

面向低碳与经济协同优化的光储充一体化平台调度策略综述

钱玉儒, 秦梦茹, 孙鑫志

青岛理工大学临沂校区土木与建筑工程系, 山东 临沂

收稿日期: 2026年4月19日; 录用日期: 2026年4月30日; 发布日期: 2026年6月9日

摘要

为了平衡“双碳”目标下光储充一体化平台联通交通网与配电网时低碳性与经济性之间的矛盾, 本文系统总结面向低碳-经济协同优化的调度策略。调度架构从集中式向边云协同演变; 协同建模包括权重系数法、约束转化法和帕累托优化法; 针对光伏与充电负荷不确定性, 通过随机规划、鲁棒优化、分布鲁棒优化和模型预测控制可兼顾保守性、计算效率; 平台参与绿电交易、碳普惠、CCER等碳市场, 结合需求响应与主从博弈实现用户交互。结果表明, 目前的研究中存在多时间尺度协同、碳流追踪精度、博弈模型现实性和算法可解释性不足的问题。未来应重点发展数字孪生虚实协同、可解释人工智能、源-网-车-储-碳多维协同和信息物理安全防御。

关键词

光储充一体化, 低碳调度, 经济性优化

A Review of Dispatching Strategies for Photovoltaic-Storage-Charging Integrated Platforms towards Low-Carbon and Economic Synergistic Optimization

Yuru Qian, Mengru Qin, Xinzhi Sun

Department of Civil and Architectural Engineering, Linyi Campus of Qingdao University of Technology, Linyi Shandong

Received: April 19, 2026; accepted: April 30, 2026; published: June 9, 2026

文章引用: 钱玉儒, 秦梦茹, 孙鑫志. 面向低碳与经济协同优化的光储充一体化平台调度策略综述[J]. 电力与能源进展, 2026, 14(3): 224-233. DOI: 10.12677/aepe.2026.143023

Abstract

To balance the contradiction between low-carbon performance and economic efficiency of the photovoltaic-storage-charging integrated platform connecting the transportation network and distribution grid under the “dual carbon” goals, this paper systematically reviews dispatching strategies for low-carbon and economic synergistic optimization. The dispatching architecture evolves from centralized to edge-cloud collaboration; synergistic modeling includes weight coefficient method, constraint transformation method, and Pareto optimization method. To address uncertainties in photovoltaic output and charging load, stochastic programming, robust optimization, distributionally robust optimization, and model predictive control are employed, balancing conservatism and computational efficiency. The platform participates in carbon markets such as green power trading, carbon inclusion, and CCER, combined with demand response and Stackelberg game for user interaction. Results indicate that existing studies suffer from insufficient multi-timescale coordination, low carbon flow tracking accuracy, unrealistic game models, and weak algorithm interpretability. Future research should focus on digital twin-based virtual-real collaboration, explainable artificial intelligence, source-grid-vehicle-storage-carbon multi-dimensional synergy, and cyber-physical security defense.

Keywords

Integrated Photovoltaic-Storage-Charging, Low-Carbon Dispatch, Economic Optimization

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“双碳”目标的深入推进与新型电力系统建设，正在深刻重塑我国的能源生产与消费格局。2020年我国提出“双碳”目标，对能源的供给与需求侧都提出了新的要求据预测。据相关研究预测，2030年我国电动汽车保有量将达到6000万辆[1]。光储充一体化平台通过有机集成分布式光伏、储能系统与电动汽车充电设施，成为连接交通网与配电网关键技术路径。然而，低碳效益与经济性之间存在固有冲突，根源在于时间尺度错配、价格信号与碳信号错配以及设备约束耦合。本文系统综述面向低碳与经济性协同优化的调度策略，以期平台高质量发展提供参考。

2. 光储充一体化平台调度架构与低碳运行机理

光储充一体化平台的低碳经济协同运行依靠合理的调度架构和合理的低碳运行机理认知，本节首先对调度架构由集中式到边云协同的过程进行梳理，并对其优劣势进行比较，然后分析平台低碳运行的物理基础和碳流传递机理，为后续调度策略设计提供依据。

