



浙江大学 电气工程学院

COLLEGE OF ELECTRICAL ENGINEERING, ZHEJIANG UNIVERSITY



太湖论坛：绿色能源与轨道交通融合发展

交通-能源耦合下电动汽车基础设施规划与调度控制

杨强 浙江大学电气工程学院 教授

qyang@zju.edu.cn

<http://person.zju.edu.cn/qyang>

2025.11

一、电动汽车与电网互动背景



2025.10.15发布《电动汽车充电设施服务能力“三年倍增”行动方案（2025—2027年）》

主要目标：2027年底，实现充电服务能力翻倍增长。**数量规模：**全国建成2800万个充电设施，较2025年9月底的1806.3万个净增近1000万个。**容量提升：**公共充电容量超3亿千瓦，较当前1.99亿千瓦增长50.7%。**保障能力：**满足超过8000万辆电动汽车充电需求，**车桩比降至2:1以下。**

重点任务：

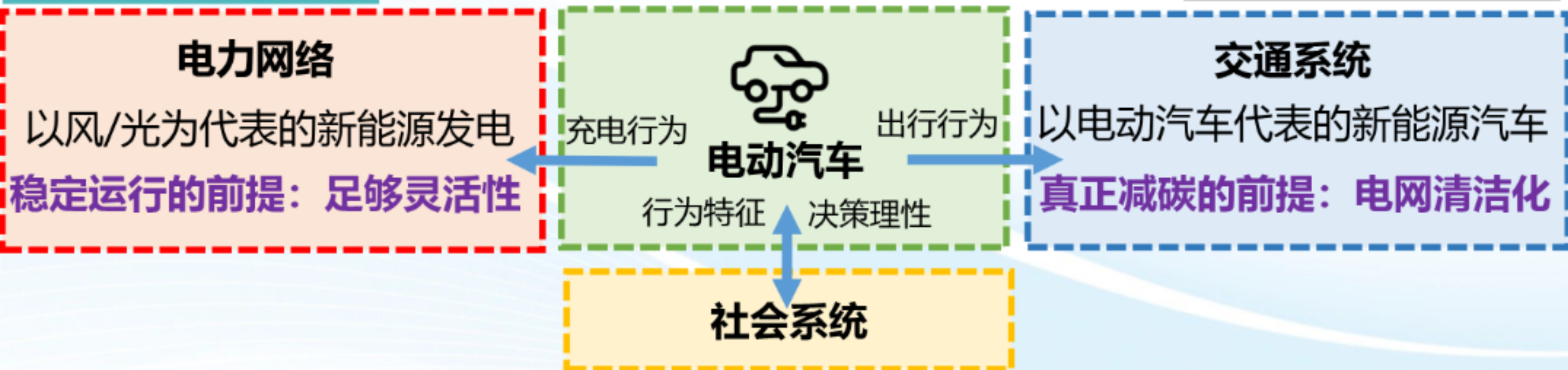
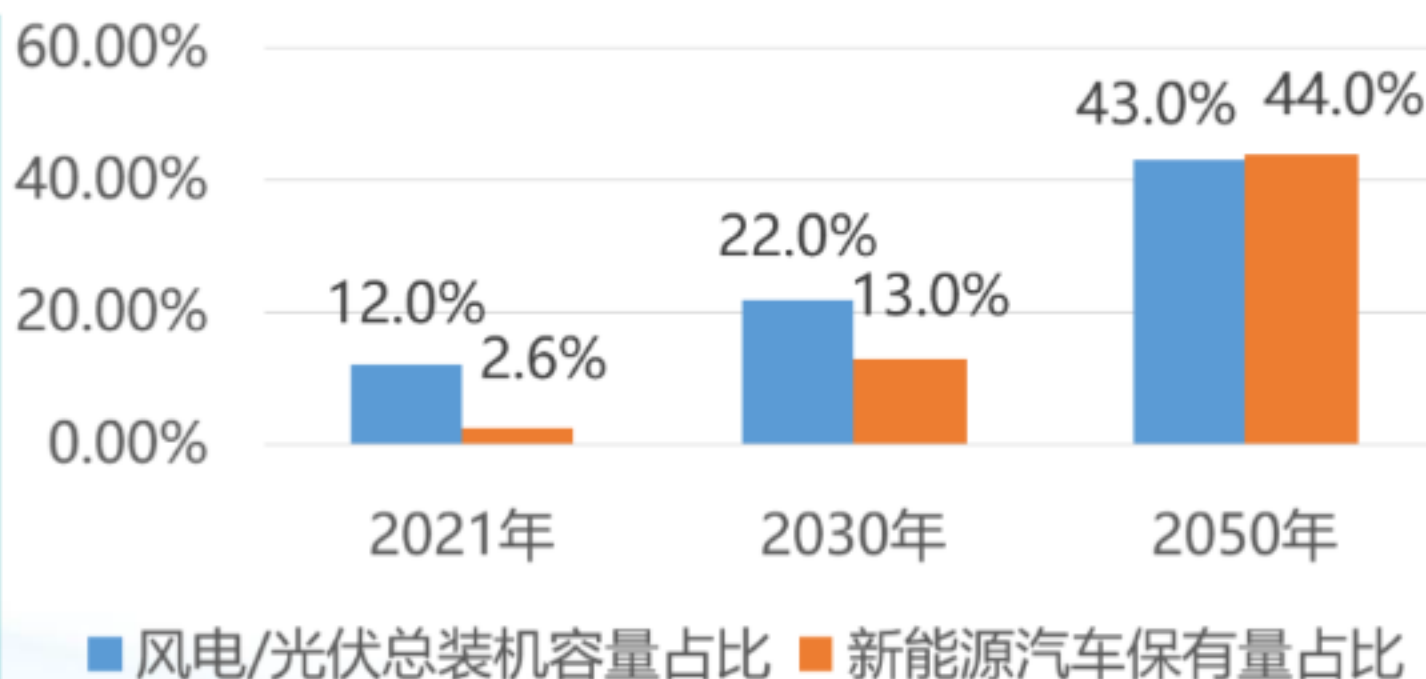
- **公共充电设施提质升级城市：**新增160万个直流充电枪（含10万个大功率充电枪），构建快充为主、慢充为辅、大功率为补充的网络。高速：新建改建4万个60千瓦以上“超快结合”充电枪，除高寒高海拔地区外实现服务区全覆盖。农村：乡镇行政区新增1.4万个直流充电枪，实现农村公共充电设施全覆盖。
- **居住区充电条件优化：**新建居住区固定车位100%建桩或预留条件。既有居住区推广“统建统服”模式，打造1000个试点小区，提升私人车位建桩比例至60%以上。
- **车网互动规模化应用：**新增双向充放电（V2G）设施超5000个，反向放电量超2000万千瓦时。探索市场化响应模式，推动V2G资源参与电力市场交易。
- **供电能力和服务改善：**将充电设施接入需求纳入配电网规划，优化网架、增容台区。简化居民充电桩报装流程，落实“三零”“三省”服务。
- **运营服务质量提升：**推动老旧设备升级改造，规范收费标准，充电服务费上限为当地电价的50%。建立服务质量评价机制，提升场站环境及运维质量。

电动汽车充电基础设施从“配套工程”向“能源工程”跃迁，推动国家“双碳”目标战略落地。

一、电动汽车与电网互动背景



为支撑碳中和目标，电力与交通领域亟需协同发展



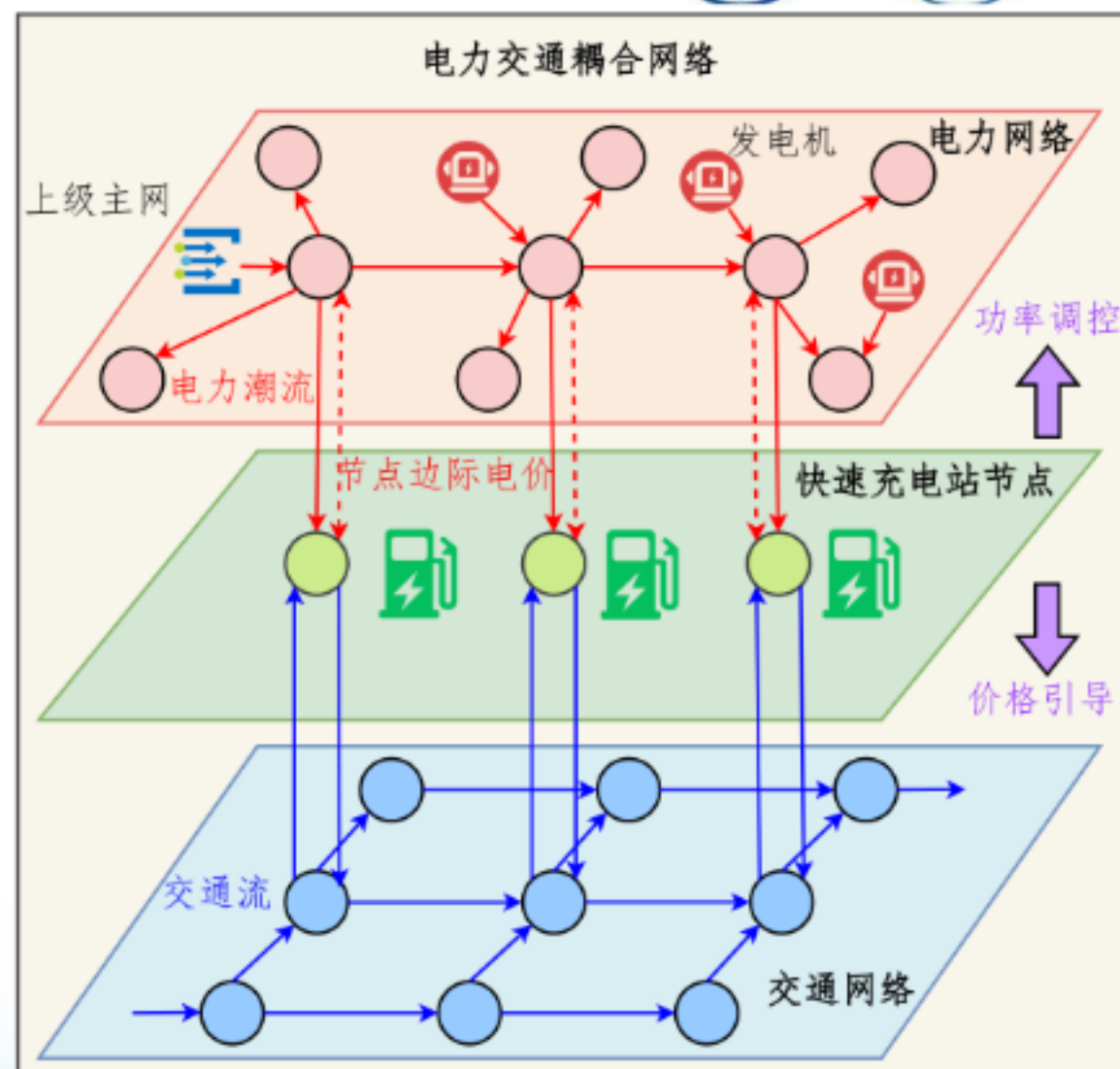
电动汽车将电力网络和交通网络两个复杂信息物理系统紧密耦合，形成电力交通耦合网络

一、电动汽车与电网互动背景



充电负荷时空分布高度依赖用户出行链，电网与路网之间通过**快速充电站**形成了显著的**双向耦合效应**：

- 电动汽车交通流途经快速充电站时产生充电负荷，进而影响配电网电力潮流的时空分布
- 电力潮流动态变化又会引起节点边际电价的波动，改变充电价格，从而反向作用于电动汽车用户的出行和充电选择
- 构成了“**交通流—充电负荷—电力潮流—电价—交通流**”的闭环动态系统，使得配电网和交通网络耦合运行，形成**电力交通耦合网络**。



电力交通耦合网络协同运行所面临的技术挑战

- **耦合建模的复杂性**：电力潮流与交通流的复杂耦合机理
- **系统动态运行特性**：即充即走的快充模式下需要考虑交通流传播暂态
- **用户有限决策理性**：用户非绝对理性的出行和充电行为难以预测
- **高比例新能源发电**：出力间歇性和波动性加剧系统运行不确定性

