

2024年度山东省科学技术奖提名项目公示内容

一、项目名称

区域综合能源系统低碳高效运行关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：王成山院士

提名意见：我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合山东省科学技术奖励委员会办公室的填写要求。

按照属地化原则，项目完成单位都已对该项目的拟推荐情况进行了公示，公示期间无异议。

山东大学等十家单位对区域综合能源系统低碳高效运行关键技术开展研究，突破了统一能流建模、动态全域碳轨迹追踪、信息物理系统融合、多源异构数据插补、全状态在线识别、分布式全域感知、日前随机优化调度、分布式优化控制等九项关键技术。主要创新成果：综合能源系统能-碳-信息的一致性建模技术、数据-机理驱动的综合能源系统全状态智能感知技术、综合能源云边协同分布式优化调控技术。

项目成果取得成果159项（发明专利40件，SCI/EI论文89篇，软著19项，标准7项，著作4项）；项目成果实现商品转化，已实际应用于全球6个国家、全国15个省区、山东省11个城市，涵盖工业园区、建筑楼宇、智能交通、智慧农业等多种典型场景，年均调度能源生产超过20亿千瓦时，减少能耗超过3亿千瓦时，有效追踪并减少碳排放超过300万吨，社会经济效益显著。

项目成果整体达到了国际领先水平。

提名该项目为2024年度山东省科学技术进步奖一等奖。

三、项目简介

本项目属于能源与动力领域。

综合能源系统有助于提高能源整体利用效率，促进可再生能源开发与消纳，保

障供能可持续性和安全性，是支撑“双碳”目标实现的关键技术手段。其信息物理强耦合、多物理特性共存、多终端互联互通的典型特征下，当前技术在信物融合、状态感知、终端调控存在瓶颈，涉及到调控架构“云-边-端”各层级，严重影响系统高效运行。项目团队自2013年起，在国内率先开展区域综合能源系统低碳高效运行关键技术研究，突破了九项关键技术，取得了三大创新成果：

1.突破了综合能源系统能-碳-信息的一致性建模技术。针对电热气异质能流转换复杂、物理层信息层交互紧密等特征下的能流模型不统一、碳轨迹不明晰、信息物理系统不融通等问题，提出了统一能流建模、动态全域碳轨迹追踪、信息物理系统融合等技术，开发了综合能源系统能流碳流仿真分析软件，计算误差在 10^{-3} 量级、精度提升8倍、速度提升92.4%，实现了能流-碳流-信息流三流统一的高效精准建模。

2.突破了数据-机理驱动的综合能源系统全状态智能感知技术。针对综合能源系统量测变量种类多、采样周期差异大、设备分布广等特征下的状态感知不全面、不到位、不准确等问题，提出了多源异构数据插补、非侵入监测、分布式全域感知等技术，开发了综合能源数字孪生云平台，有效插补率提升12.6%、压缩动态状态估计区间87.3%、全局信息误差趋近 10^{-6} ，实现了系统高分辨率全状态准确识别。

3.突破了综合能源云边协同分布式优化调控技术。针对多能流的源荷随机不确定性叠加，通信和控制设备时标不一致，导致日前调度不准确、日内滚动协同差、实时控制响应慢等问题，提出了随机优化调度、分布式优化调度、物理信息协同控制等技术，研发了综合能源系统云边协同多尺度优化调度软件和能源协调控制装置，调控误差降低至 $\pm 1\%$ 、优化频率提升35.8%、收敛速度提升21.4%、即插即用性提升39.7%、故障后切负荷损失减少20%，实现了精准调度、高效协同、快速控制。

项目研究的产品已实际应用于95个园区、44家工厂的运营中，应用场景类型达19个，覆盖全球6个国家、全国15个省区、山东省11个城市，涵盖工业园区、建筑楼宇、智能交通、智慧农业等多种典型场景，年均调度能源生产超过20亿千瓦时，减

少能耗超过3亿千瓦时，有效追踪并减少碳排放超过300万吨，总经济效益超过25亿元。项目整体成果达到了国际领先水平，为区域综合能源系统发展提供了技术保障。

四、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权 (标准) 类别	知识产权(标准)具体名称	国家(地 区)	授权号(标准编 号)	授权(标准 发布)日期	证书编号(标 准批准发布部 门)	权利人(标准起草 单位)	发明人(标准起草人)	发明专 利(标 准)有 效状态
发明专 利	基于边缘计算的多区域综合能源 系统分布式协同优化方法	中国	ZL20211077433 2.5	2022-06-10	5224056	山东大学	赵浩然; 王梦雪; 田航	有效
发明专 利	基于奇异摄动的综合能源系统分 布式趋同控制方法及系统	中国	ZL20201079035 8.4	2022-01-25	4902911	山东大学	刘帅; 张焱; 孙波; 张 承慧	有效
发明专 利	一种多能源耦合能量管理系统及 优化方法	中国	ZL20181011259 2.4	2021-03-26	4322196	东北大学	马大中; 孙秋野; 余 越; 丁志浩	有效
发明专 利	一种电热系统的耦合方法, 可视 化平台及仿真方法	中国	ZL20201164194 6.8	2023-04-11	5869669	山东大学	王俊杰; 赵浩然; 陈常 念; 信思笑	有效
发明专 利	综合能源调控系统及其控制方 法、服务器	中国	ZL20191139748 9.X	2023-10-31	6444585	上海科梁信息科 技股份有限公司	袁全宁; 李鸿彪; 石林 龙; 鲍秀昌; 张帅	有效
发明专 利	一种基于多参数规划的电-气系 统分布式协同方法及系统	中国	ZL20221088569 3.1	2023-03-24	5812197	山东大学	李正烁; 杨畅; 高晗	有效

知识产权 (标准) 类别	知识产权(标准)具体名称	国家(地 区)	授权号(标准编 号)	授权(标准 发布)日期	证书编号(标 准批准发布部 门)	权利人(标准起草 单位)	发明人(标准起草人)	发明专 利(标 准)有 效状态
发明专 利	一种分布式能源管理用环境监控 装置	中国	ZL20211077149 1.X	2023-07-07	6124414	卡奥斯能源科技 有限公司	孙玉海; 柴纪强; 朱亮	有效
发明专 利	一种基于能源枢纽最优运行缓减 配电网阻塞的方法	中国	ZL20201015715 3.2	2020-03-09	6440469	华北电力大学	胡俊杰; 刘雪涛	有效
论文	A dual-driven linear modeling approach for multiple energy flow calculation in electricity-heat system	中国	DOI10.1016/j.ap energy.2022.118 872	2022-05-23	Applied Energy	山东大学	田航; 赵浩然; 刘春 阳; 陈健; 吴秋伟; Terzija,Vladimir	有效
论文	基于碳熵指标的电热互联综合能 源系统碳轨迹追踪方法	中国	DOI10.7500/AE PS20220409003	2022-10-14	电力系统自动 化	山东大学	王梦雪; 赵浩然; 刘春 阳; 王俊杰; 信思笑; 黄晓莉	有效

五、主要完成人情况表

赵浩然、刘帅、马大中、孙荣峰、胡俊杰、柴纪强、刘念、王超、李正烁、傅春明、裴善鹏、沈全荣、李浩然、田航、李鸿彪。

六、主要完成人情况表

山东大学、山东省科学院能源研究所、东北大学、卡奥斯能源科技有限公司、青岛特锐德电气股份有限公司、华北电力大学、山东电工电气集团有限公司、南京南瑞继保工程技术有限公司、山东电力工程咨询院有限公司、上海科梁信息科技股份有限公司。