2.1. 调度架构演进

光储充一体化平台的调度架构是实现其低碳经济协同运行的基础，主要经历了从集中式到分布式，再向边云协同架构的演进。

集中式架构由一个中央云平台执行所有的数据收集、优化计算与指令下发。该架构可实现全局最优调度，但存在通信延迟大、单点故障风险高、用户隐私数据易泄露等问题，难以满足实时控制与信息安

全的需求[2]。

分布式架构基于多智能体系统，将光伏、储能、充电桩等设备建模为自主决策的智能体，通过相邻智能体间的局部通信进行协同。该架构鲁棒性强、扩展性好，但其收敛速度与优化性能在很大程度上受限于通信网络拓扑结构。

边云协同架构融合了上述两者的优势，已成为当前工程应用的主流范式。如图 1 所示，该架构通常分为三层：物理设备层(光伏阵列、储能系统、充电桩、PCS 等)、边缘通信层(边缘网关、MQTT/Modbus TCP 协议)和开发运维支撑层(云平台、调度计划模块、Nacos 集群、策略调度模块等)。在物理设备层中，PCS (功率转换系统)负责直流电和交流电之间的转换；储能系统和电池负责能量缓冲，直流快充和交流侧充电桩负责电动汽车；并网点处 RTU/PLC、温度传感器等负责数据采集和状态监测；边缘通信层中的边缘网关通过 MQTT/Modbus TCP 协议连接物理设备和云平台，实现毫秒到秒的快速响应控制，如功率精准跟踪、局部电压支撑等。开发运维支撑层中的云平台及策略调度模块，实现分钟到小时的全局优化策略，如日前调度计划、碳流预测和交易决策等。

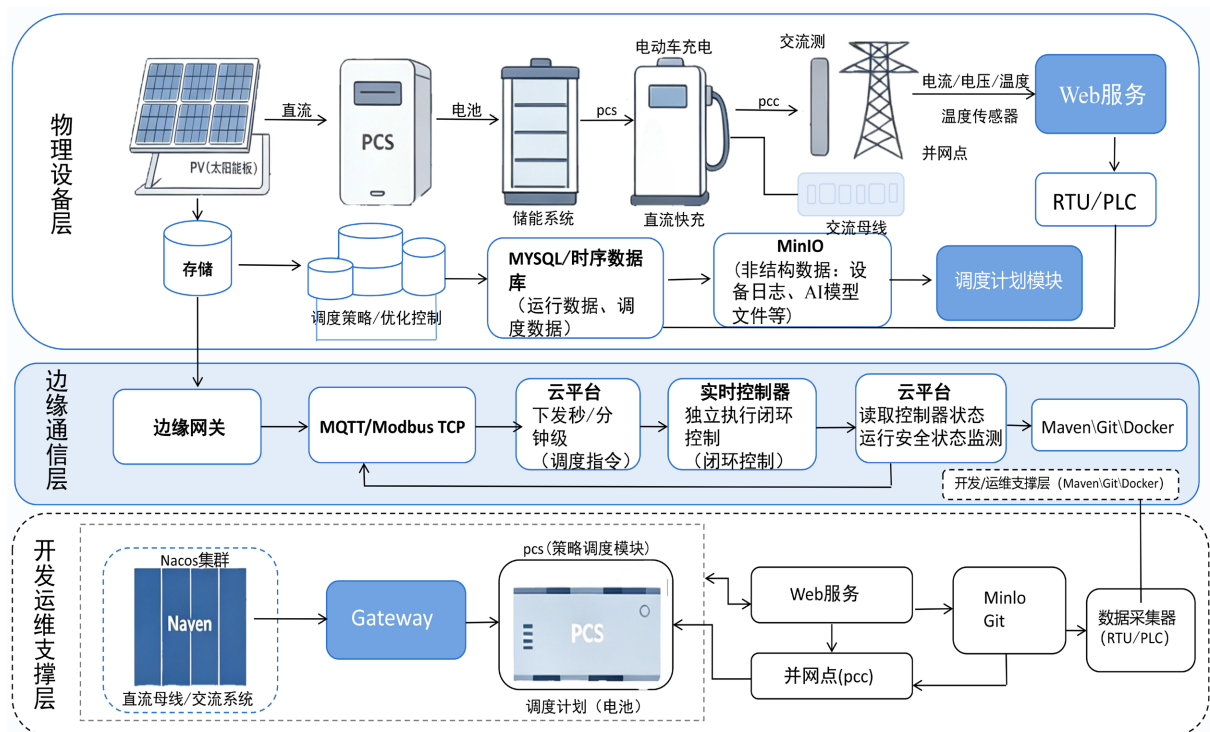


Figure 1. Edge-cloud collaborative dispatching architecture of the photovoltaic-storage-charging integrated platform
图 1. 光储充一体化平台边云协同调度架构图