亟需发展融合**行为科学**、**系统工程与运筹优化**跨学科研究方法

二、研究体系：协同规划-调度控制-市场交易



基本研究思路框架

考虑用户理性的电力交通耦合网络协同规划与优化运行



有限理性动态均衡建模

协同
• 多断面最优潮流
• 有限理性动态用户均衡

协同规划

支撑动态运行的
最优协同扩张规划

协同
• 电力设施扩张
• 交通设施扩张

协同运行

快速充电站
最优动态定价

协同
• 配电网运行
• 充电市场监管
• 充电定价
• 交通决策

快速充电站聚合商
最优动态协同调度

协同
• 电力市场竞标
• 新能源调度
• 充电调度
• 交通决策

电力物流系统
最优动态协同调度

协同
• 电力市场竞标
• 新能源调度
• 充电调度
• 物流配送

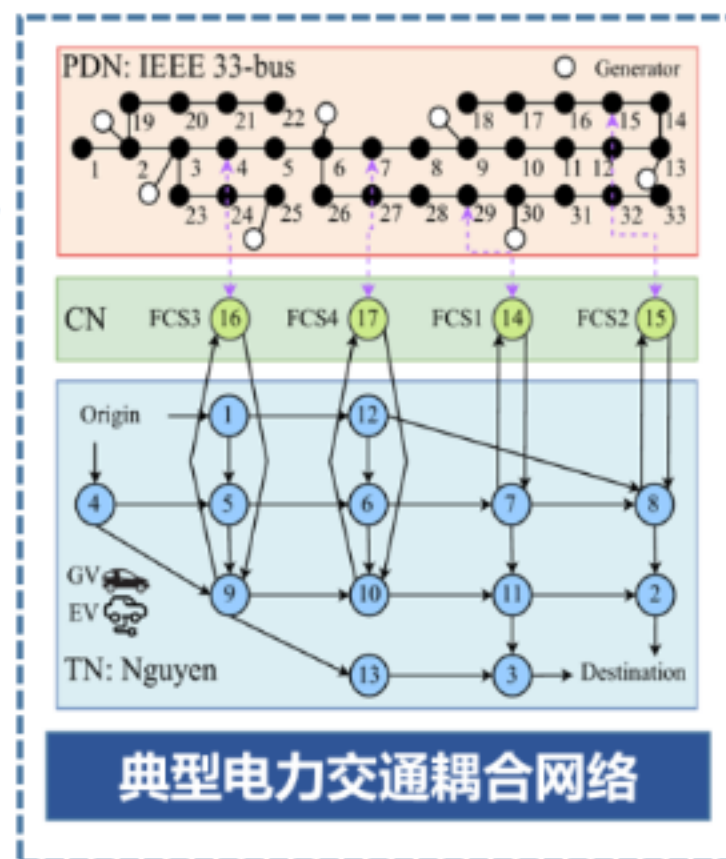
综合能源-智慧交通系统
最优动态协同调度

协同
• 综合能源调度
• 充电调度
• 智慧交通调度

充电站个体尺度

充电站集群尺度

系统运营商尺度

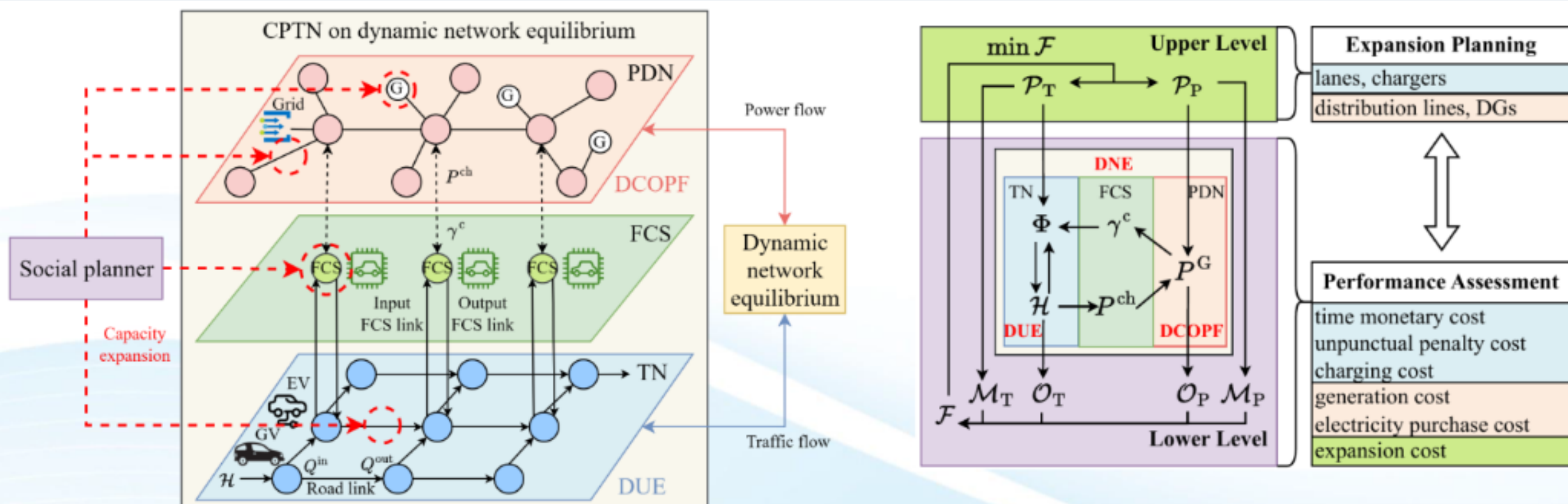


交能耦合下，以电动汽车为杠杆，撬动电力和交通两个网络的协同规划与优化运行

1: 考虑动态网络均衡的电力交通耦合网络协同规划



- 针对**交通-能源耦合系统协同规划**问题, 提出了一种**支撑动态运行**的电力交通耦合网络最优协同扩张规划方法, 目标是**最小化耦合网络的总投资和运行成本**
- 建立了电力潮流和交通车流之间的**动态网络均衡模型**, 以评估扩张规划对于耦合网络动态运行的影响, 利用双层优化模型求解。



协同扩张规划模型

双层优化模型

配电网: 馈线容量, DG数量 最优潮流模型(节点边际电价)OPF

充电站: 充电桩数量

交通网: 道路容量

动态用户均衡模型DUE

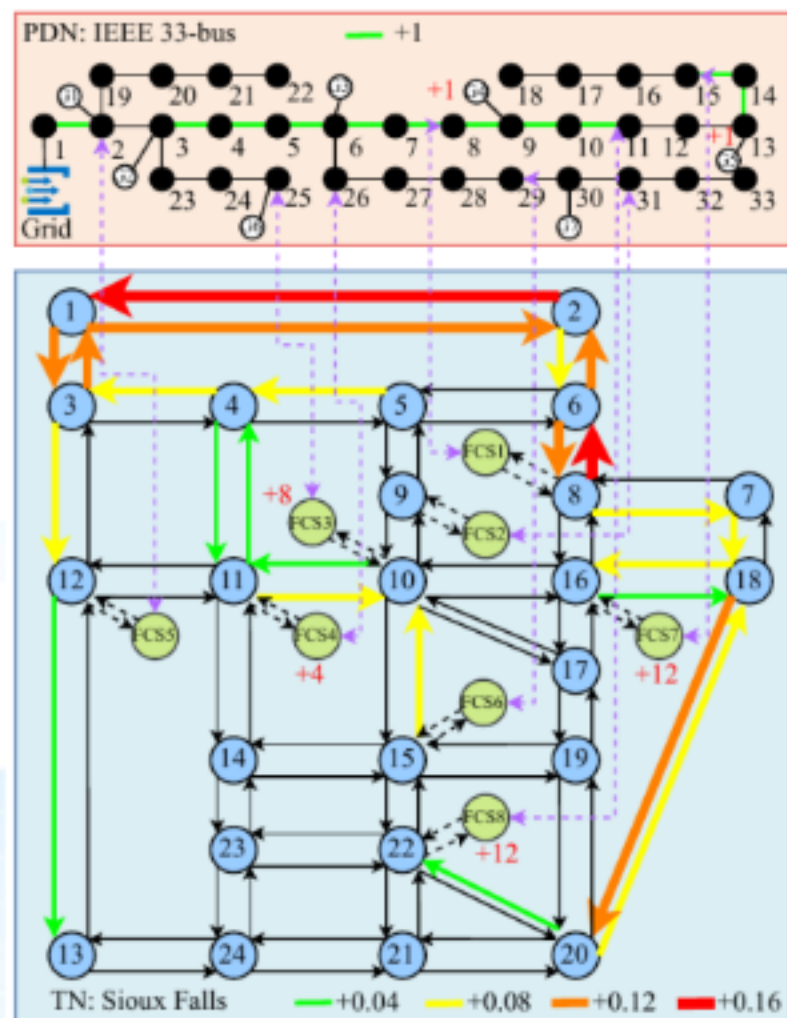
上层: 更新扩容方案

下层: 求解耦合网络动态运行成本

1: 考虑动态网络均衡的电力交通耦合网络协同规划

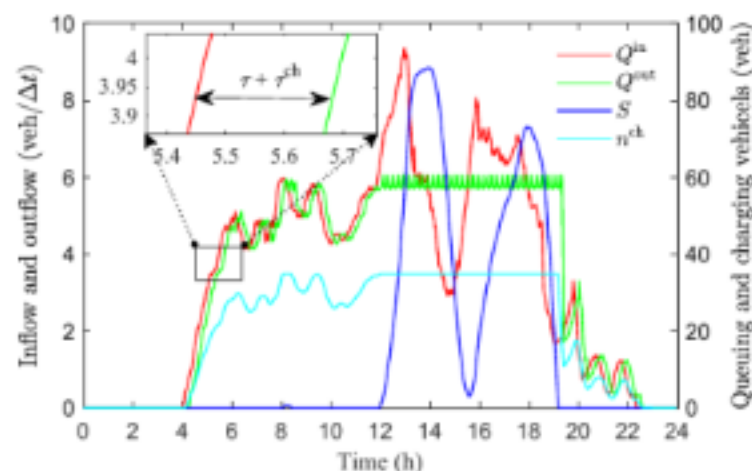


耦合网络总运行成本下降**27.6%**，电力网络的**馈线阻塞**和交通网络的**道路/充电站拥堵**得到有效的缓解

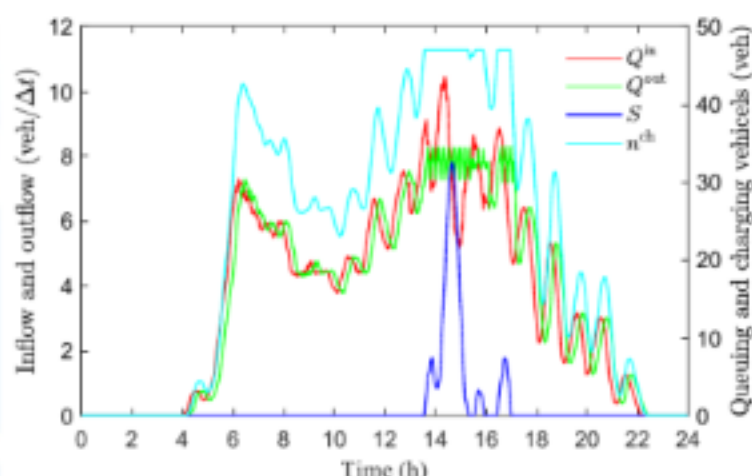


协同扩容方案

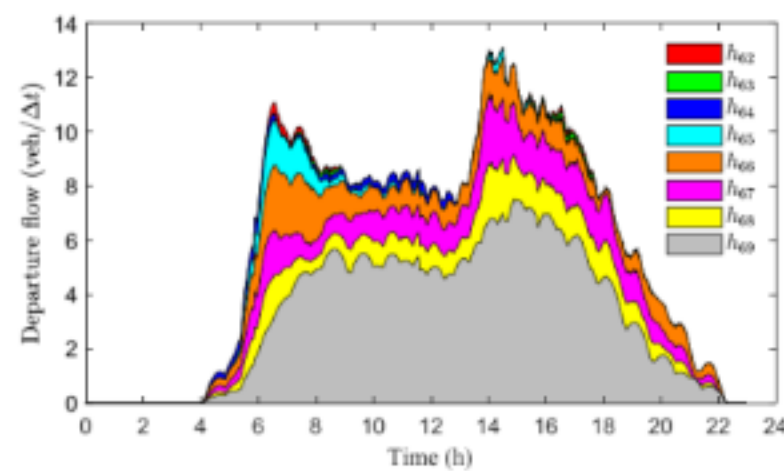
- 配电网：馈线容量，DG数量
- 充电站：充电桩数量
- 交通网：道路容量



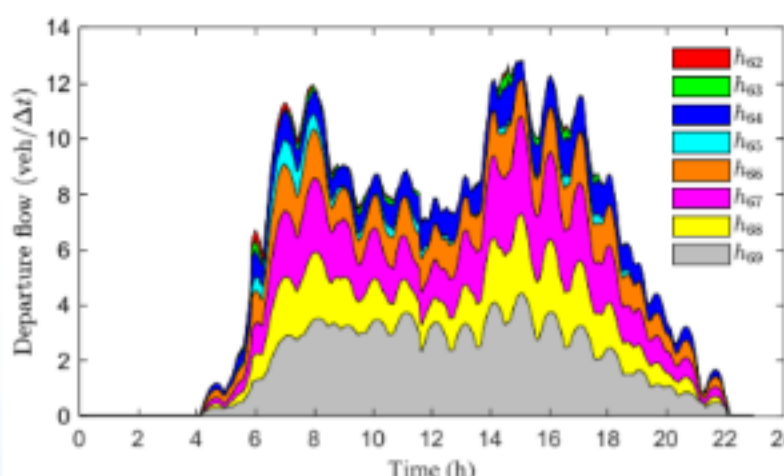
(a)



(b)



(a)



(b)

