

同行专家业内评价意见书编号：20250858207

## 附件1

# 浙江工程师学院（浙江大学工程师学院） 同行专家业内评价意见书

姓名：潘霖烨

学号：22260496

申报工程师职称专业类别（领域）：能源动力

浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）制

2025年03月12日

## 填表说明

一、本报告中相关的技术或数据如涉及知识产权保护、军工项目保密等内容，请作脱密处理。

二、请用宋体小四字号撰写本报告，可另行附页或增加页数，A4纸双面打印。

三、表中所涉及的签名都必须用蓝、黑色墨水笔，亲笔签名或签字章，不可以打印代替。

四、同行专家业内评价意见书编号由工程师学院填写，编号规则为：年份4位+申报工程师职称专业类别(领域)4位+流水号3位，共11位。

## 一、个人申报

**（一）基本情况【围绕《浙江工程师学院（浙江大学工程师学院）工程类专业学位研究生工程师职称评审参考指标》，结合该专业类别(领域)工程师职称评审相关标准，举例说明】**

### 1. 对本专业基础理论知识和专业技术知识掌握情况(不少于200字)

本人长期从事电气工程领域的研究与工程实践，重点关注储能系统优化、虚拟电厂（VPP）调度以及多能互补优化等方向。系统掌握了电力系统分析、储能技术、优化调度方法以及不确定性处理等核心理论，熟悉电力市场机制及碳排放约束优化。掌握的核心数学理论包括线性规划、非线性优化、鲁棒优化、随机优化及多目标优化方法，并能够将这些方法应用于实际工程问题求解。

在技术方面，熟练掌握MATLAB、Python等编程语言，并能使用Gurobi、CPLEX等优化求解器完成储能系统及虚拟电厂调度优化问题的建模与求解。熟悉储能系统的建模、经济性分析及运行控制，能够结合电网调度需求与市场环境，构建满足实际运行需求的储能优化模型。此外，对新能源消纳、电网安全稳定分析及智能调度技术有深入理解，能够结合储能、可再生能源及负荷侧管理，提升能源系统运行效率。在实际工程中，我不断学习和运用最新的电力系统优化理论与储能技术，为储能电站及虚拟电厂的高效运行提供技术支持。

### 2. 工程实践的经历(不少于200字)

在工程实践方面，我积极参与储能电站及虚拟电厂的建设与优化工作，先后参与温州梅屿电厂储能电站项目和宁夏混合储能项目，并承担了多个关键任务。

在温州梅屿电厂储能电站项目中，我主要负责储能系统优化与管理，具体工作包括现场消防系统的对接、一次电路图的修改优化，以及协助完成储能电站运行成本最低优化建模。通过优化建模，提高了储能系统的安全性，并降低了运行成本，为项目的顺利实施提供了技术支撑。

在宁夏混合储能项目中，我负责项目调研报告的撰写，并承担了混合储能多目标优化任务，包括代码编写、模型构建及求解。该项目重点研究了储能系统的优化配置及调度策略，通过优化算法提升了储能系统的整体运行效率，并优化了资源配置策略，为项目决策提供了重要的技术支持。

此外，在硕士研究过程中，我结合“考虑不确定性的多能互补虚拟电厂优化调度”课题，深入企业实践，依托集团“以集中式储能电站为主体的高可靠高灵活新型虚拟电厂关键技术与工程示范”项目，先后前往浙江虚拟电厂和宁夏混合储能项目现场进行学习与实践。目前，我已发表一篇EI会议论文，公开一份发明专利。同时，我将继续参与浙江虚拟电厂项目，并深入开展虚拟电厂多目标优化调度研究。

### 3. 在实际工作中综合运用所学知识解决复杂工程问题的案例（不少于1000字）

#### 一、项目背景

随着新能源渗透率的不断提高，电网运行的不确定性和调度复杂性显著增加。虚拟电厂作为一种整合可再生能源、储能系统及需求侧资源的新型调度模式，能够提升能源管理的灵活性，提高新能源消纳能力。然而，虚拟电厂的优化调度涉及多种能量形式（如风能、光伏、电池储能、负荷侧调节等），且受电价波动、气象条件、负荷预测误差等因素的影响，优化建模和决策面临较大挑战。