2.2. 排版规范的完整性

为了直观反映三类架构的应用场景和性能，图 2、图 3 和图 4 从优化主体、通信要求和优化目标等几个方面进行了展示。图 2 所示集中式架构以云平台为决策主体，虽然可以实现全局最优，但存在通信压力大、单点故障风险大的问题；从图 3 可以看出分布式多智能体架构扩展性强，鲁棒性好，但收敛速度慢，且不易实现全局碳流的共享；图 4 表明边云协同架构在云端和边缘的分层协同下兼顾了实时优化和全局最优，是工程应用的主流范式。总体上，边云协同架构在实时性、可扩展性、隐私保护与全局优化能力之间取得了良好平衡。

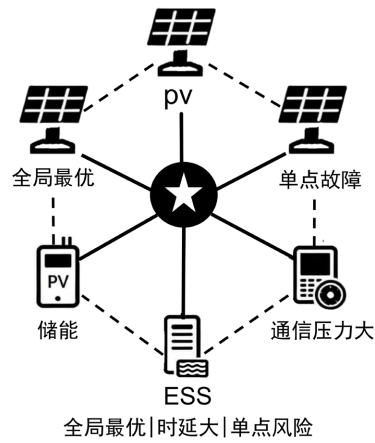


Figure 2. Centralized architecture
图 2. 集中式架构图

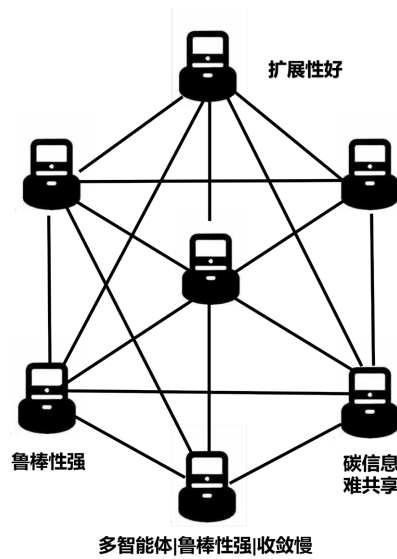


Figure 3. Distributed architecture
图 3. 分布式架构图

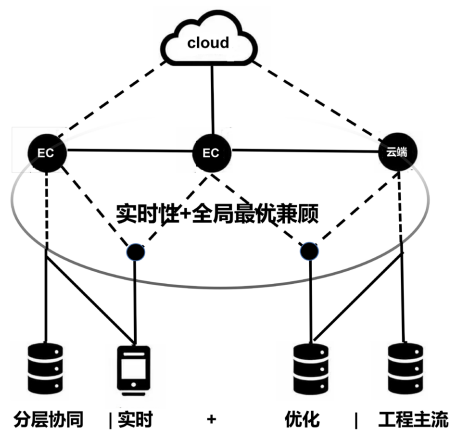


Figure 4. Edge-cloud collaborative dispatching architecture
图 4. 边云协同调度架构图

2.3. 低碳运行机理与碳流溯源

平台运行的碳排放主要来源于外购电网电力。传统的基于平均碳排放因子的用电碳核算方法,无法表征不同时间段内发电结构差异带来的碳排放差别。为此,需引入动态碳排放因子:基于碳排放流理论计算得到的节点碳势能够精细刻画电力从发电端到用户端传输路径上不同节点的碳势差异,是实现精准低碳调度的关键。研究表明,将节点边际因子引入调度模型,相较于使用平均碳排放因子,可带来显著的额外碳减排收益[3]。平台的低碳运行主要依托光伏、储能和具备车网互动功能的电动汽车。通过调度算法,引导用户将用电负荷从碳排放因子较高的时段转移至较低的时段,优先消纳低碳电力。

