在线安全分析: 评述与展望. 中国电机工程学报, 2020, **40**(17): 5404-5411
- 2 龚钢军, 张哲宁, 张心语, 高爽, 苏畅, 陆俊. 分布式信息能源系统的耦合模型、网络架构与节点重要评估. 中国电机工程学报, 2020, **40**(17): 5412-5425
- 3 张占强, 窦春霞, 岳东, 张博, 张怀品. 考虑通信时延的事件触发电压分布式协同控制. 中国电机工程学报, 2020, **40**(17): 5426-5434
- 4 王海洋, 李珂, 张承慧, 马昕. 基于主从博弈的社区综合能源系统分布式协同优化运行策略. 中国电机工程学报, 2020, **40**(17): 5435-5444
- 5 乐健, 周谦, 赵联港, 尤梦凯. 考虑个体欺骗的有源配电网, 2020, **40**(17): 5445-5453
- 6 韩赫, 张沛超, 孙宏宇, 程亦直. 能量流-信息流-价值流协同的区域热系统分散式能量管理方法. 中国电机工程学报, 2020, **40**(17): 5454-5466
- 7 李浩, 钟声远, 王永真, 赵军, 李敏霞, 朱介北. 基于能力与信息耦合的分布式能源系统配置优化方法. 中国电机工程学报, 2020, **40**(17): 5467-5475
- 8 李雪, 孙霆锴, 侯恺, 姜涛, 陈厚合, 李国庆, 贾宏杰. 地震灾害下海岛综合能源系统韧性评估方法研究. 中国电机工程学报, 2020, **40**(17): 5476-5492
- 9 姜庆超, 颜学峰. 基于局部-整体相关特征的多单元化工过程分层监测. 自动化学报, 2020, **46**(9): 1770-1782
- 10 胡旭光, 马大中, 郑君, 张化光, 王睿. 基于关联信息对抗学习的综合能源系统运行状态分析方法. 自动化学报, 2020, **46**(9): 1783-1797
- 11 平作为, 何维, 李俊林, 杨涛. 基于稀疏学习的微电网负载建模. 自动化学报, 2020, **46**(9): 1798-1808
- 12 滕菲, 单麒麟, 李铁山. 智能船舶综合能源系统及其分布式优化调度方法. 自动化学报, 2020, **46**(9): 1809-1817
- 13 席磊, 周礼鹏. 分布式多区域多能微电网群协同 AGC 算法. 自动化学报, 2020, **46**(9): 1818-1830
- 14 李玉帅, 李天义, 高炜, 高文忠. 基于异步动态事件触发通讯策略的综合能源系统分布式协同优化运行方法. 自动化学报, 2020, **46**(9): 1831-1843
- 15 夏元清, 高润泽, 林敏, 任延明, 闫策. 绿色能源互补智能电厂云控制系统研究. 自动化学报, 2020, **46**(9): 1844-1868



**张化光** 博士, 东北大学教授, 博士生导师, IEEE Fellow, 教育部长江学者. 主要研究方向为自适应动态规划, 模糊控制, 网络控制, 混沌控制, 能源互联网.

E-mail: hg Zhang @iee.org

**(ZHANG Hua-Guang** Professor at the School of Information Science and Engineering, Northeastern University, doctoral supervisor, IEEE Fellow and Changjiang Scholars of Ministry of Education. His current research interests include adaptive dynamic programming, fuzzy control, network control, chaos control and energy internet.)



**孙宏斌** 博士, 清华大学教授, 博士生导师, IEEE Fellow, 教育部长江学者. 主要研究方向为智能电网, 可再生能源, 能源互联网, 电力系统信息论和无功电压优化控制.

E-mail: shb@tsinghua.edu.cn

**(SUN Hong-Bin** Professor in the Department of Electrical Engineering, Tsinghua University, doctoral supervisor, IEEE Fellow and Changjiang Scholars of Ministry of Education. His current research interests include smart grids, renewable generation integration, energy internet, information theory of power system and reactive voltage optimal control.)



**刘德荣** 博士, 广东工业大学教授, 博士生导师, IEEE Fellow. 主要研究方向为智能控制理论及应用, 人工神经网络, 模糊系统, 计算神经科学, 电力系统运行与控制.

E-mail: derong@gdut.edu.cn

**(LIU De-Rong** Professor at the School of Automation, Guangdong University of Technology, doctoral supervisor, IEEE Fellow. His current research interests include theory and application of intelligent control, artificial neural network, fuzzy system, computational neuroscience and operation and control of power system.)



**王剑辉** 博士, 美国南卫理公会大学教授, 博士生导师. 主要研究方向为智能电网, 电力系统运行和控制, 能源互联网.

E-mail: jianhui@smu.edu

**(WANG Jian-Hui** Professor in the Department of Electrical Engineering, Southern Methodist University, USA, doctoral supervisor. His current research interests include smart grid, power system operation and control and energy internet.)



**孙秋野** 博士, 东北大学教授, 博士生导师. 主要研究方向为网络控制技术, 分布式控制技术, 分布式优化分析及其在能源互联网, 微电网, 配电网中的各种应用.

E-mail: sunqiuye@ise.neu.edu.cn

**(SUN Qiu-Ye** Professor at the College of Information Science and Engineering, Northeastern University, doctoral supervisor. His current research interests include network control technology, distributed control technology, distributed optimization analysis, and their various applications in the energy internet, microgrids, and power distribution networks.)

---

客座编委