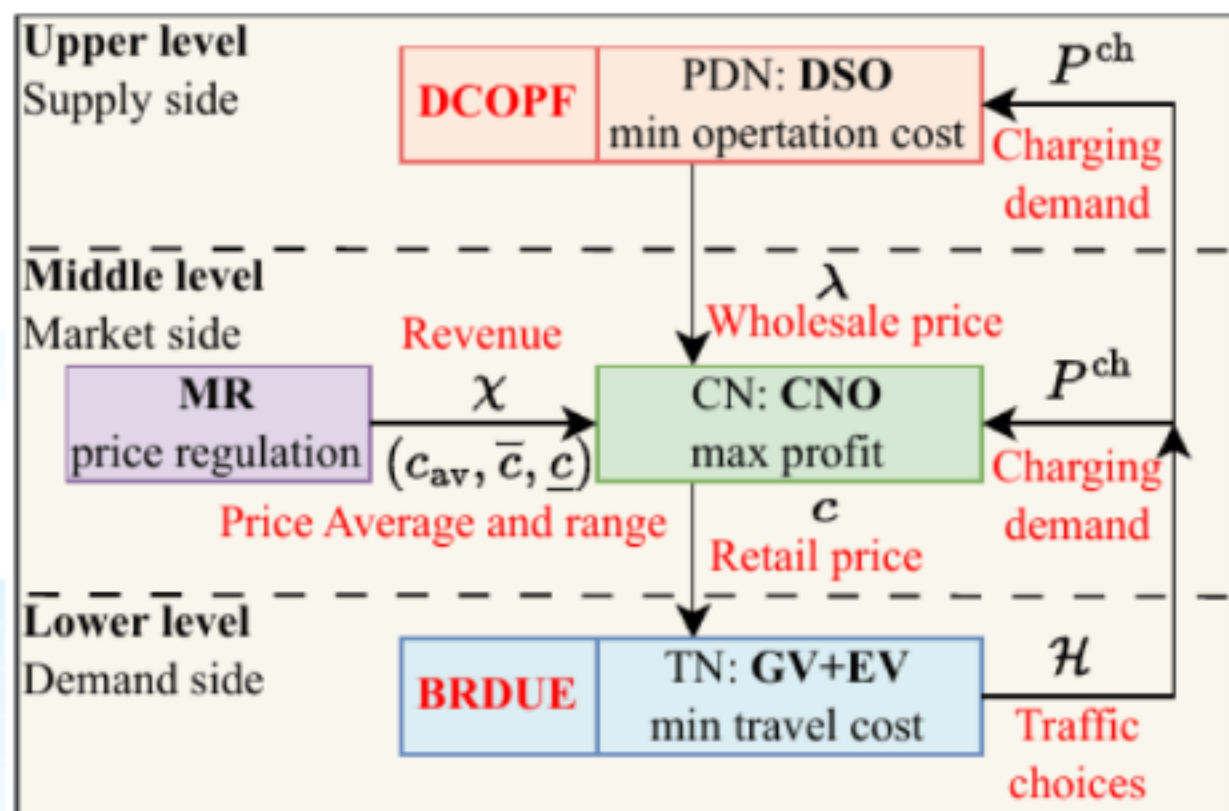
扩张前后耦合网络动态性能对比

- 充电站流量变化：流入，排队，充电，流出
- 路径流量分布：不均匀->均匀

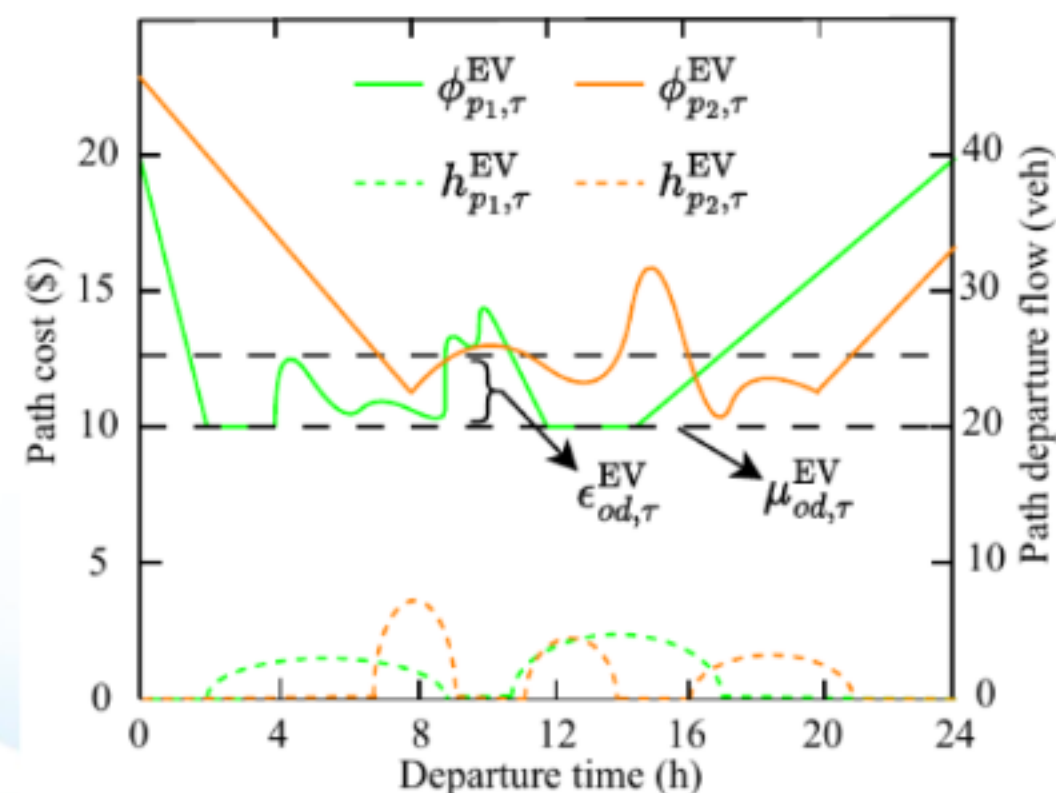
2: 考虑用户有限理性和市场监管的快速充电站最优动态定价



- 针对**协同运行**问题，在**充电站个体**尺度上，提出了一种考虑**有限理性动态用户均衡**和**市场监管**的快速充电站最优动态定价方法，以**最大化充电站利润**
- 建立了电力网络运营商、充电站运营商和电动汽车用户三者之间的**主从博弈定价模型**，利用迭代算法求解。



三层主从博弈定价模型



有限理性动态用户均衡

配电网 (供应侧): min 电力成本

充电站 (市场侧): max 利润 < - **市场监管部门**

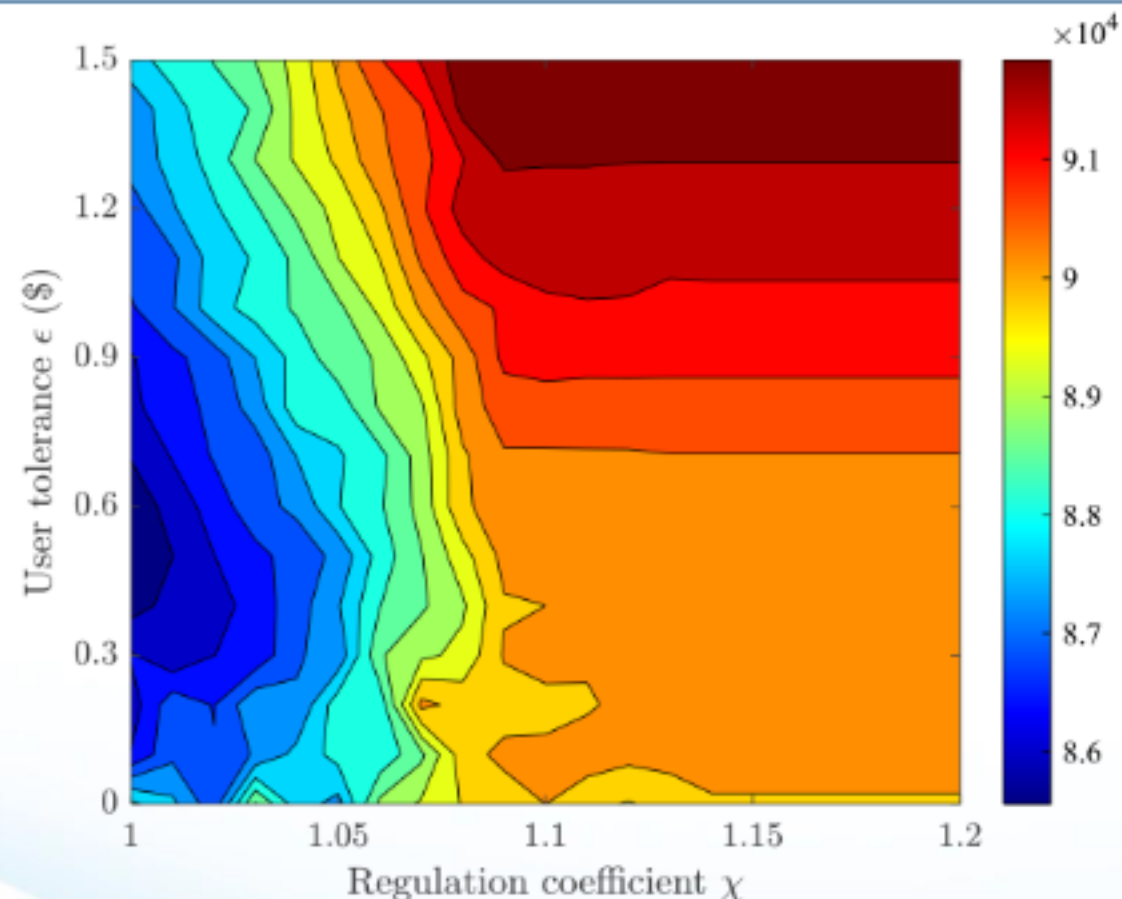
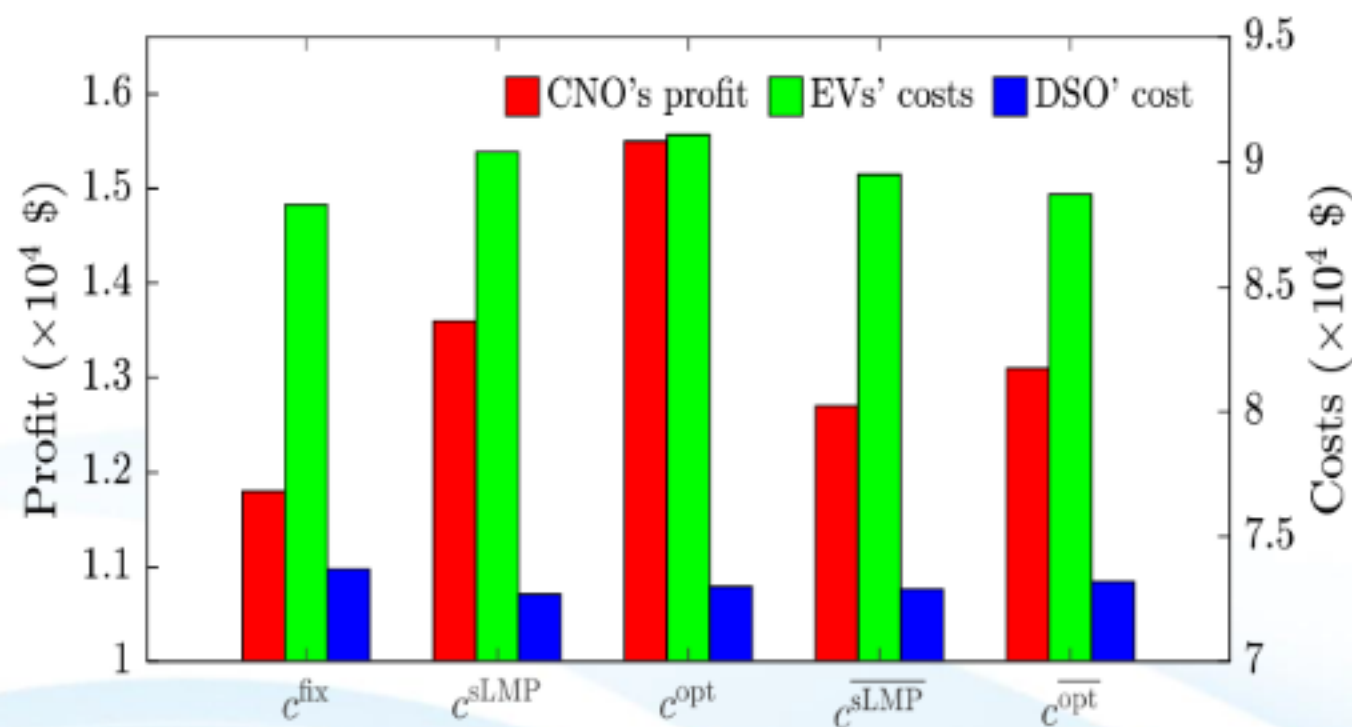
交通网 (需求侧): min (有限理性感知下的) 交通成本 + 充电成本

用户的出发时间，路径，充电站选择 → 交通流分布
用户接受次优解，次优解与最优解的成本阈值定义为**用户容忍度**，用于表征用户的理性程度

2: 考虑用户有限理性和市场监管的快速充电站最优动态定价



对比固定定价，所提出的定价方法可以有效引导电动汽车用户的充电行为，充电站利润提高了**11.0%**，电力网络运行成本下降了**0.7%**，电动汽车用户的出行成本几乎不变。



定价方案对三方利益的影响

配电网: 引导充电负荷削峰填谷->电力成本下降,
充电站: 更灵活的定价->利润提高
交通网: 道路和充电站拥堵减少, 充电成本略微提高
->交通成本+充电成本**几乎保持不变**

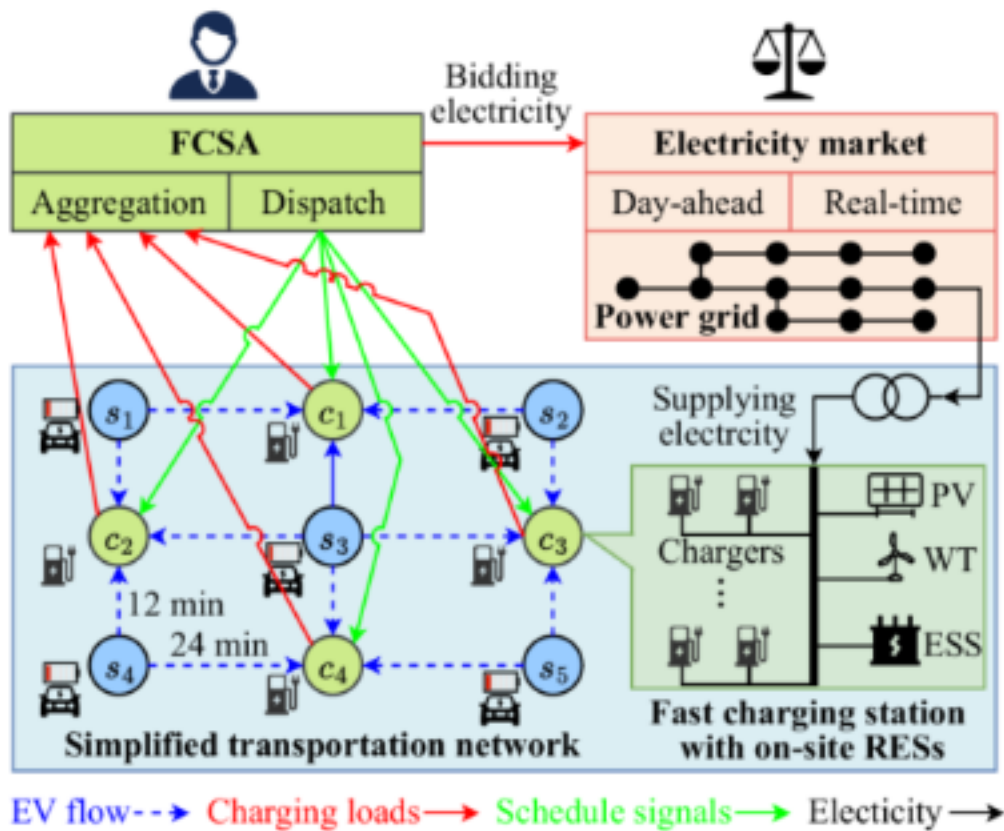
用户理性和市场监管对电动汽车用户出行的影响

用户理性: 影响用户的出行成本, **适度的有限理性可以减少用户之间的竞争**, 反而有利于减小所有用户的总出行成本
市场监管: 影响用户充电成本, 但存在**饱和区**