3. 低碳-经济协同调度建模方法

3.1. 多目标模型

光储充一体化平台的协同调度核心在于平衡经济性与低碳性这两个存在内在冲突的目标。其数学模型通常包含以下要素:

(1) 目标函数

经济性目标包括购电成本、储能折旧成本、运维成本及 V2G 补偿。低碳性目标包括总碳排放量、碳交易成本或绿电消纳率[4]。约束条件涵盖功率平衡、储能 SOC 与充放电功率、光伏出力、充电功率、配电网交互功率及服务质量[5]。

a) 购电成本

$$G_{grid} = \sum_{t=1}^T (P_{buy,t} \cdot \pi_t) \quad (1)$$

其中:

t 为时间索引, $t = 1, 2, \dots, T$;

$P_{buy,t}$ 为第 t 段从电网购电的功率(kW 或 MV);

π_t 为第 t 时段的电价(元/kWh 或 MWh);

b) 总碳排放量

$$E_{total} = \sum_{t=1}^T (P_{buy,t} \cdot \varepsilon_t) \quad (2)$$

其中:

ε_t 为第 t 时段的动态碳排放因子(kg CO₂/kWh 或 t CO₂/MWh);

G_{grid} 为总购电成本(元);

E_{total} 为平台运行总碳排放量 kg CO₂ 或 t CO₂。

(2) 关键讨论与模型扩展

模型可分解为日前调度(确定储能、V2G 的日前计划)与日内滚动优化(利用模型预测控制处理超短期波动)两个层次,实现不同时间尺度的协同。在评估 V2G 的碳减排效益时,必须同步计入其引发的电池退化成本, V2G 的全面成本效益分析。经济性目标可纳入参与绿电/绿证交易的收益、碳交易成本及需求响应补贴等。低碳性目标也可转化为碳配额约束,或与碳价耦合形成碳成本项。

国际采用多目标细菌群体趋化(Multi-objective Bacterial Colony Chemotaxis, MOBCC)算法[6][7],多目标细菌群体趋化算法(MOBCC)在综合能源系统低碳调度中可使总成本降低约 5.56%,风电削减率降至 0.45% [8];国内偏好改进多目标灰狼算法(Improved Multi-objective Grey Wolf Optimizer, IMOOWO) [9],

改进多目标灰狼算法(IMOGWO)在含 V2G 的微网调度中得到了广泛应用, IMOGWO 优化的储能配置方案可使总运行成本降低 7.0%, 净碳排放减少 4.1% [10] [11]。

3.2. 多目标处理方法

为实现经济性与低碳性目标的协同优化, 需将上述双目标模型转化为可求解的单目标问题或获取其折中解集。主流方法可分为三类: 权重系数法、约束转化法及帕累托优化法。

(1) 权重系数法[12]

通过为经济性目标 $F1$ 和低碳性目标 $F2$ 分配权重系数 $w1$ 和 $w2$ (通常满足 $w1 + w2 = 1$), 将多目标问题线性加权为单目标问题:

$$\min F = \omega_1 \cdot F1 + \omega_2 \cdot F2$$

(2) 约束转化法[13]

将其中一个目标(通常是碳排放)转化为约束条件, 优化另一个目标(如经济成本)。例如, 设定碳排放上限 E_{max} , 则模型转化为:

$$\begin{aligned} \min F \\ \text{s.t. } F2 \leq E_{max} \end{aligned}$$

反之亦可设定成本上限以最小化碳排放。该方法的优点是模型直观, 求解相对容易, 特别适用于存在明确碳配额或成本预算的刚性约束场景。其缺点在于约束阈值 E_{max} 的设定需要先验知识, 且同样只能得到单一解, 无法展示不同约束水平下的 Pareto 前沿。

(3) 帕累托优化法[14]

基于进化算法求解非支配解集(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II, nsGA-II), 提供完整权衡信息, 权重主观性小, 决策者可以根据碳价或政策导向选择折中解。计算复杂, 解集筛选需后验决策, 表 1 对比了三种方法。