本案例基于浙江虚拟电厂项目，研究了一种考虑不确定性的两阶段鲁棒经济性与碳排放优化调度方法，旨在平衡经济性与低碳目标，提升虚拟电厂的运行效率和稳定性。

#### 二、问题分析

在实际工程应用中，虚拟电厂的调度优化面临以下主要挑战：

1. 能源不确定性：风能、光伏等可再生能源受天气因素影响较大，存在波动性和不可预测性，影响调度决策的稳定性。
2. 多能互补优化：虚拟电厂需协调不同能源形式（风能、光伏、储能、电动汽车等）之间的互补特性，以提升整体效率。
3. 碳排放约束：在“双碳”目标背景下，电力系统的运行需要考虑碳排放约束，传统的经济调度模型难以兼顾低碳与经济性。
4. 优化求解复杂度：虚拟电厂的调度优化是一个高维、多约束的非线性优化问题，求解效率对实际应用具有重要影响。

### 三、解决方案

针对上述问题，我在浙江虚拟电厂项目中提出了一种两阶段鲁棒优化模型，结合经济调度与碳排放约束，实现对多能互补系统的优化调度。具体解决方案如下：

首先，我们需要构建两阶段鲁棒优化模型。在第一阶段，即日前优化调度阶段，基于风光预测数据和电价信息，构建经济性与碳排放优化目标，确定储能充放电计划及电力交易策略。在第二阶段，即实时调度修正阶段：根据实际出力数据和电力市场价格调整调度方案，采用鲁棒优化方法处理新能源出力的不确定性。

其次，优化算法与求解模型。首先，我们采用场景生成方法模拟风光波动情况，提高调度方案的适应性。并采用混合整数线性规划（MILP）进行建模，并结合Gurobi优化求解器求解最优调度方案。

最后，展开仿真分析与工程应用。我们通过仿真模拟，验证了优化模型在不同气象条件和电力市场价格波动下的鲁棒性。在实际应用中，该方法有效降低了虚拟电厂的运行成本，同时减少了碳排放，为低碳能源系统的建设提供了理论和技术支持。

### 四、项目成果

相比传统优化方法，该优化调度策略在实际运行中显著降低了储能充放电成本，整体运营成本下降约8.5%，有效提升了虚拟电厂的经济收益。与此同时，该方法充分考虑碳交易机制下的排放约束，通过优化能源调度策略，减少了约12.3%的碳排放，不仅降低了碳排放成本，也进一步增强了虚拟电厂的绿色低碳优势。在不同气象条件下，两阶段优化调度策略提高了虚拟电厂的灵活性和鲁棒性，使其能够更精准地适应新能源出力波动，优化负荷匹配，提高新能源的消纳比例，从而增强系统的整体运行稳定性和经济可行性。

### 五、总结

本案例基于浙江虚拟电厂项目，研究了虚拟电厂的优化调度策略，并结合工程应用进行了验证。项目的成功实施不仅提升了虚拟电厂的经济性和环保性，同时也为未来的大规模虚拟电厂调度提供了借鉴。通过该工程实践，我深入掌握了储能优化、虚拟电厂调度、多能互补优化及鲁棒优化方法，并将理论研究成果应用于实际工程，积累了宝贵的实践经验。未来，我将继续在虚拟电厂优化调度领域开展深入研究，并推动智能电网及储能系统的高效运行。

(二) 取得的业绩(代表作)【限填3项, 须提交证明原件(包括发表的论文、出版的著作、专利证书、获奖证书、科技项目立项文件或合同、企业证明等)供核实, 并提供复印件一份】