3: 电动汽车快速充电站聚合商的最优协同调度

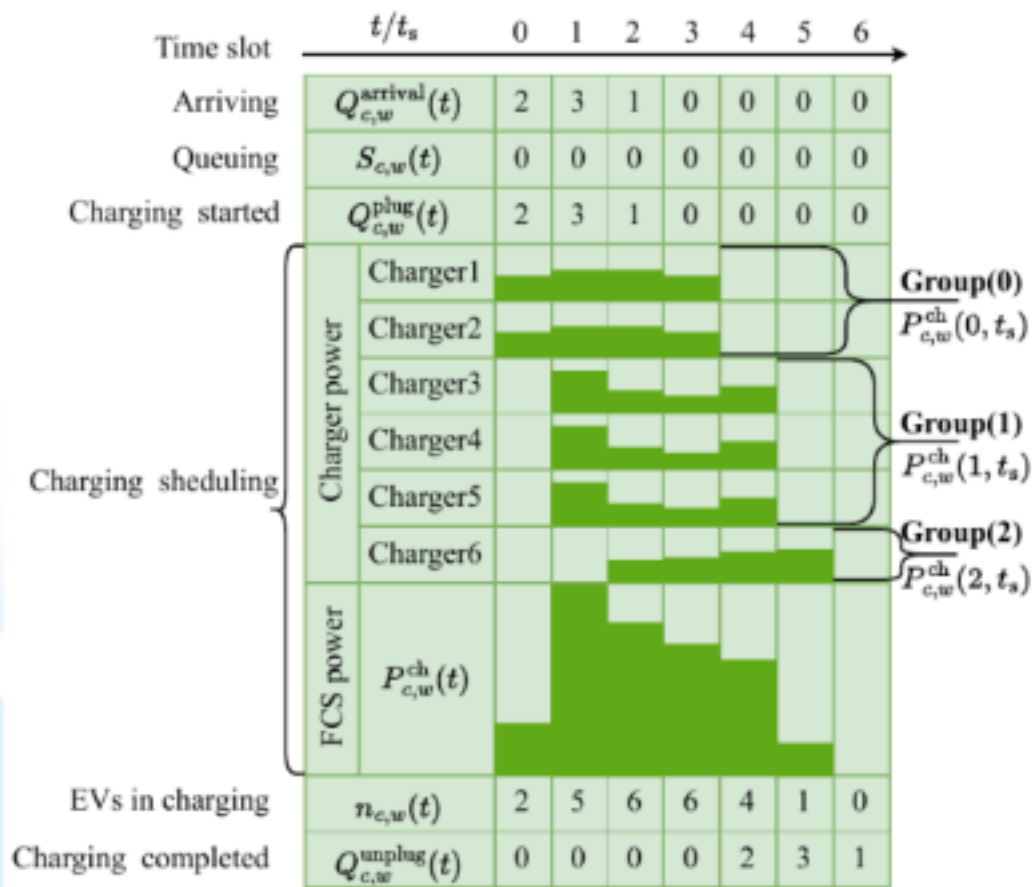


- 针对**协同运行**问题，在**充电站集群**尺度上，提出了一种考虑**多维不确定性**的快速充电站聚合商最优协同调度方法，以**最大化快速充电站聚合商利润**。
- 聚合电动汽车参与日前和实时两阶段电力市场，设计了一种适用于大规模场景的**分组充电调度算法**，利用电动汽车充电**就地消纳新能源**，考虑实时电价和新能源出力的不确定性，利用随机规划模型求解。



快速充电站聚合商调度框架

快速充电站集群参与日前+实时电力市场
有限理性动态用户均衡



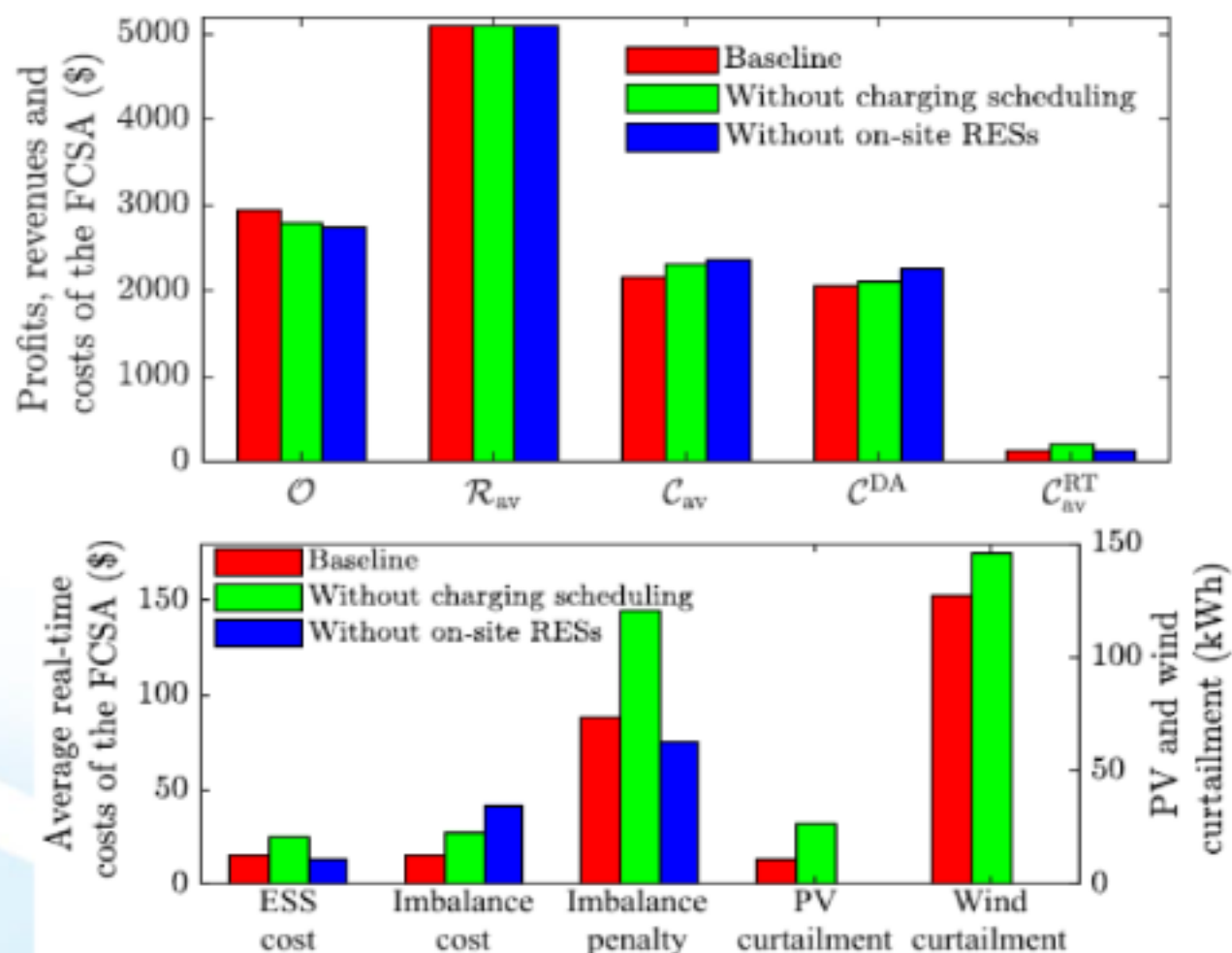
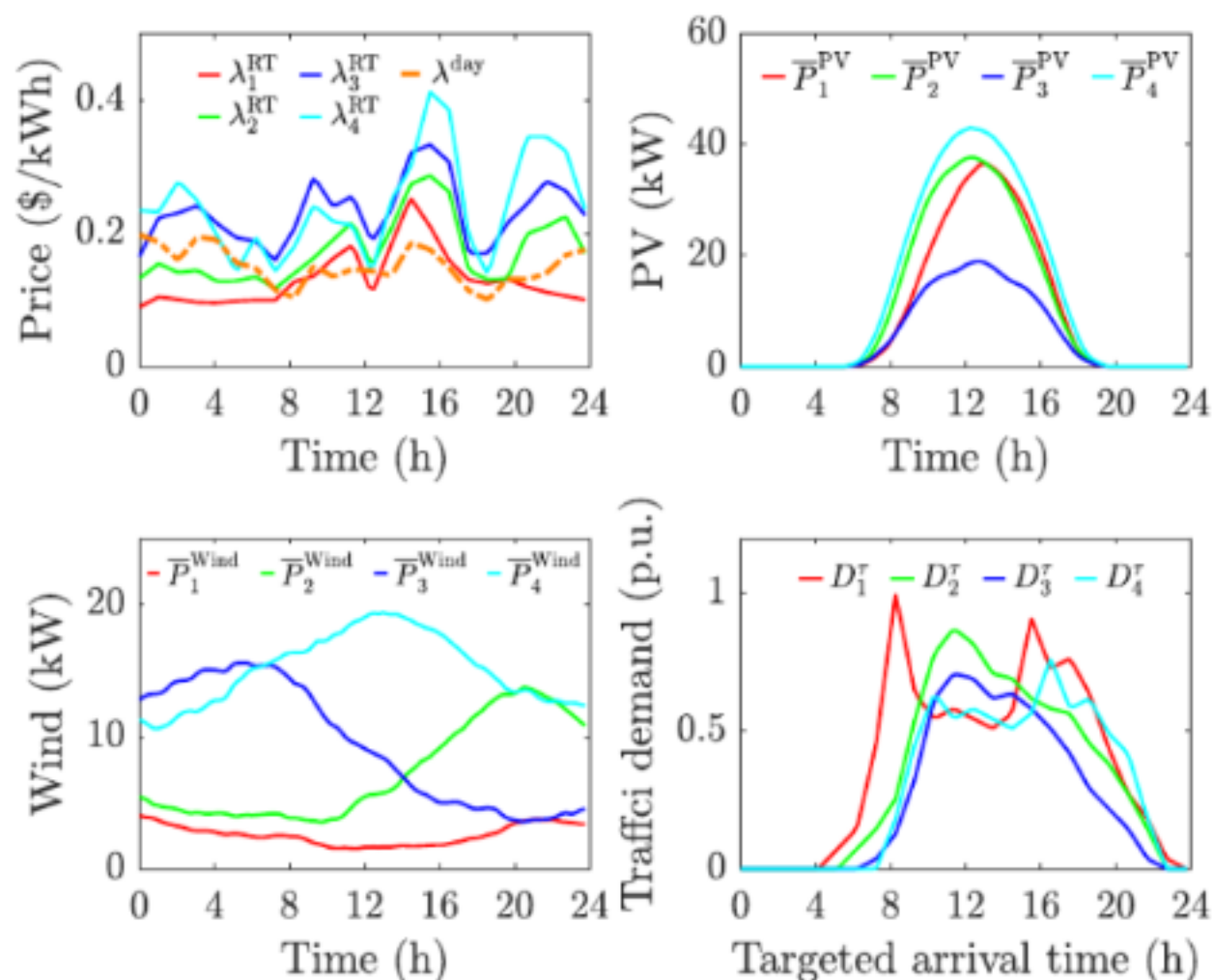
分组充电调度算法

充电需求相近的EV捆绑为一个充电调度小组

3: 电动汽车快速充电站聚合商的最优协同调度



通过整合站内新能源，电动汽车聚合商利润提高了**7.1%**；通过分组充电调度，电动汽车聚合商的利润提高了**4.8%**，弃风减少**13.0%**，弃光减少**59.53%**



电力市场、新能源发电和充电需求不确定性

基于场景的随机规划
Sample Average Approximation, **SAA**

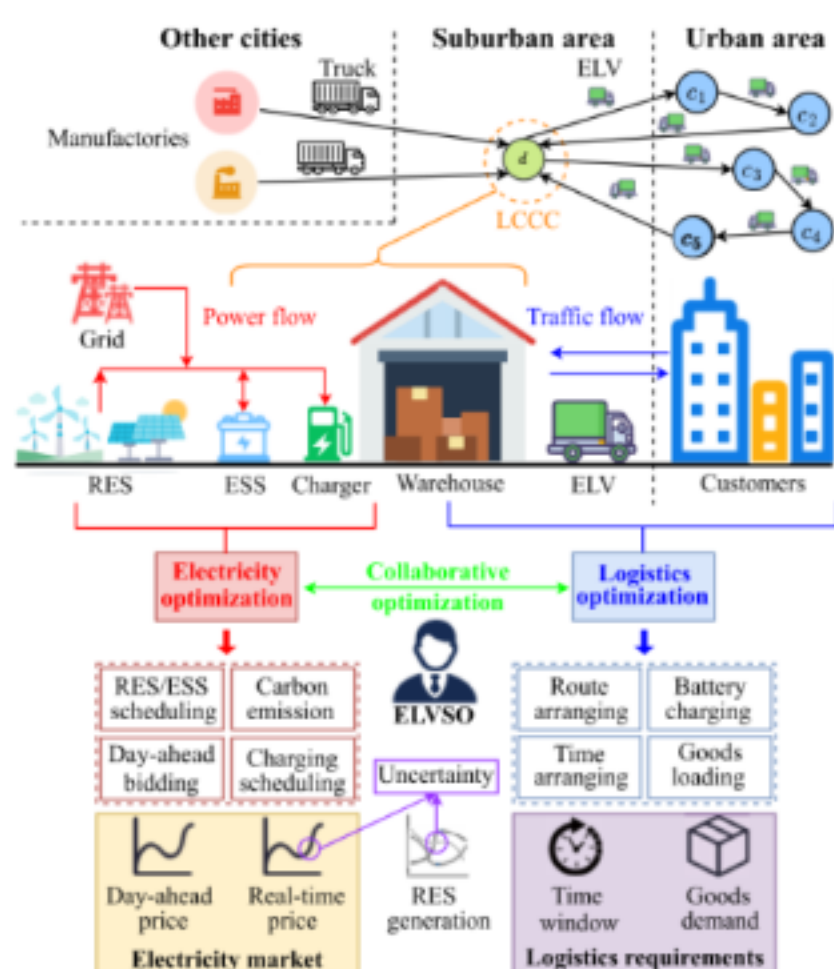
充电调度和新能源调度对充电站利润的影响

充电调度：减小实时电力市场用电偏差的惩罚
本地新能源：减少电网依赖和购电成本

4: 考虑不确定性的电力物流协同优化调度



- 针对**协同运行**问题，在**系统运营商**尺度上，提出了一种考虑新能源和电力市场不确定性的**清洁电力+绿色物流**协同优化调度框架。
- 利用**电动物流车**进行货物配送，并安排合理的**充电方案**和**配送方案**，最大限度地减少**城市物流系统**的综合运行成本，利用ALNS-MILP数学启发式算法进行求解。