Table 1. Comparison of three multi-objective collaborative optimization methods

表 1. 三种多目标协同优化方法对比

优化方法	建模复杂度	求解效率	主观性	决策信息完整性	工程适用场景
权重系数法	低	高	强	局部最优解	实时控制、快速决策
约束转化法	中	较高	中	单目标可行解	有碳配额、刚性约束场景
帕累托优化法	高	较低	弱	完整非支配前沿	综合决策、方案比选

在实际应用中, 方法的选择需权衡求解效率、决策信息完备性及工程需求。权重系数法适用于快速决策; 约束转化法适用于政策驱动型场景; 而帕累托优化法则适用于前期规划与策略研究。当前挑战在于如何将市场动态信号(如实时碳价)更有效地嵌入权重或约束中, 以及如何提升帕累托优化在高维、不确定性环境下的求解效率与解的均匀性。

3.3. 碳排放流与碳交易耦合

碳排放流理论将碳排放视为有功潮流下的虚拟“碳流”, 计算节点碳强度[15]。将碳流引入光储充规划, 调度基于节点碳势引导, 可提高减排 9%~14% [16]。碳交易耦合有成本化路径(碳价加目标函数)和配额约束路径(硬约束或阶梯碳价), 绿证和碳普惠也可嵌入模型, 前者将绿证收益加入负成本项, 后者将用户低碳行为赋值为碳积分。

4. 考虑不确定性的协同调度策略

光储充一体化平台涉及光伏出力、电动汽车充电负荷及市场电价等多重不确定性，这些不确定性在时空上交叉耦合，影响调度决策的经济性与低碳性。本节首先分析不确定性来源及其耦合机理，然后分别比较随机规划、分布鲁棒、模型预测控制等典型方法，最后分析基于数据质量和风险偏好的方法选择与混合。

4.1. 不确定性来源

光伏出力不确定性：受辐照度、云层、温度等天气因素影响，光伏发电功率具有显著的间歇性与波动性[17]。其预测误差随预测时间尺度的缩短而增大，在分钟级时间尺度上，波动幅度可达 10%~20% [18] [19]。

电动汽车充电负荷不确定性：由用户的到达时间、初始电池荷电状态(SOC)、停留时间及充电需求等随机行为决定，难以精确预测，研究表明，对充电负荷的短期预测(如 15 分钟级)存在显著误差[20]。

市场电价不确定性：电力市场环境下的分时电价制度引导用户进行错峰充放电，但电价本身的波动性给调度决策带来额外挑战。

上述不确定性在时空上相互关联(如午间光伏大发可能与充电高峰重叠)，增加了协同调度模型的复杂性与求解难度。

4.2. 典型处理方法

针对这些不确定性，学术界与工业界发展了多种优化方法，其重点在于优化性能(经济性、低碳性)与鲁棒性(应对最坏情况的能力)、计算效率之间比较，具体可见表 2。随机规划按照概率分布生成场景，求得期望意义下的最优解，适用于分布信息足够、风险中性的场景，但场景数量随维度指数增加，计算量大[21]。分布鲁棒优化将不确定变量设为一个模糊集(如 Wasserstein 距离约束)，在最坏分布下优化期望，兼顾保守性和经济性，但求解需要半定规划或对偶变换，计算复杂度高，且模糊集半径没有统一标准[22]。模型预测控制为滚动时域优化，每采样时刻按照短期预测求解有限时域问题，只实施第一个控制，然后预测更新，重复优化，天然适应于实时不确定性、工程适用性好，但优化视野有限，难以保证长期最优性[23]。

Table 2. Comparison of uncertainty handling methods for photovoltaic and load

表 2. 光伏与负荷不确定性处理方法对比

优化方法	分布依赖	保守性	计算复杂度	实时性	工程适用性
随机规划	强	低	高	差	历史数据充足场景
分布鲁棒优化	弱	中	很高	差	数据有限但追求均衡
模型预测控制	中	低	中	优	边云协同、实时调度

4.3. 方法选择与混合策略

在实际应用中，方法的选择需基于数据质量、风险偏好和计算资源。

在日前调度阶段，若历史数据丰富，可采用随机规划制定基础计划。对于对极端情况防御要求高的核心系统，可采用鲁棒优化设定安全边界。模型预测控制因其出色的在线校正能力，已成为处理实时波动的首选方法，常与上述方法结合，形成“日前随机/鲁棒优化 + 日内滚动 MPC”的混合策略。总结而言，处理不确定性的核心在于权衡。未来研究趋势在于发展更高效的不确定性建模方法(如基于深度学习