1. 公开成果代表作【论文发表、专利成果、软件著作权、标准规范与行业工法制定、著作编写、科技成果获奖、学位论文等】

成果名称	成果类别 [含论文、授权专利(含发明专利申请)、软件著作权、标准、工法、著作、获奖、学位论文等]	发表时间/授权或申请时间等	刊物名称/专利授权或申请号等	本人排名/总人数	备注
Two-stage Robust Economic and Carbon Emission Optimal Scheduling of Multi-Energy Virtual Power Plant	会议论文	2024年07月28日	Chinese Control Conference	1/5	EI会议收录
一种多能互补虚拟电厂的优化调度方法及系统	发明专利申请	2024年09月02日	申请号: 202411222823.9	2/5	

2. 其他代表作【主持或参与的课题研究项目、科技成果应用转化推广、企业技术难题解决方案、自主研发设计的产品或样机、技术报告、设计图纸、软课题研究报告、可行性研究报告、规划设计方案、施工或调试报告、工程实验、技术培训教材、推动行业发展中发挥的作用及取得的经济社会效益等】

<b>(三) 在校期间课程、专业实践训练及学位论文相关情况</b>	
课程成绩情况	按课程学分核算的平均成绩： 88 分
专业实践训练时间及考核情况(具有三年及以上工作经历的不作要求)	累计时间： 1 年(要求1年及以上) 考核成绩： 84 分
<b>本人承诺</b>	
<p>个人声明：本人上述所填资料均为真实有效，如有虚假，愿承担一切责任，特此声明！</p> <p style="text-align: right;">申报人签名： 潘霖焯</p>	



浙江大学研究生院  
攻读硕士学位研究生成绩表

学号: 22260496	姓名: 潘霖焯	性别: 男	学院: 工程师学院	专业: 电气工程	学制: 2.5年						
毕业时最低应获: 24.0学分	已获得: 29.0学分			入学年月: 2022-09	毕业年月:						
学位证书号:			毕业证书号:			授予学位:					
学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质	学习时间	课程名称	备注	学分	成绩	课程性质
2022-2023学年秋季学期	数值计算方法		2.0	92	专业选修课	2022-2023学年春夏学期	高阶工程认知实践		3.0	89	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	新时代中国特色社会主义思想理论与实践		2.0	89	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	智能装备与创新设计实践		4.0	88	专业学位课
2022-2023学年秋季学期	工程技术创新前沿		1.5	77	专业学位课	2022-2023学年春夏学期	研究生英语		2.0	85	专业学位课
2022-2023学年秋冬学期	工程管理		2.0	85	跨专业课	2022-2023学年夏季学期	自然辩证法概论		1.0	84	公共学位课
2022-2023学年秋冬学期	研究生论文写作指导		1.0	93	专业选修课	2022-2023学年夏季学期	人工智能与电力系统		2.0	89	跨专业课
2022-2023学年冬季学期	产业技术发展前沿		1.5	85	专业学位课	2022-2023学年夏季学期	智能装备创新设计案例分析		2.0	94	专业学位课
2022-2023学年春季学期	研究生英语基础技能		1.0	90	公共学位课		硕士生读书报告		2.0	通过	
2022-2023学年春季学期	工程伦理		2.0	96	专业学位课						

说明: 1. 研究生课程按三种方法计分: 百分制, 两级制 (通过、不通过), 五级制 (优、良、中、及格、不及格)。  
2. 备注中 "\*" 表示重修课程。

学院成绩校核章:

成绩校核人: 张梦依

打印日期: 2025-03-20



经检索“Engineering Village”，下述论文被《Ei Compendex》收录。（检索时间：2024年11月26日）。

<RECORD 1>

Accession number:20244117154881

Title:Two-stage Robust Economic and Carbon Emission Optimal Scheduling of Multi-Energy Virtual Power Plant

Authors:Pan, Linye (2); Zhang, Chenjian (2); Yan, Wenjun (1, 2); Chen, Yanqiao (3); Zhao, Lulu (3)

Author affiliation:(1) Zhejiang University, College of Electrical Engineering, Hangzhou; 310000, China; (2)

Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou; 310000, China; (3) Energy New Energy Technology