电力物流协同优化调度框架

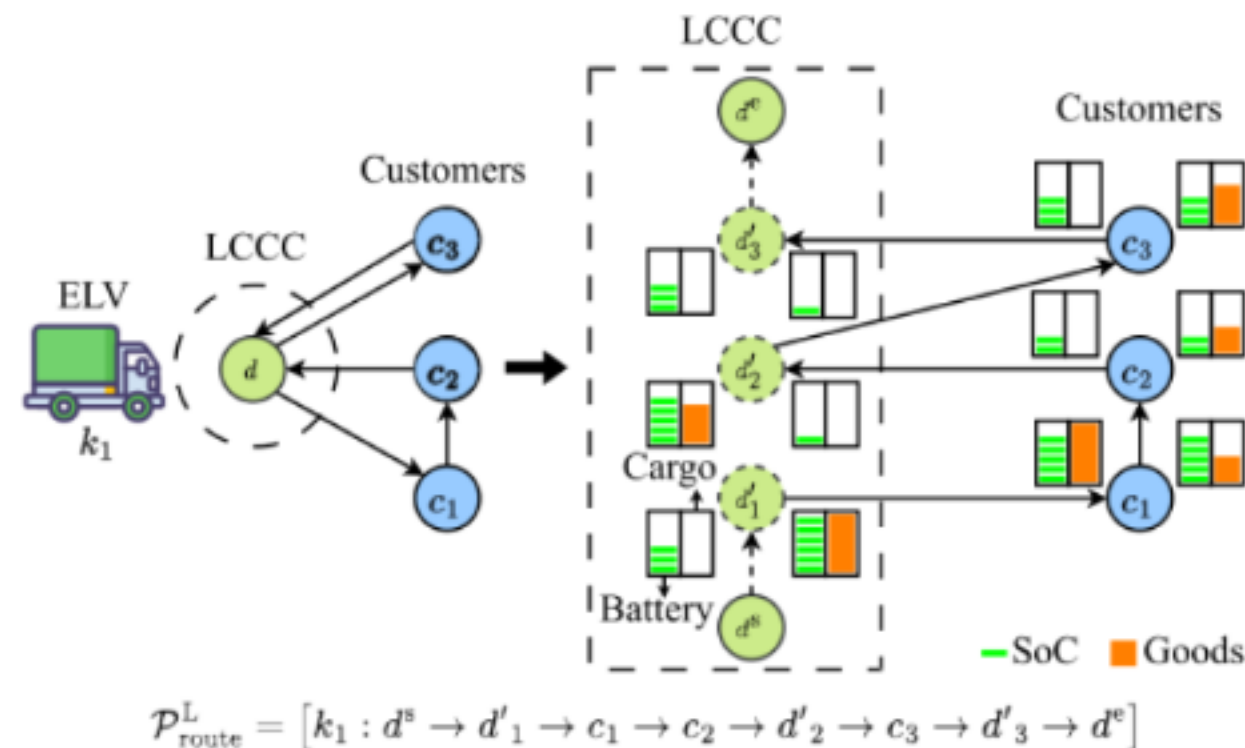


Fig. 4. Example of a logistic model.

电动物流车运行过程

电力: 充电调度, 新能源, 储能, 日前+实时电力市场, 碳排放
物流: 路径规划, 时序调度, 货物装卸载, 用户时间窗口

4: 考虑不确定性的电力物流协同优化调度



考虑1个物流集散中心，50辆电动物流车，1000个用户的物流配送需求

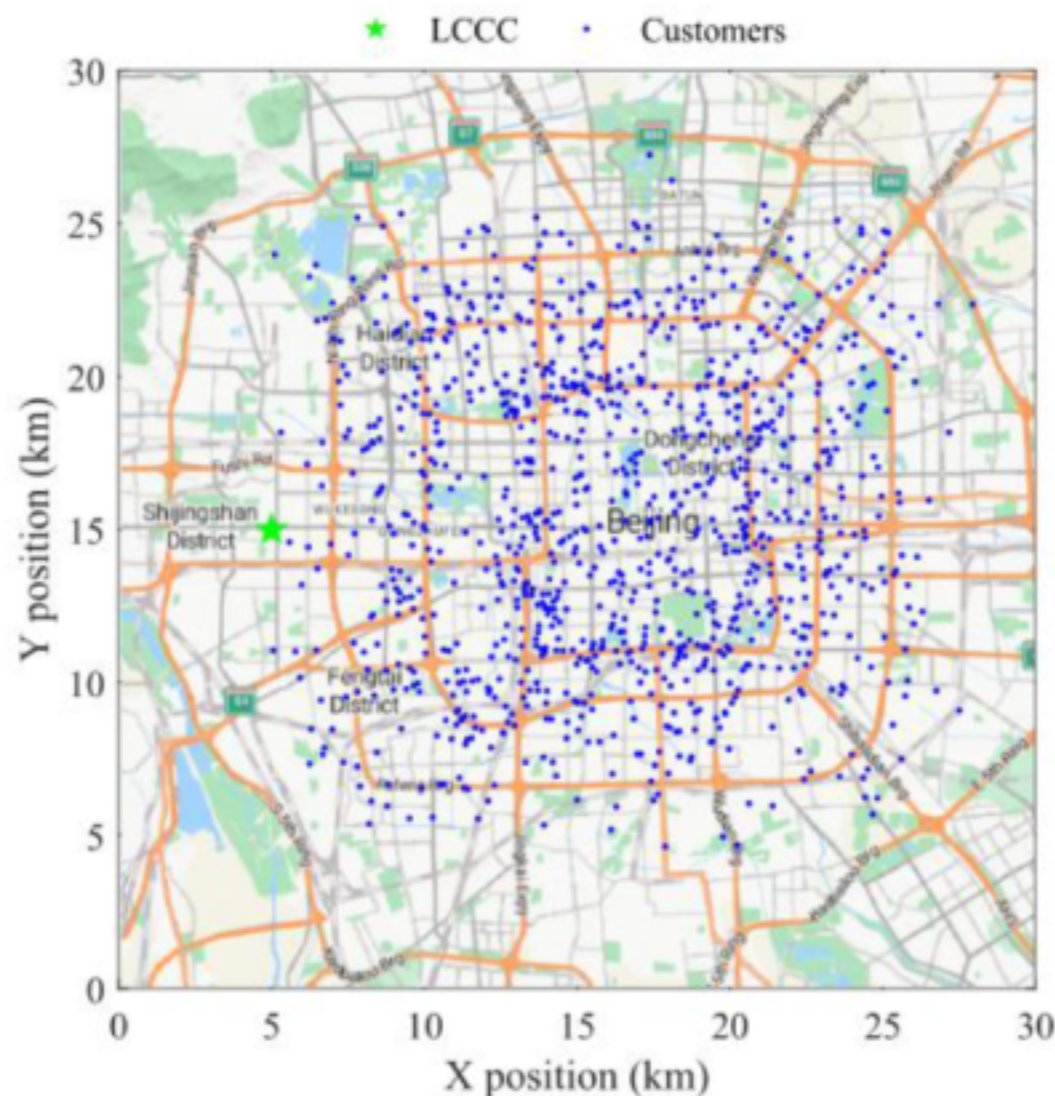


Fig. 7. Coordinates of LCCC and customers.

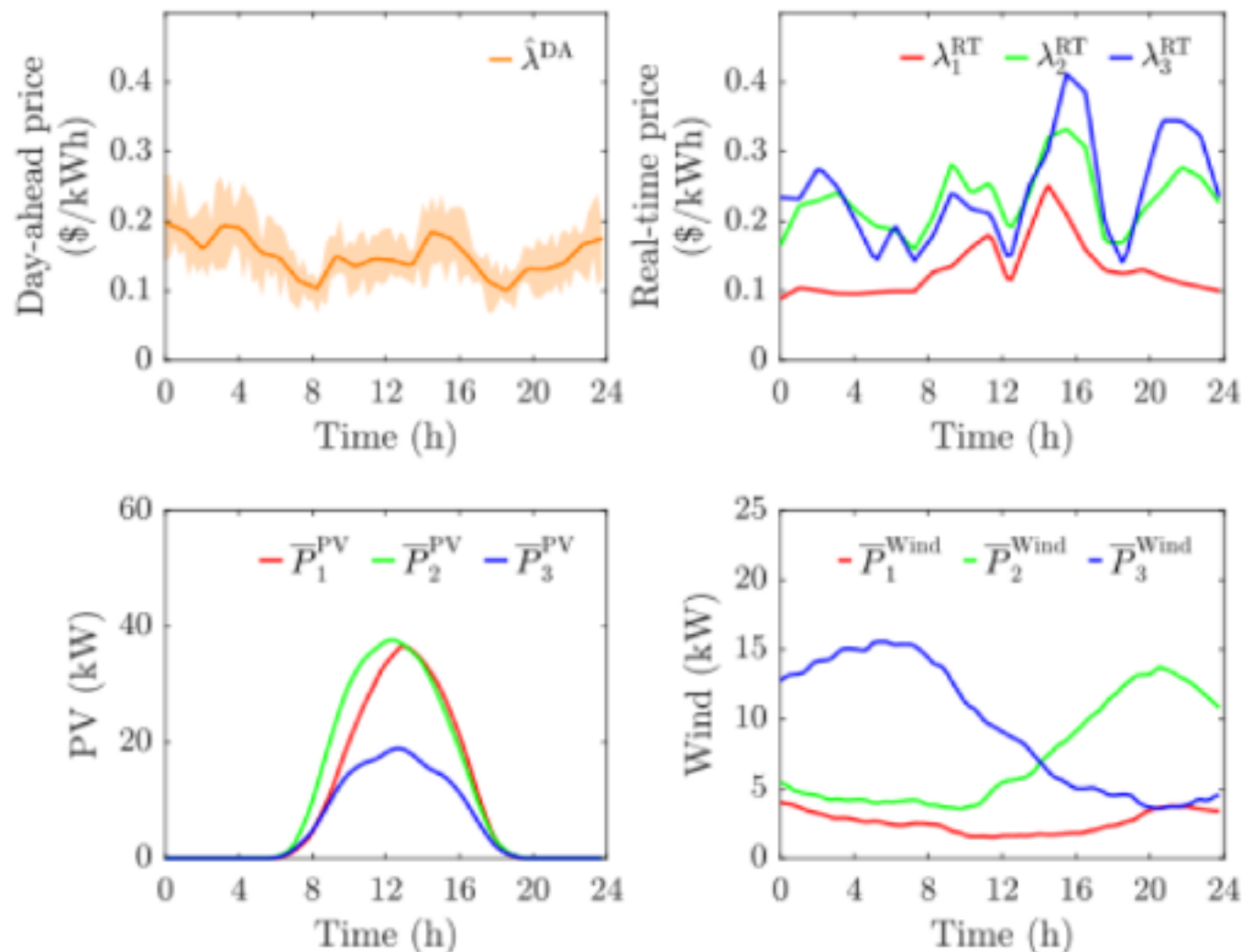


Fig. 8. Predicted day-ahead electricity prices and stochastic scenarios of RES generation and real-time electricity prices.

城市物流系统用户分布

电力市场、新能源发电的不确定性

4: 考虑不确定性的电力物流协同优化调度



电动物流车运营商将选择在**电价低谷购电**，并安排电动物流车在这些电价低谷时段集中充电，充分消纳物流集散中心的本地新能源。

电力物流协同优化可以降低**5.59%**的城市物流系统运行成本，以及减少**18.36%**的间接碳排放。

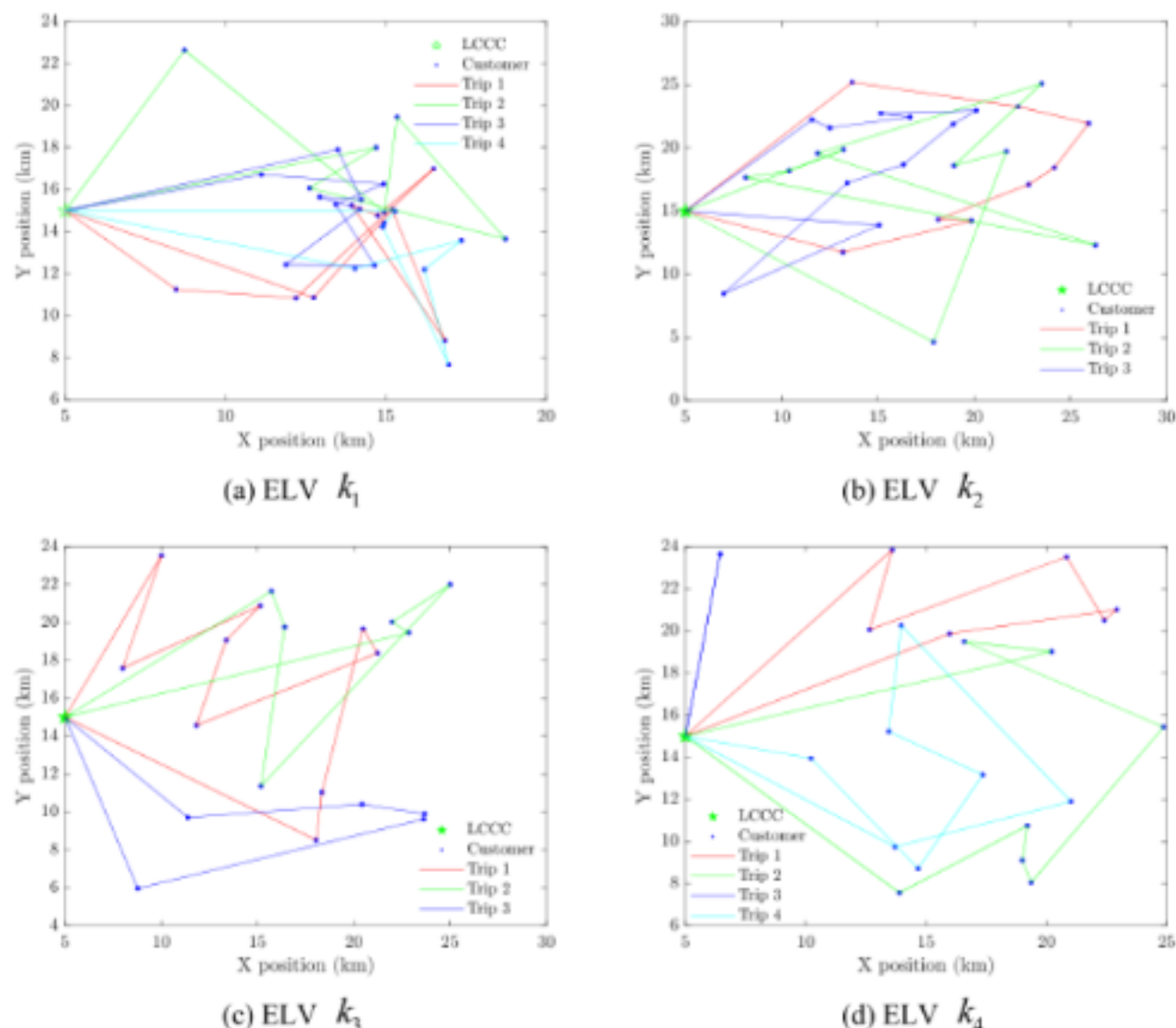


Fig. 10. Logistics route of partial ELVs.