的场景生成)、设计低保守度的鲁棒优化模型,以及探索不同方法在“云-边-端”架构下的协同部署机制。

5. 考虑市场机制与用户互动的协同优化

光储充一体化平台的低碳经济协同不仅依赖于内部优化算法,还高度依赖于与外部市场环境及内部用户群体的有效互动。本章节系统梳理平台参与碳市场机制的方式,以及通过需求响应与博弈策略引导用户行为,从而实现系统级效益最大化的路径。

5.1. 平台参与碳市场机制

光储充一体化平台可以通过如下市场机制提升经济性和低碳性:

(1) 绿电交易和绿证:平台可以将余电交易为绿电或者开发绿证、CCER 并出售,并将余电的收益设为负成本纳入目标函数,实现用电成本降低[24];

(2) 碳普惠和 CCER:对于中小型分布式项目,碳普惠可将用户低碳充电行为(光伏时段充电、V2G 放电)核证为碳积分,抵消排放或者市场交易,为平台带来额外经济激励;

(3) 与碳交易市场耦合:主要有成本化路径(碳价作为成本因子)和配额约束路径(设置碳排放上限),可设计电价与碳价联动的信号[25],引导用户低碳时段用电,实现减碳降费双赢。

5.2. 用户侧需求响应与 V2G 博弈

引导海量电动汽车用户有序参与是释放平台灵活性和碳减排潜力的关键。

(1) 价格型需求响应

平台通过分时或实时电价,利用价格杠杆引导用户调整充电时间,削峰填谷。构建碳-电耦合价格信号,使用户同时参与电价和碳信号,实现经济和低碳的双重激励[26]。

(2) 激励型需求响应

平台通过直接补偿激励用户参与低碳充电或 v2G 放电,削减高碳时段充电负荷带来减排效益。经济性需考虑电池退化成本,计算基于循环寿命模型[27]。

(3) 主从博弈模型

将平台和用户定义为 Stackelberg 博弈的领导者与跟随者,平台制定电价或补贴策略,用户通过改善充电策略来降低成本或获得更大收益;平台根据用户反馈更新策略到平衡。合理的低碳补贴策略有利于提高用户的响应率。更细致的模型考虑用户的异质性(价格敏感型、低碳偏好型、便利优先型),使用不同的激励模型提升平台收益与用户满意度[28]。

5.3. 协同优化的挑战

市场与用户的协同优化面临多重挑战:

(1) 信息不对称:平台难以完全知晓用户的真实充电偏好、停留时间等私有信息,这会影响博弈策略的有效性。

(2) 多市场协调:同时参与能量市场、辅助服务市场、碳市场、绿证市场时,出清规则与时间尺度不同,协调优化复杂。

(3) 用户行为不确定性:价格或激励信号的响应具有随机性,不确定性处理方法进行鲁棒优化。

通过绿电交易、碳市场、价格与激励型需求响应以及博弈论等方法,可以将外部碳成本内部化,并将用户侧的灵活性资源货币化,是实现光储充一体化平台低碳经济协同运行不可或缺的外部驱动力。未来的研究需更深入地将电池全生命周期成本、用户行为建模的复杂性以及多市场耦合机制纳入统一的优化框架。

6. 考虑市场机制与用户互动的协同优化

6.1. 现有研究局限

多时间尺度协同不足：日前、日内、实时调度割裂，导致指令跟踪误差大，难以应对风光快速波动。

多主体博弈模型理想化：常假设用户理性且信息对称，忽略了信息不对称与行为不确定性，致使理论策略在实际中响应率下降。

碳流追踪精度与核算规则缺失：区域平均因子无法反映空间差异，节点碳势计算复杂、更新慢。对储能和 V2G 的“碳泄漏”及全生命周期碳足迹(尤其是电池退化隐含碳)缺乏统一核算标准，影响净减排评估准确性。

