

美的集团家用空调事业部

研究生联合培养项目需求表

联 培 项 目 编 号： FSNEU-2026-MDKT-1

联 培 项 目 名 称： 家庭冷热电多能协同优化调度
算法研发

联 培 单 位： 美的集团家用空调事业部

项 目 负 责 人： 陈耀圣

联 系 电 话： 18988509834

单 位 负 责 人： 江海昊

联 系 电 话： 15573261025

东北大学佛山研究生创新学院

填表说明

- 1、 本表由联合培养基地填写，务必保证信息全面准确。
- 2、 联合培养基地每年 3 月前将本表交于东北大学佛山研究生创新学院，用于本年度接收联合培养研究生。
- 3、 一份需求表只能填写一个项目，且需求表上交后原则上不允许取消或更改。
- 4、 联培项目编号为：东北大学佛山研究生创新学院简称佛山研究生创新学院，简称代码-FSNEU、年份-202X、基地名称简称代码-XXX(广州海格通信集团股份有限公司简称海格通信，简称代码 HGTX)、本基地本年度项目序号 X X，例如：FSNEU-2022-HGTX-1。
- 5、 各栏目内容可续页。

东北大学佛山研究生创新学院联培基地项目需求表

项目编号	FSNEU-2026-MDKT-1	项目名称	家庭冷热电多能协同优化调度算法研发
联培课题方向	智慧能源与优化算法		
所需研究生学科方向	电气工程学科 电力系统优化运行、电力市场方向		
需求人数	1		
岗位要求	编程能力：精通 Python（NumPy/SciPy/PyTorch/JAX），熟悉 MATLAB/YALMIP/Gurobi/CPLEX 算法基础：熟悉动态规划、模型预测控制、强化学习、随机优化等至少两类方法 有微电网/综合能源系统优化调度算法研究经验		
项目简介			
<p>在全球碳中和推动下，家庭能源系统正从单一的"用电终端"向"产消一体化智能体"演进——屋顶光伏、储能电池、空气源热泵、电动汽车充电桩等设备快速普及，形成复杂的家庭多能流系统。然而，设备数量的增长并未带来能效的线性提升。当前家庭能源管理普遍存在"设备孤岛"现象：光伏逆变器、储能EMS、热泵控制器、充电桩各自独立运行，缺乏统一调度，导致光伏弃光率高达15%-30%；储能充放电策略粗放，电池寿命损耗快；热泵与空调与电价信号脱节，运行成本高。目前，行业主流的家庭智慧能源管理系统已实现设备互联与基础能量管理，开始研究随机优化+机器学习的混合算法，实现家庭能源系统的预测性调度。本项目旨在研发面向家庭冷热电多能源的优化调度算法，突破随机优化、强化学习等智能算法在能源系统的工程化应用瓶颈，为美的家庭能源管理系统，提供核心算法模块，支撑新一代家庭能源管理产品差异化竞争。</p>			

二、研究现状：

1. 国际研究进展

在家庭能源系统优化调度领域，国际学术界已形成较为丰富的研究体系，但针对冷热电多能协同的研究仍处于起步阶段。

在单能流优化方面，以光伏-储能系统为对象的调度算法已相对成熟。早期研究主要采用确定性优化方法，如基于日前光伏和负荷预测的混合整数线性规划模型，以最小化电费或最大化光伏自消纳率为目标。随着不确定性量化方法的引入，随机规划与鲁棒优化逐渐成为主流。两阶段随机规划通过生成典型场景描述光伏和负荷的不确定性，在日前决策中考虑实时调整的灵活性；分布鲁棒优化则进一步克服了传统随机规划对概率分布精确性的依赖，基于历史数据构建模糊集，寻求最坏分布下的最优解，在保守性与经济性之间取得平衡。

在多能流协同方面，欧洲学者率先开展了综合能源系统优化研究，但主要聚焦于区域级或园区级场景，如热电联产机组、热泵、储热装置的协同调度，采用能源集线器模型或能流网络模型描述多能耦合关系。针对家庭尺度的研究相对较少，且多简化为电-热二元系统，对制冷负荷与空调系统的精细化建模不足。近年来，随着电动汽车和热泵的普及，部分研究开始关注电-热-交通的协同优化，但冷能流的主动调度仍未得到充分重视，空调系统多被视为不可控的弹性负荷，而非可优化的决策变量。

在实时控制层面，模型预测控制因其处理约束和多步优化的能力，被广泛应用于日内滚动调度。然而，传统 MPC 依赖精确的物理模型，在家庭场景中存在模型失配问题。深度强化学习为解决这一问题提供了新思路，通过数据驱动学习最优策略，无需显式建模系统动态。谷歌 DeepMind 与英国国家电网的合作表明，强化学习可显著降低数据中心冷却能耗。但在家庭能源系统中，强化学习面临动作空间维度高、物理约束难保证、样本