物流配送轨迹

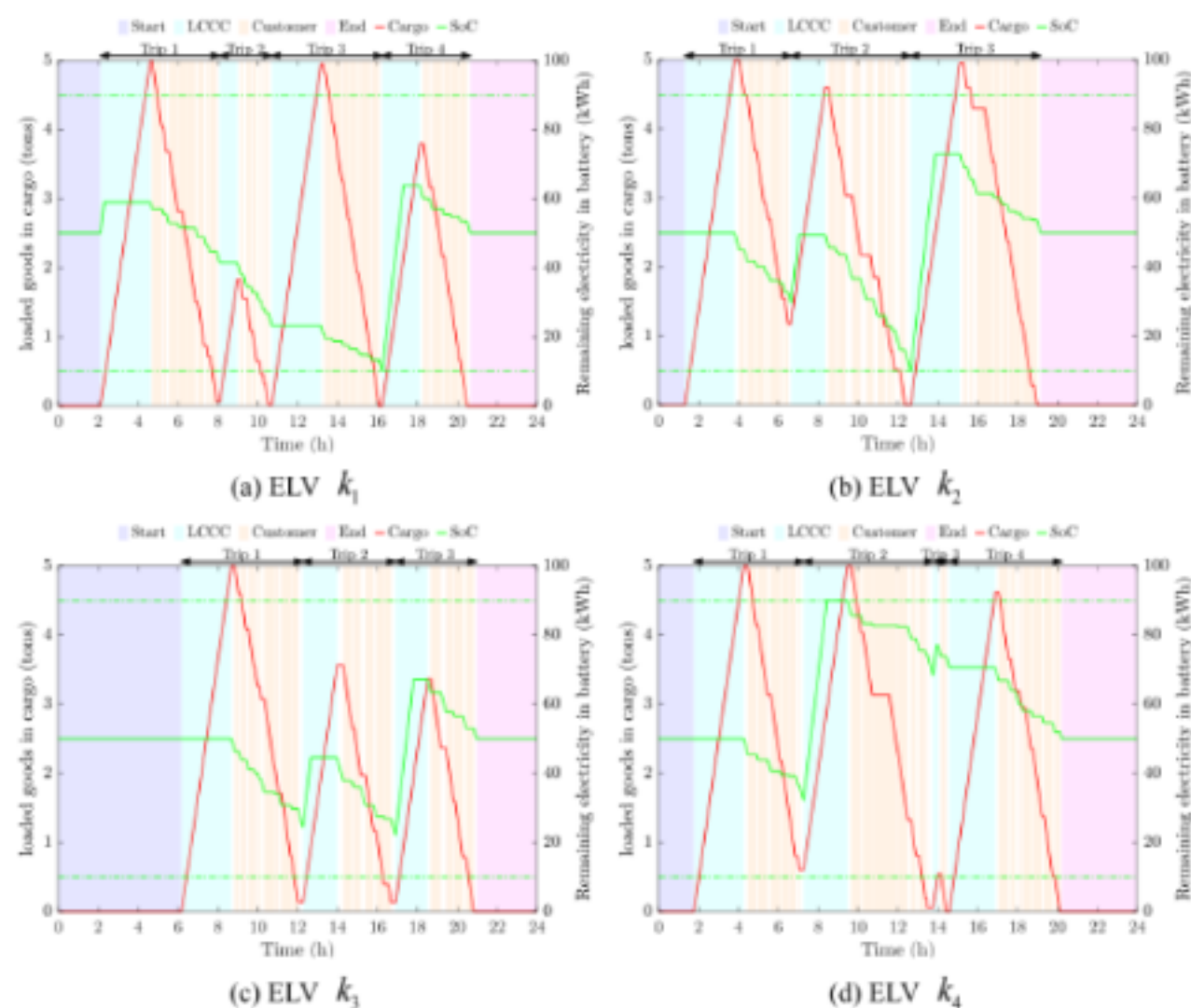


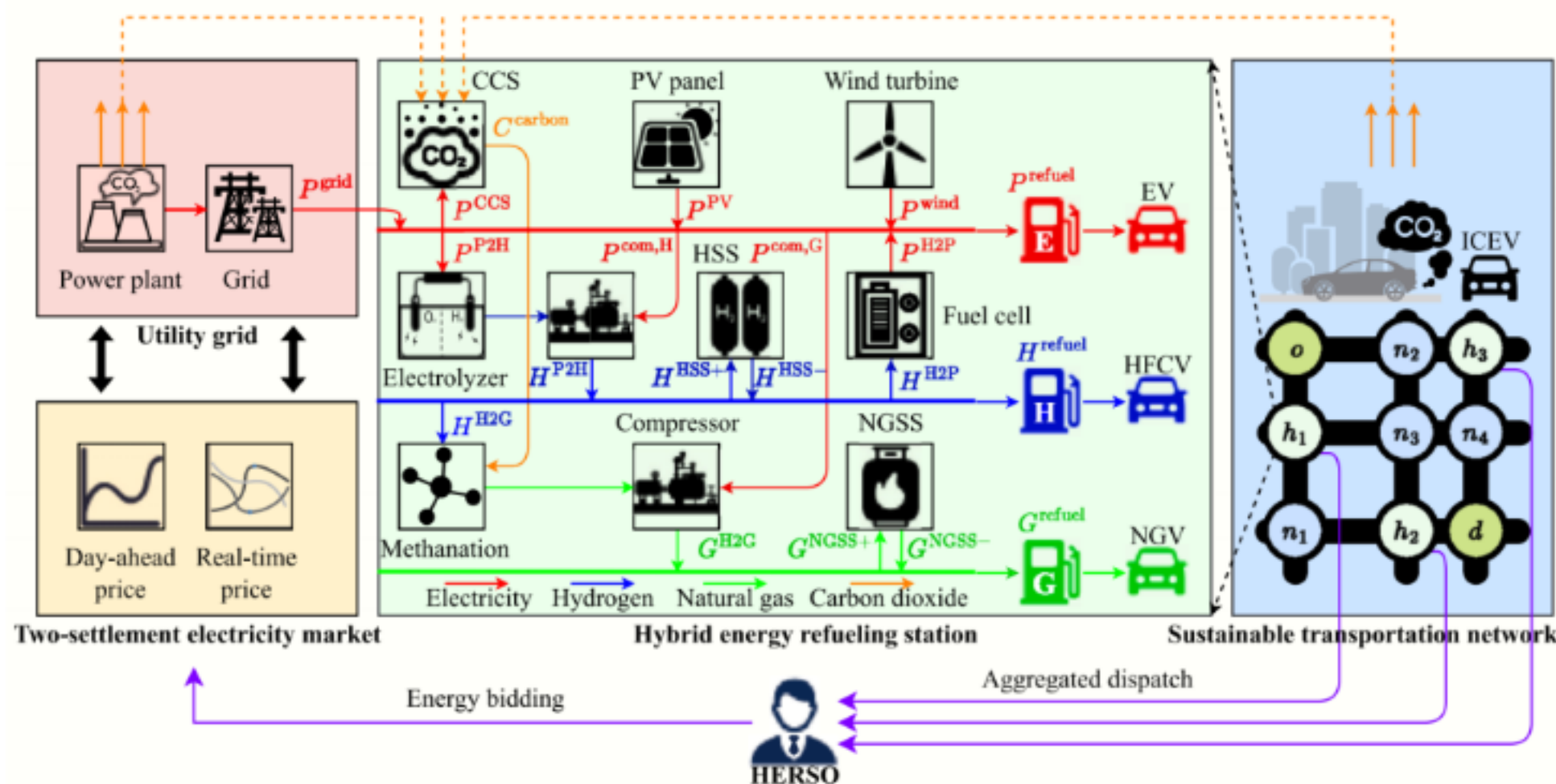
Fig. 11. Loaded goods in the cargo and remaining electricity in the battery for partial ELV.

携带货物量和剩余电量变化曲线

5: 考虑用户有限理性和不确定性的综合能源补给站经济调度



- 针对**协同运行**问题，在**系统运营商**尺度上，提出了一种考虑有限理性混合用户均衡和不确定的**综合能源补给站风险规避经济调度模型**、
- 利用综合能源补给站同时为EV/HFCV/NGV提供能量补给，实现**多能协同优化**，以支撑绿色交通网络，其中结合CVaR方法减少不确定性所带来的经济损失风险。



交通网络:

电动汽车
氢燃料电池汽车
天然气汽车
内燃机汽车

有限理性混合用户均衡

综合能源补给站:

新能源发电+电储能
电解槽+储氢罐
甲烷合成+储气罐
碳捕集

多能协同

电力市场:

日前市场
实时市场

CVaR风险规避经济调度

Fig. 1. Schematic illustration of the studied hybrid energy refueling system for sustainable mobility.

面向绿色交通的综合能源补给站

5: 考虑用户有限理性和不确定性的综合能源补给站经济调度



- 所设计的综合能源补给站模型可以在不需要氢气和天然气管道的情况下运行，可以很好地满足EV、HFEV和NGV的加氢需求，特别是在可再生能源丰富的场景下。
- 大量的二氧化碳被捕获并回收，用于合成天然气，体现了**综合能源补给站净零碳排放的潜力**。

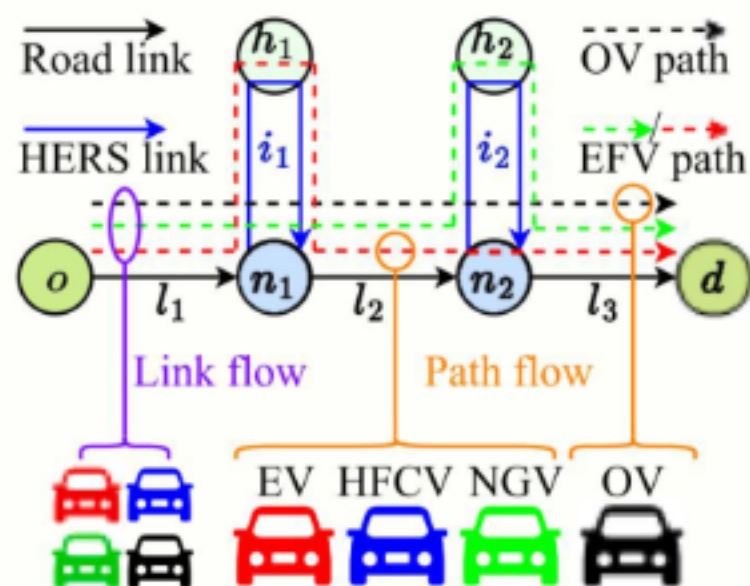


Fig. 2. An example of the studied sustainable transportation network.