算法可解释性与复杂性的矛盾：数据驱动方法(如深度强化学习)精度高但为“黑箱”，传统优化模型可解释性强但刻画复杂系统能力有限，二者难以兼顾。

6.2. 未来发展方向

章基于数字孪生的虚实协同调度：构建高保真数字孪生体，实现跨时间尺度的策略仿真、验证与闭环优化，以解决协同不足的挑战。

可解释人工智能的应用：利用可解释 AI 技术(如注意力机制、物理信息神经网络)提升调度决策的透明度，建立可信、人机协同的调度模式。

“源-网-车-储-碳”多维协同优化：将平台作为虚拟电厂节点，参与更广域的多维资源协同与市场互动，并以统一碳信号引导优化，但需解决跨平台信息交互标准等瓶颈。

信息物理融合系统的弹性安全防御：针对数据篡改、指令伪造等攻击，需构建异常检测、轻量级指令验证(需兼容实时控制)及本地弹性控制的三层防御体系。

7. 结语

本文系统介绍光储充一体化平台低碳经济协同调度方法。边云协同是目前较为全面、实时的协同框架。多目标建模中权重系数法、约束转化法、帕累托优化法各有利弊，加入动态碳排放因子是实现低碳调度的关键；不确定性处理中随机规划、鲁棒优化、分布鲁棒优化、模型预测控制形成不同权衡方案，模型预测控制结合边云协同工程适用性较高。市场互动中，绿电交易、碳市场和设计碳-电耦合价格、激励型需求响应和主从博弈是激发用户灵活性的有效途径。面临的挑战包括：多时间协同缺陷、博弈模型理想化、碳流追踪精度较低和算法可解释性弱等；未来应强化数字孪生虚实协同、可解释人工智能、源-网-车-储-碳多维协同、信息物理安全防御推动平台规模化发展，支撑新型电力系统和“双碳”目标。

基金项目

山东省大学生创新创业训练项目，临沂市科协重点调研课题。

参考文献

- [1] 康童, 朱吉然, 冯楚瑞, 等. 面向光储充一体化社区的有序充电策略研究[J]. 电力系统保护与控制, 2024, 52(9): 132-142.
- [2] 李峥嵘, 刘雨欣, 朱晗, 等. 面向“双碳”目标的光储一体化建筑集群电力协同调度方法研究综述[J]. 建筑节能(中英文), 2023, 51(8): 1-10.
- [3] 李姚旺, 张宁, 杜尔顺, 等. 基于碳排放流的电力系统低碳需求响应机制研究及效益分析[J]. 中国电机工程学报, 2022, 42(8): 2830-2842.
- [4] 陈威, 王永恒, 沈欣炜, 等. 计及碳排放流的光储充一体化电站及加氢站协同规划[J]. 电力系统自动化, 2024,