Research Institute Company Limited, Beijing; 100000, China

Corresponding author:Pan, Linye(22260496@zju.edu.cn)

Source title:Chinese Control Conference, CCC

Abbreviated source title:Chinese Control Conf., CCC

Part number:1 of 1

Issue title:Proceedings of the 43rd Chinese Control Conference, CCC 2024

Issue date:2024

Publication year:2024

Pages:1954-1961

Language:English

ISSN:19341768

E-ISSN:21612927

ISBN-13:9789887581581

Document type:Conference article (CA)

Conference name:43rd Chinese Control Conference, CCC 2024

Conference date:July 28, 2024 - July 31, 2024

Conference location:Kunming, China

Conference code:202697

Sponsor:Chinese Association of Automation; Kunming University of Science and Technology; Systems Engineering Society of China; Technical Committee on Control Theory (TCCT), Chinese Association of

Automation (CAA); Yunnan University

Publisher:IEEE Computer Society

Number of references:9

Main heading:Carbon capture and utilization

Controlled terms:Carbon sequestration - Operating costs - Virtual Power Plants

Uncontrolled terms:Carbon emissions - Column generation - Constraints generation - Economic emission -

Multi energy - Multi-energy virtual power plant - Optimisations - Two-stage robust - Uncertainty - Virtual power plants

Classification code:1006 - 1501.4 - 1502.1.2 - 911.1 Cost Accounting - 911.2 Industrial Economics

DOI:10.23919/CCC63176.2024.10662394

Database:Compendex

Compilation and indexing terms, Copyright 2024 Elsevier Inc.

注:

1. 以上检索结果来自 CALIS 查收查引系统。
2. 以上检索结果均得到委托人及被检索作者的确认。



# Two-stage Robust Economic and Carbon Emission Optimal Scheduling of Multi-Energy Virtual Power Plant

Linye Pan<sup>1</sup>, Chenjian Zhang<sup>1</sup>, Wenjun Yan<sup>2\*</sup>, Yanqiao Chen<sup>3</sup>, Lulu Zhao<sup>3</sup>

1. Polytechnic Institute, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China  
E-mail: 22260496@zju.edu.cn

2. College of Electrical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310000, China  
E-mail: yanwenjun@zju.edu.cn

3. Energy New Energy Technology Research Institute Company Limited, Beijing 100000, China  
E-mail: cyqcmx@yahoo.com.cn

**Abstract:** For the Multi-Energy Virtual Power Plant (MEVPP), integrating heating, cooling, electricity and gas, two-stage robust optimization models with a min-max-min structure are developed with the objectives of separately minimizing operating costs and carbon emissions. These models incorporate uncertainty in photovoltaic output and electric load. Leveraging strong duality theory and the Big-M method, the intermediate and inner optimization problems are transformed into single-level optimization problems. The intermediate and inner layers generate worst-case scenarios, while the outer layer explores optimal decisions regarding purchasing, selling, and load shedding under these scenarios. The two-stage model is solved employing the Column-and-Constraint Generation (C&CG) algorithm. Case studies validate the efficacy of the proposed models and offer various scheduling outcomes under economic and carbon emission objectives.

**Key Words:** Multi-energy virtual power plant, Two-stage robust, Optimization, Column and constraint generation, Uncertainty

## 1 Introduction

In the context of “peak carbon emissions” and “carbon neutrality”, the energy power system which encompass “source-network-load-storage” is facing novel demands and challenges in achieving low-carbonization. Elevating the role of renewable energy in power generation is critical. Consequently, the integration of distributed renewable energy and the realization of multi-energy interconnection within Multi-Energy Virtual Power Plants (MEVPP) have emerged as key areas of research. Nonetheless, MEVPP introduces multiple uncertainties, which could potentially compromise the stability of the power system.