异质交通流模型

路径交通流构成道路交通流
路径交通流是道路交通流的路径分量

有补能需求的EV/HFCV/NGV会访问综合能源补给站
ICEV或无补能需求的EV/HFCV/NGV不访问综合能源补给站

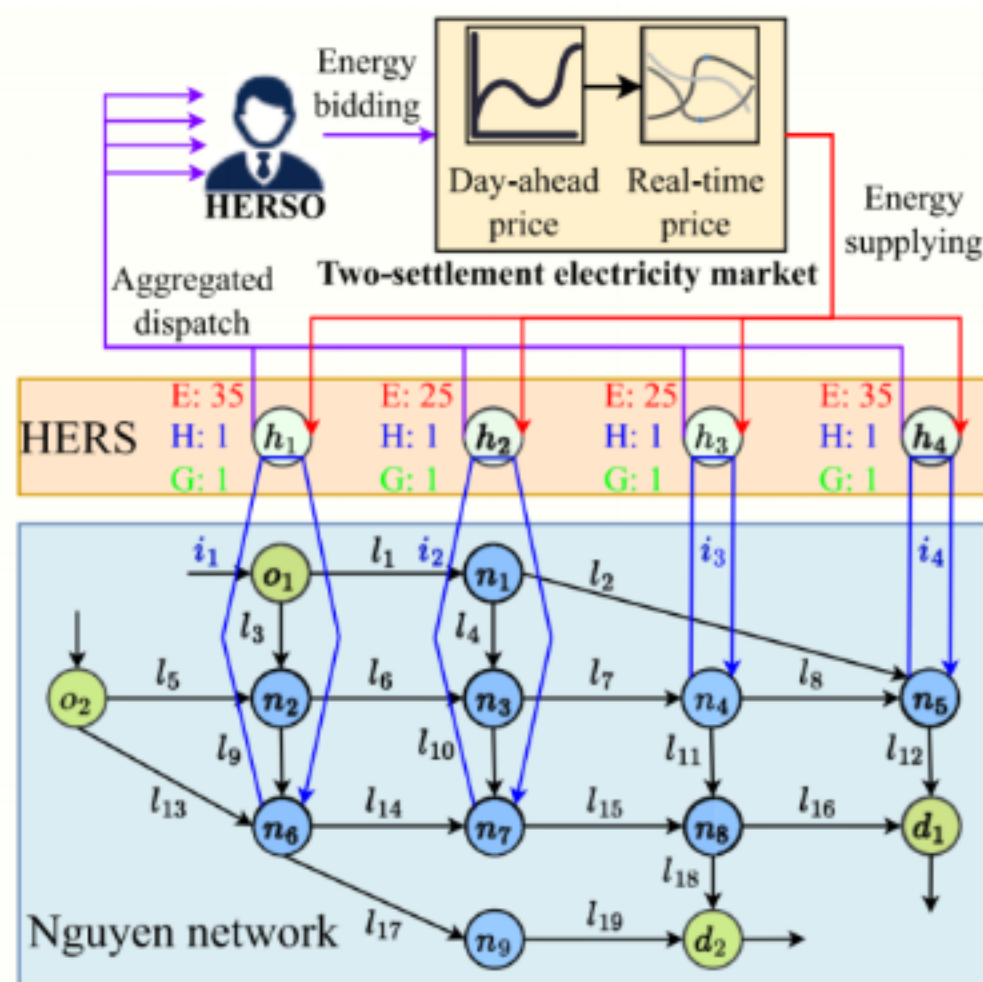


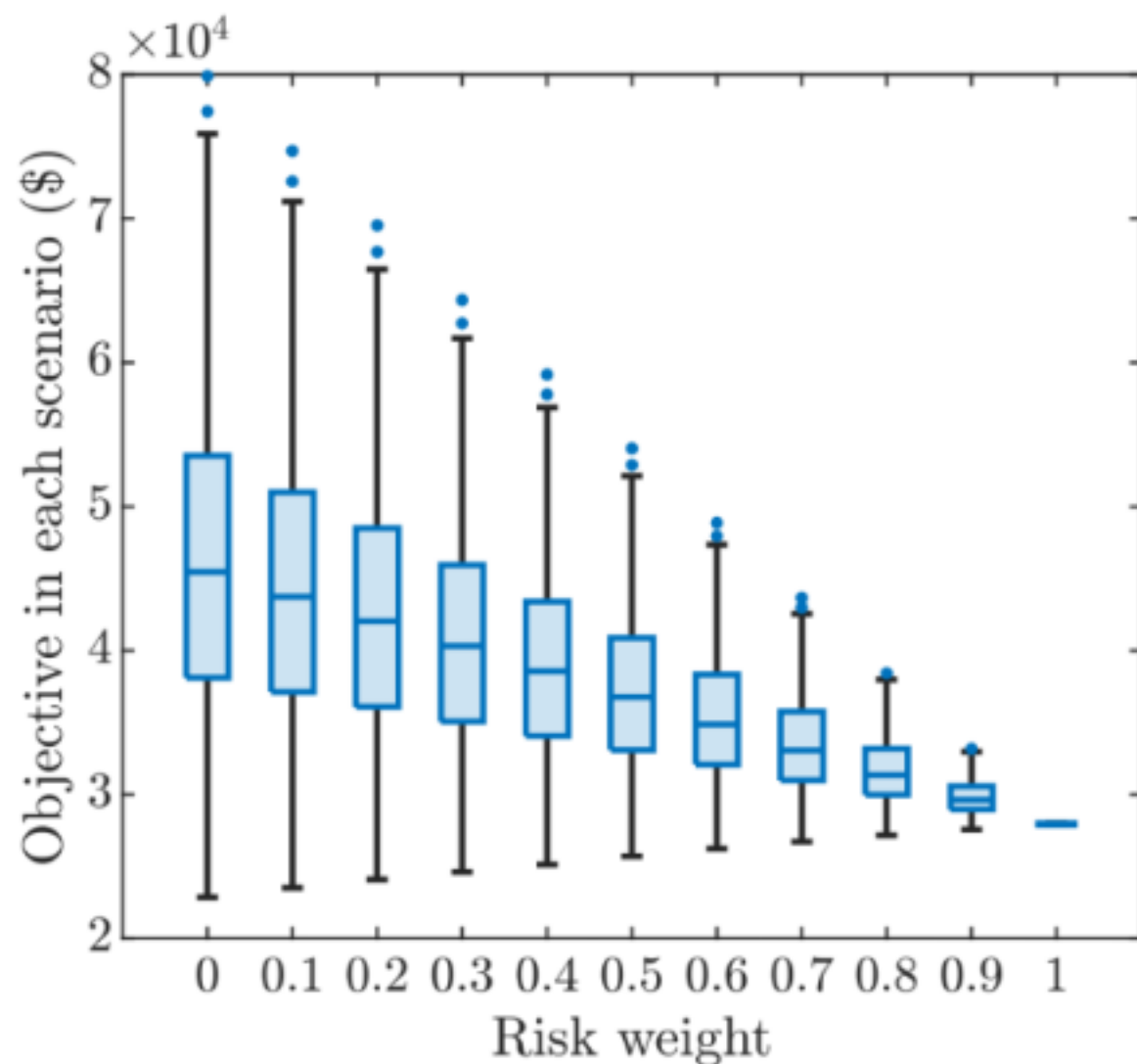
Fig. 4. Topology of the Nguyen transportation network with four HERSs.