- 48(13): 40-49.
- [5] 张岩, 韩伟, 宋闯, 等. 含电动汽车的光储充一体化电站设施规划与运行联合优化[J]. 储能科学与技术, 2022, 11(5): 1502-1511.
- [6] Lu, Z.G., Qi, S.J., Zhang, J.F., Cai, Y., Guo, X. and Luo, S. (2021) An Improved Multi-Objective Bacterial Colony Chemotaxis Algorithm Based on Pareto Dominance. *Soft Computing*, **26**, 69-87. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06467-w>
- [7] Lu, Z., Zhao, H., Xiao, H., Wang, H. and Wang, H. (2015) An Improved Multi-Objective Bacteria Colony Chemotaxis Algorithm and Convergence Analysis. *Applied Soft Computing*, **31**, 274-292. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2015.02.046>
- [8] Zhang, X.H., Zhao, X.X., Zhong, J.Q. and Ma, N. (2020) Low Carbon Multi-Objective Scheduling of Integrated Energy System Based on Ladder Light Robust Optimization. *International Transactions on Electrical Energy Systems*, **30**, e12498. <https://doi.org/10.1002/2050-7038.12498>
- [9] 司翠平, 刘映泉. 基于任务分配的无人机蜂群攻击控制优化[J]. 机械设计与制造工程, 2023, 52(9): 45-49.
- [10] Yesilyurt, G., Andic, C., Aydin, E. and Turkay, B. (2024) Optimum Allocation and Sizing of Storages with Multi-Objective Grey Wolf Optimizer. 2024 8th International Artificial Intelligence and Data Processing Symposium (IDAP), Malatya, 21-22 September 2024, 1-7. <https://doi.org/10.1109/idap64064.2024.10711002>
- [11] Yang, H.Z., Ma, Q.L., Zhang, P., Li, Z., Cheng, Z. and Wang, L. (2026) Optimizing the Configuration of Mogwo's Distributed Energy Storage for Low-Carbon Enhancements. *Energies*, **19**, Article 1393. <https://doi.org/10.3390/en19061393>
- [12] 程杉, 刘延光, 刘炜炜, 等. 计及经济性和低碳性的光储充一体化电站多目标优化配置[J]. 电力工程技术, 2024, 43(4): 147-155.
- [13] Haimes, Y.Y., Lasdon, L.S. and Wismer, D.A. (1971) On a Bicriterion Formulation of the Problems of Integrated System Identification and System Optimization. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, **1**, 296-297.
- [14] Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T. (2002) A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, **6**, 182-197. <https://doi.org/10.1109/4235.996017>
- [15] 康重庆, 程耀华, 孙彦龙, 等. 电力系统碳排放流的递推算法[J]. 电力系统自动化, 2017, 41(18): 10-16.
- [16] Xie, B., Zhang, L., Zhao, W., Yuan, Y., Chen, X., Luo, X., et al. (2025) A Study on Optimal Scheduling of Low-Carbon Virtual Power Plants Based on Dynamic Carbon Emission Factors. *Sustainability*, **18**, Article 326. <https://doi.org/10.3390/su18010326>
- [17] 王飏, 路捷, 沙爱民, 等. 考虑光伏不确定性影响的高速公路光储换一体化能源管理策略[J]. 交通运输工程学报, 2024, 24(4): 14-30.
- [18] 金怡婷, 吴含欣, 董树锋. 基于动态碳排放因子的源荷协同低碳需求响应[J]. 电力建设, 2026, 47(2): 188-202.
- [19] Kreuwel, F.P.M., Knap, W.H., Visser, L.R., van Sark, W.G.J.H.M., Vilà-Guerau de Arellano, J. and van Heerwaarden, C.C. (2020) Analysis of High Frequency Photovoltaic Solar Energy Fluctuations. *Solar Energy*, **206**, 381-389. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2020.05.093>
- [20] 赵子懿, 彭清文, 邓铭, 等. 考虑多因素影响与误差修正的充电站负荷预测[J]. 浙江电力, 2024, 43(4): 21-28.
- [21] 赵书强, 赵蓬飞, 韦子瑜, 等. 数据驱动下考虑多预测误差带信息的多场景随机优化调度[J]. 电力自动化设备, 2024, 44(11): 52-59.
- [22] 王波, 王蔚, 马恒瑞, 等. 基于 Wasserstein 两阶段分布鲁棒的多主体多能微网合作博弈优化调度[J]. 电工技术学报, 2025, 40(17): 5553-5570.
- [23] Wang, J.Y., Zhu, R.J., Liao, W.L. and Yin, Z. (2025) Research on Optimal Scheduling of a Photovoltaic-Storage-Charging Integrated Power Station Based on Intraday Two-Stage Model Predictive Control. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, **17**, Article 034107. <https://doi.org/10.1063/5.0246098>
- [24] 王玉洁, 谭忠富, 鞠立伟, 等. 风-光-储联合参与绿电交易下多主体效益分配模型[J]. 电力建设, 2023, 44(5): 134-140.
- [25] 李伊竹林, 韩肖清, 李廷钧, 等. 基于动态电-碳需求响应的综合能源系统日前多元低碳交易方法[J]. 电力系统自动化, 2024, 48(12): 24-35.
- [26] 邵文锋, 何宇, 温拥军, 等. 计及 EV 的综合能源系统双层优化调度策略[J]. 电子科技, 2024, 37(11): 85-94.
- [27] 李晨朝, 陈佳佳, 王敬华. 基于主从博弈和 IGDT 的含电动汽车需求响应光伏园区储能优化配置[J]. 电力建设, 2025, 46(4): 126-136.
- [28] 刘国明, 于晖, 康凯, 等. 考虑需求响应与碳排放的光储充电站容量配置[J]. 电力系统及其自动化学报, 2021, 33(7): 106-112.