Currently, there are currently two main areas of research concerning uncertainty in MEVPP: renewable energy output and load uncertainty. In [1], the authors utilized a scenario-based approach to model wind and solar output uncertainties in VPP, creating a day-ahead optimization schedule to enhance operational efficiency. In [2], the authors proposed explores uncertainties in distributed new energy sources, proposing a method for defining scheduling boundary probability distributions in VPP-main grid coordination scenarios. In [3], authors developed a robust optimization model for scheduling distributed power sources under uncertainty. By employing robust duality transformation and cutting plane methods, they iteratively converted it into two deterministic virtual power plant scheduling models. These models were then iteratively solved to obtain robust optimization solutions for the uncertainty model. In [4], authors proposed a two-stage robust optimization model with min-max-min formulation of the cooling-heating-electricity-gas integrated energy system, respectively with the optimization objective of minimizing operation cost and carbon emission. In [5], authors proposed a day-ahead

robust bidding strategy for MEVPP to participate in the peak-regulation market, and analyzed the impact of uncertainties for MEVPP on the peak-regulation market aiming to minimize the operation cost. Approaches to uncertainty in problem-solving mainly encompass stochastic programming and robust optimization. Stochastic optimization relies on ample historical data to establish realistic probability distributions. Conversely, conventional robust optimization models impose constraints by assuming an uncertainty set, potentially limiting flexibility in adjusting scheduling conservatism for MEVPP. In contrast, two-stage robust optimization divides the problem into a master problem and sub-problem with mixed-integer linear forms, integrating uncertainty adjustment parameters to adapt solution conservatism.

Furthermore, the aforementioned research often overlooks the inclusion of demand response loads in MEVPP to further align power supply and demand. By adjusting the temporal and spatial distribution of loads and transferring them during periods of relatively low demand, it is possible to alleviate peak load pressure and reduce the system's operational instability.

Therefore, this paper proposes a two-stage robust optimization model for a multi-energy complementary virtual power plant, addressing uncertainties in photovoltaic output and electric load power. Demand response loads are introduced to enhance flexibility. The model, featuring a min-max-min structure, identifies worst-case scenarios and optimal scheduling strategies. Using column-and-constraint generation algorithms, duality theory, and the Big-M method, it determines the scheduling scheme with the lowest cost and minimum carbon emissions.



# 国家知识产权局

310051

浙江省杭州市滨江区西兴街道阡陌路 459 号 D 楼 315 室 杭州铃韬知  
识产权代理事务所(普通合伙)  
赵杰香(17774016842)

发文日:

2024 年 09 月 02 日



申请号: 202411222823.9

发文序号: 2024090201855820

## 专利申请受理通知书

根据专利法第 28 条及其实施细则第 43 条、第 44 条的规定, 申请人提出的专利申请已由国家知识产权局受理。现将确定的申请号、申请日等信息通知如下:

申请号: 2024112228239

申请日: 2024 年 09 月 02 日

申请人: 浙江大学

发明人: 颜文俊, 潘霖焯, 林子程, 黄韬, 季辰焯

发明创造名称: 一种多能互补虚拟电厂的优化调度方法及系统

经核实, 国家知识产权局确认收到文件如下:

权利要求书 1 份 3 页, 权利要求项数: 10 项

说明书 1 份 13 页

说明书附图 1 份 6 页

说明书摘要 1 份 1 页

专利代理委托书 1 份 2 页

发明专利请求书 1 份 5 页

实质审查请求书 文件份数: 1 份

申请方案卷号: QT2024I30411

提示:

1. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 认为其记载的内容与申请人所提交的相应内容不一致时, 可以向国家知识产权局请求更正。

2. 申请人收到专利申请受理通知书之后, 再向国家知识产权局办理各种手续时, 均应当准确、清晰地写明申请号。

审查员: 自动受理

联系电话: 010-62356655

审查部门: 初审及流程管理部



200101  
2023.03

纸件申请, 回函请寄: 100088 北京市海淀区蓟门桥西土城路 6 号 国家知识产权局专利局受理处收  
电子申请, 应当通过专利业务办理系统以电子文件形式提交相关文件。除另有规定外, 以纸件等其他形式提交的文件视为未提交。