效率低等挑战，现有研究多局限于仿真验证，工程化应用较少。

2. 国内研究进展

国内研究起步较晚，但近年来发展迅速，主要集中于微电网和分布式能源系统优化，家庭场景的研究相对薄弱。

在算法层面，清华、浙大、华科等高校在随机优化与分布鲁棒优化方面取得了显著进展，提出了基于数据驱动的分布模糊集构建方法、基于凸松弛的高效求解算法等，为家庭场景的不确定性处理提供了理论基础。在强化学习应用方面，国内学者主要聚焦于电力系统调度、微电网能量管理等宏观场景，针对家庭多能流系统的研究较少，且多停留在算法仿真阶段，缺乏与真实系统的耦合验证。

在产业层面，华为、阳光电源等企业推出了光储一体机及配套能量管理系统，但优化策略仍以规则控制和简单预测为主，未涉及冷热电多能协同的精细化算法。海尔、格力等家电企业在热泵-空调协同控制方面有所布局，但主要关注设备本体的节能优化，缺乏与光储系统的全局协同。

现有研究的不足

综合国内外研究现状，当前家庭冷热电多能协同优化调度算法存在三方面不足。

第一，多能流耦合建模的精细化程度不足。现有研究多采用简化的静态模型描述热泵和空调特性，忽略了制热/制冷系数随室外温度、出水温度的动态变化，也未充分考虑建筑热惯性的储能特性，导致优化结果在实际运行中偏差较大。

第二，不确定性量化与计算效率的矛盾尚未解决。随机规划和分布鲁棒优化虽能处理不确定性，但引入大量场景或复杂模糊集后，问题规模急剧膨胀，传统求解器难以满足家庭场景的实时性要求。现有的加速算法多针对特定问题结构设计，通用性和可扩展性有限。

第三，多时间尺度优化的协同机制缺失。日前计划、日内滚动、实时控制三层优化多独立研究，缺乏统一的目标函数和约束传递机制，导致各层决策冲突或保守叠加，无法实现全局最优。

三、关键性问题或技术：

1) 多能流耦合建模难

痛点：电、热、冷能量形式异质，热泵制热/制冷特性非线性，建筑热惯性动态复杂，传统电力系统优化模型无法直接套用。

目标：建立电-热-冷统一的状态空间模型，量化热泵COP、储能SOC、室内温度、室外温度的耦合关系，支撑优化算法求解。

2) 不确定性量化与决策鲁棒性矛盾

痛点：光伏出力、户用负荷、室外温度、动态电价均具随机性，传统确定性优化在实际运行中偏差大；而保守的鲁棒优化又导致经济性差。

目标：开发数据驱动的分布鲁棒优化（DRO）算法，在"经济性"与"鲁棒性"之间自适应权衡，给出具有概率保证的调度方案。

3) 多时间尺度优化协同难

痛点：日前计划（24h）追求经济性最优，但预测误差大；实时控制（秒级）追求跟踪精度，但缺乏全局视野。两者时间尺度差异大，直接叠加导致频繁调节、设备磨损。

目标：设计多时间尺度协同机制——日前提供"粗调"基准与约束边界，日内滚动优化"细调"修正，实时层"微调"跟踪，实现分层递阶、自洽一致。

四、预期目标：			
1 学术目标			
发表论文至少 1 篇，申请发明专利至少 2 项，形成家庭冷热电协同优化算法的技术报告与代码库。			
2 技术目标			
开发多时间尺度协同优化算法，实现日前优化求解时间小于 30 秒、日内滚动小于 10 秒、实时决策小于 1 秒，较现有规则策略提升经济性 15%以上。			
3 产品目标			
算法模块完成仿真验证并接入美的家庭能源管理系统架构，输出可工程化的控制策略与接口规范。			
项目 负责人 项目 经历			
起止时间	项目名称	主要内容	
2022-01-01 至 2023-12-31	家庭能源管理智能系统 研发	负责面向终端消费者，安装商，经销商等应用端产品规划与功能架构设计	
2022-10-01 至 2024-7-31	家庭单/三相能源管理器 研发	负责适用于家庭光储系统的能源管理器产品设计	
2024-01-01 至 2025-12-31	家庭能源物联网控制器 研发	负责协调控制光-储-充-热多能设备的物联网控制器产品设计	
工 作 计 划 安 排			
序号	起止时间	阶段内容	工作量估计 (天)
1	2026. 7—2026. 12	基础建模与数据，包括实验环境熟悉，数据预处理，仿真平台搭建等	150
2	2027. 1 — 2027. 9	核心算法研发，包括算法架构设计，算法开发，云端接口设计，算法数据验证和迭代	230
3	2027. 10—2028. 4	验证与总结，包括部署真实系统，论文和专利撰写，算法文档整理与答辩	160