算例

5: 考虑用户有限理性和不确定性的综合能源补给站经济调度

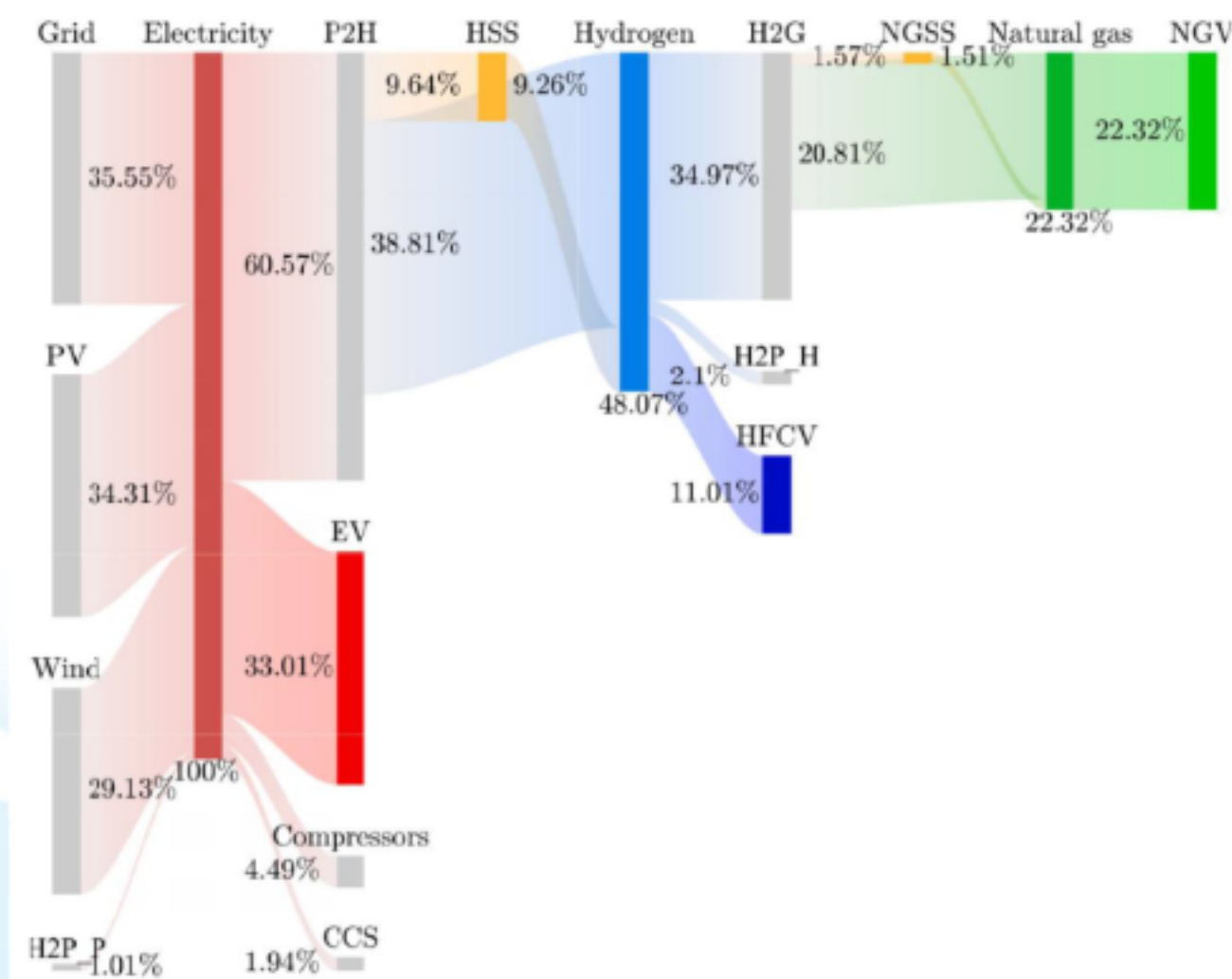


- 所提出的风险规避能量调度模型在最差的5%情景下**降低了21.76%的利润损失风险**，预期净利润仅下降**0.33%**。



不同风险系数下的利润分布

最差场景下的利润损失风险下降



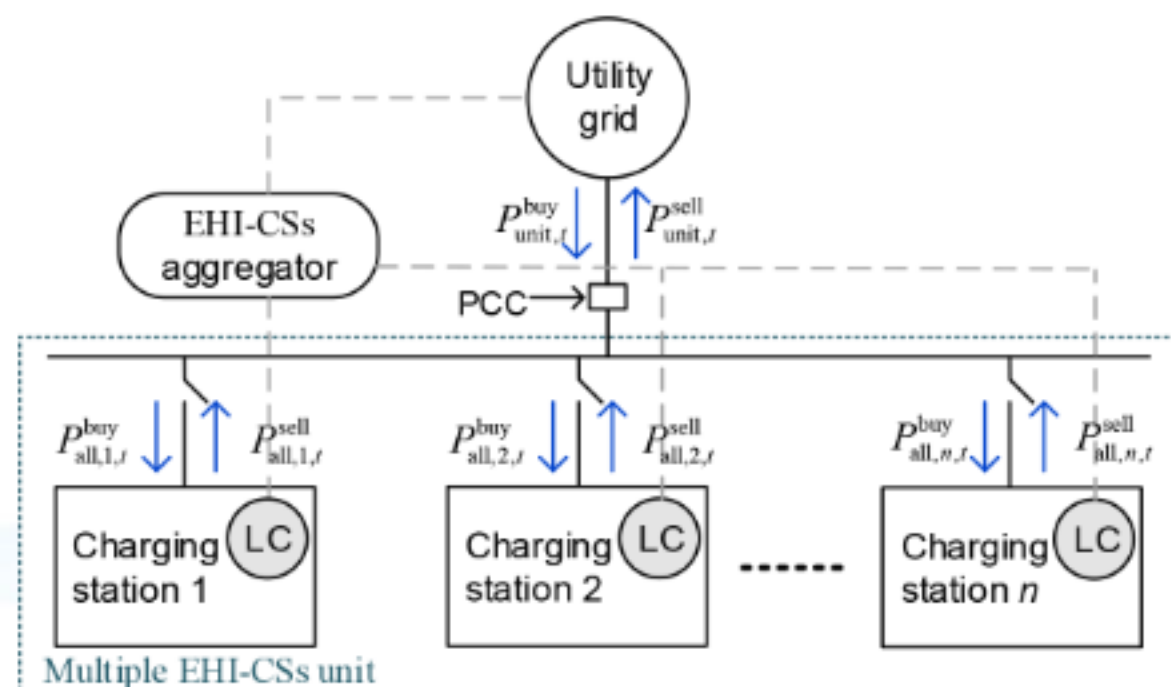
电-气-氢多能协调优化

大部分能量来自可再生能源发电
能量转化和储能储备中存在**能量损失**

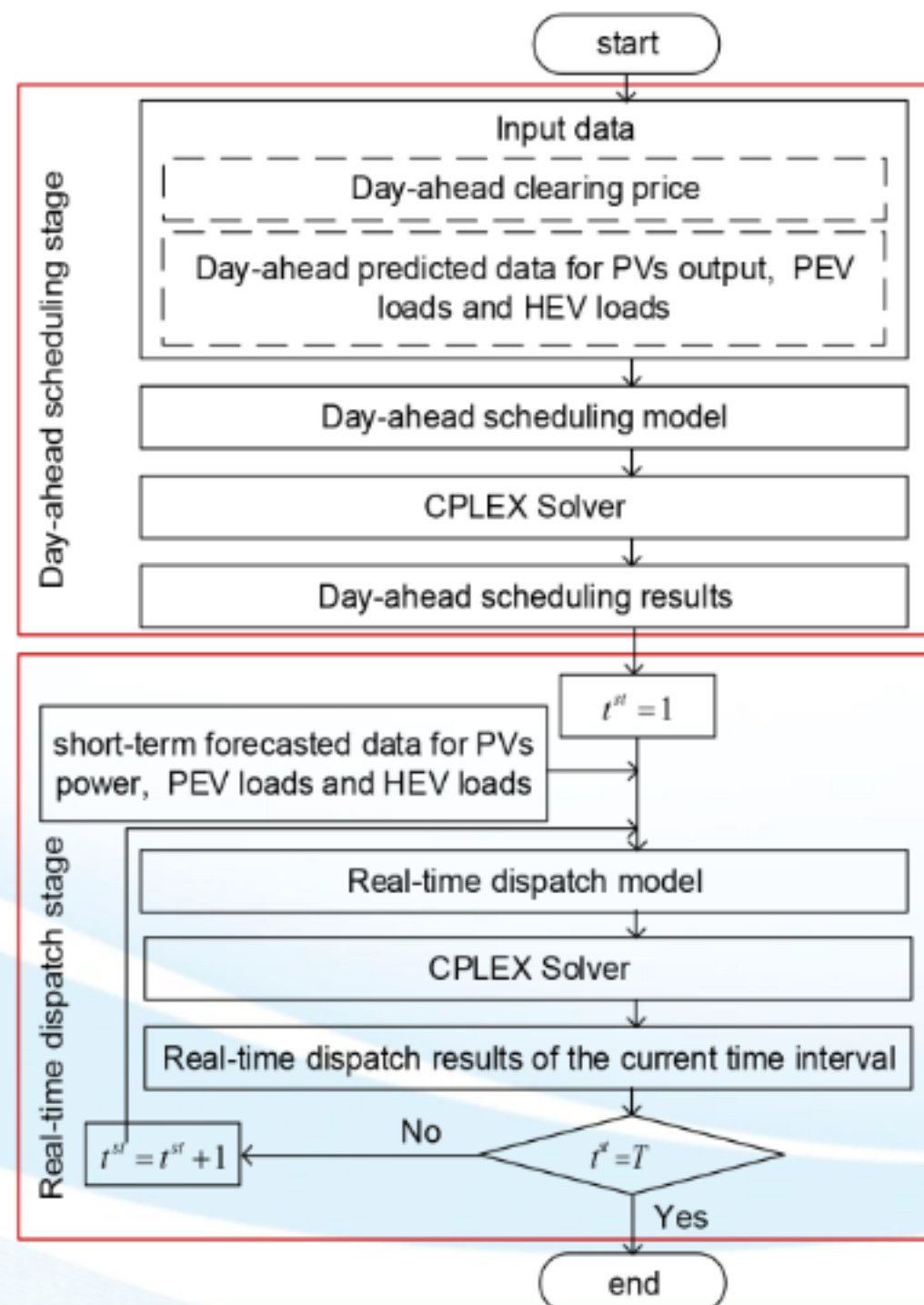
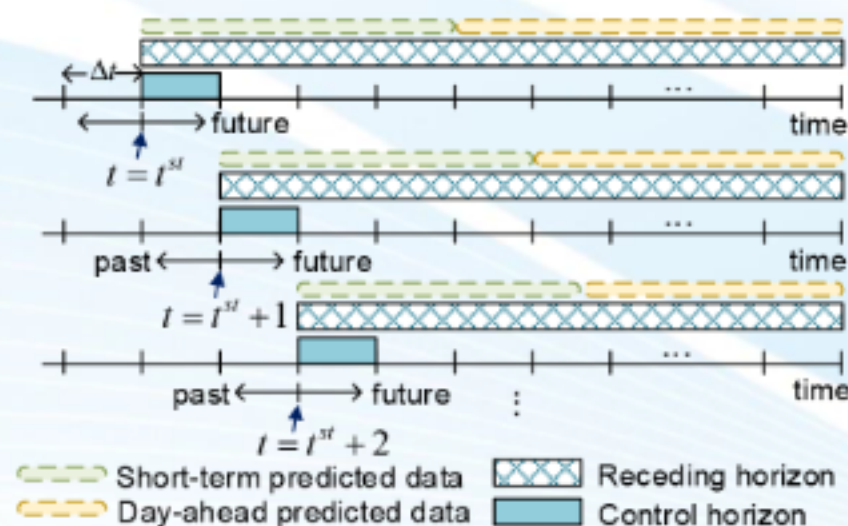
6: 区域氢-电-热综合能源系统能量优化调控方法



设计了一个**微网群系统结构**，包含**多个互联氢-电耦合综合供能站**，基于**模型预测控制（MPC）**两阶段能量管理方法，减小数据预测误差带来的负面效果，实现微网群多能互补，经济高效运行



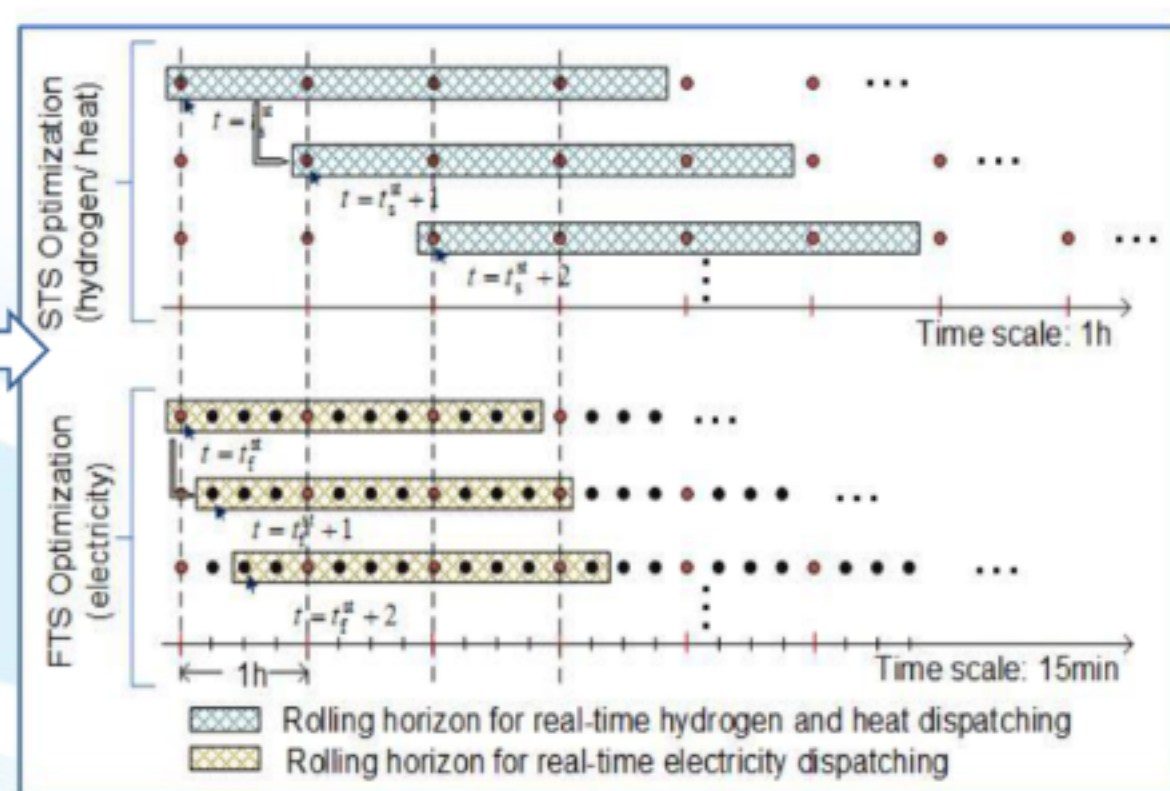
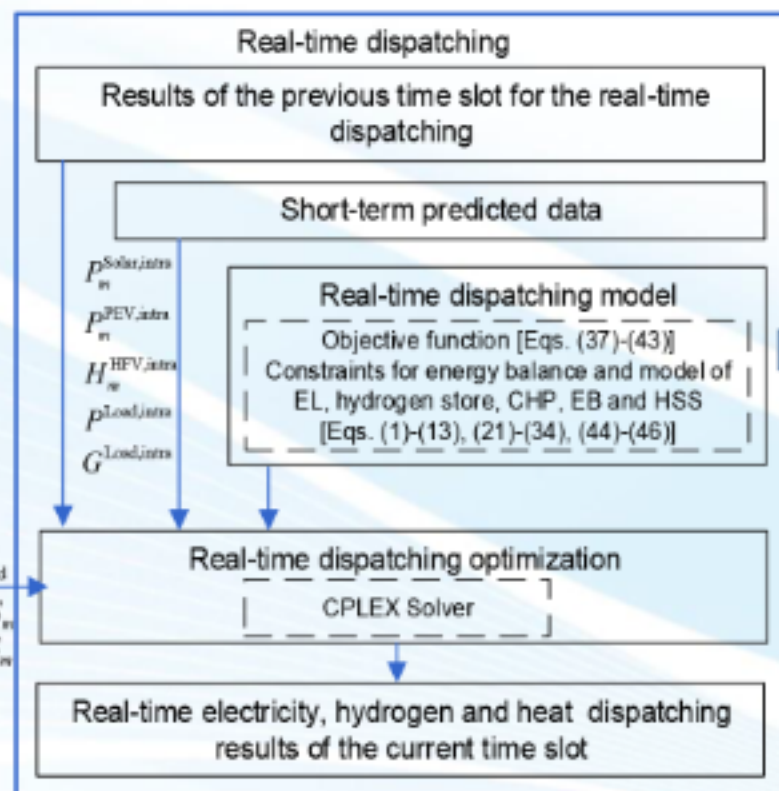
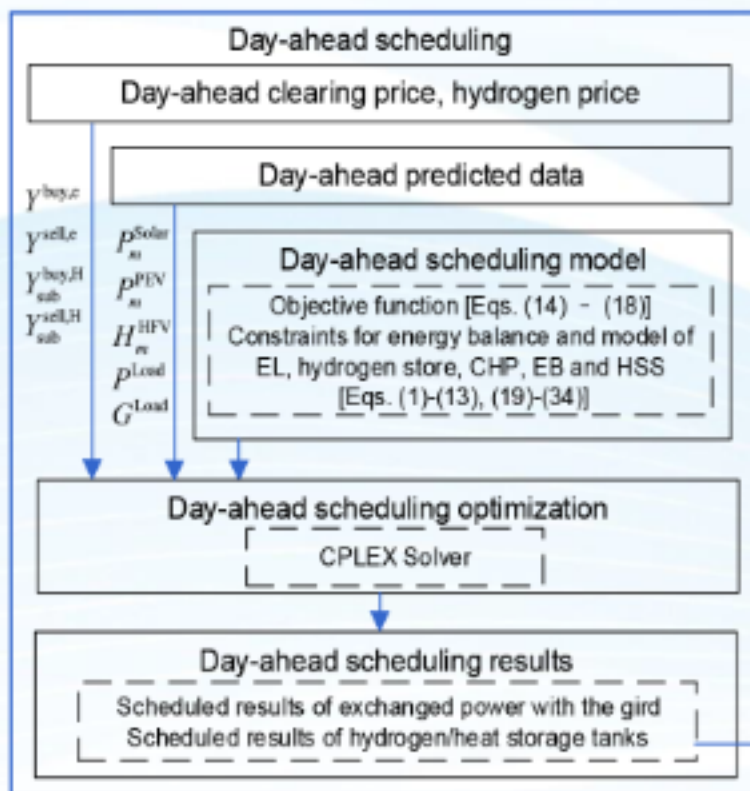
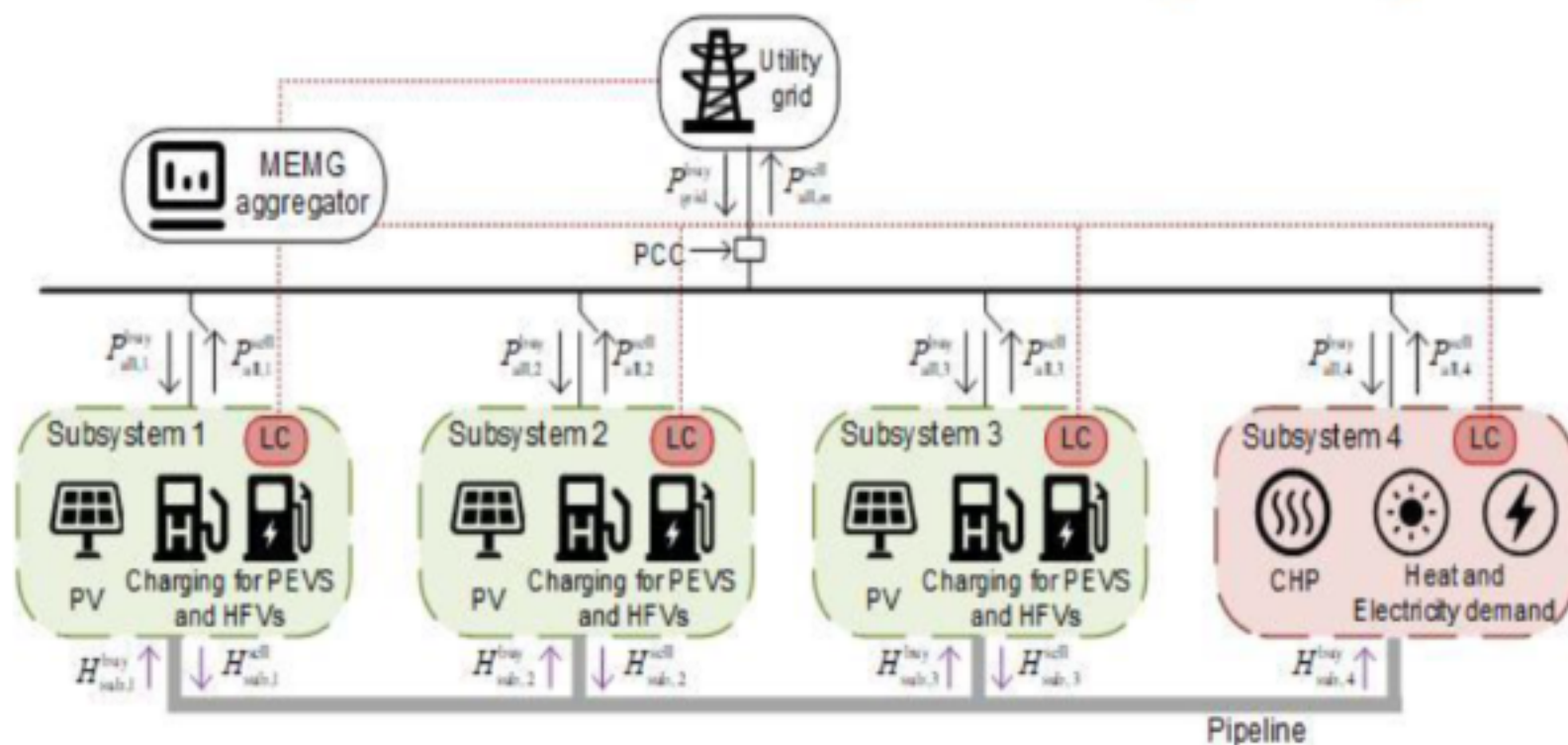
基于模型预测控制窗口缩减实时动态修正:



6: 区域氢-电-热综合能源系统能量优化调控方法



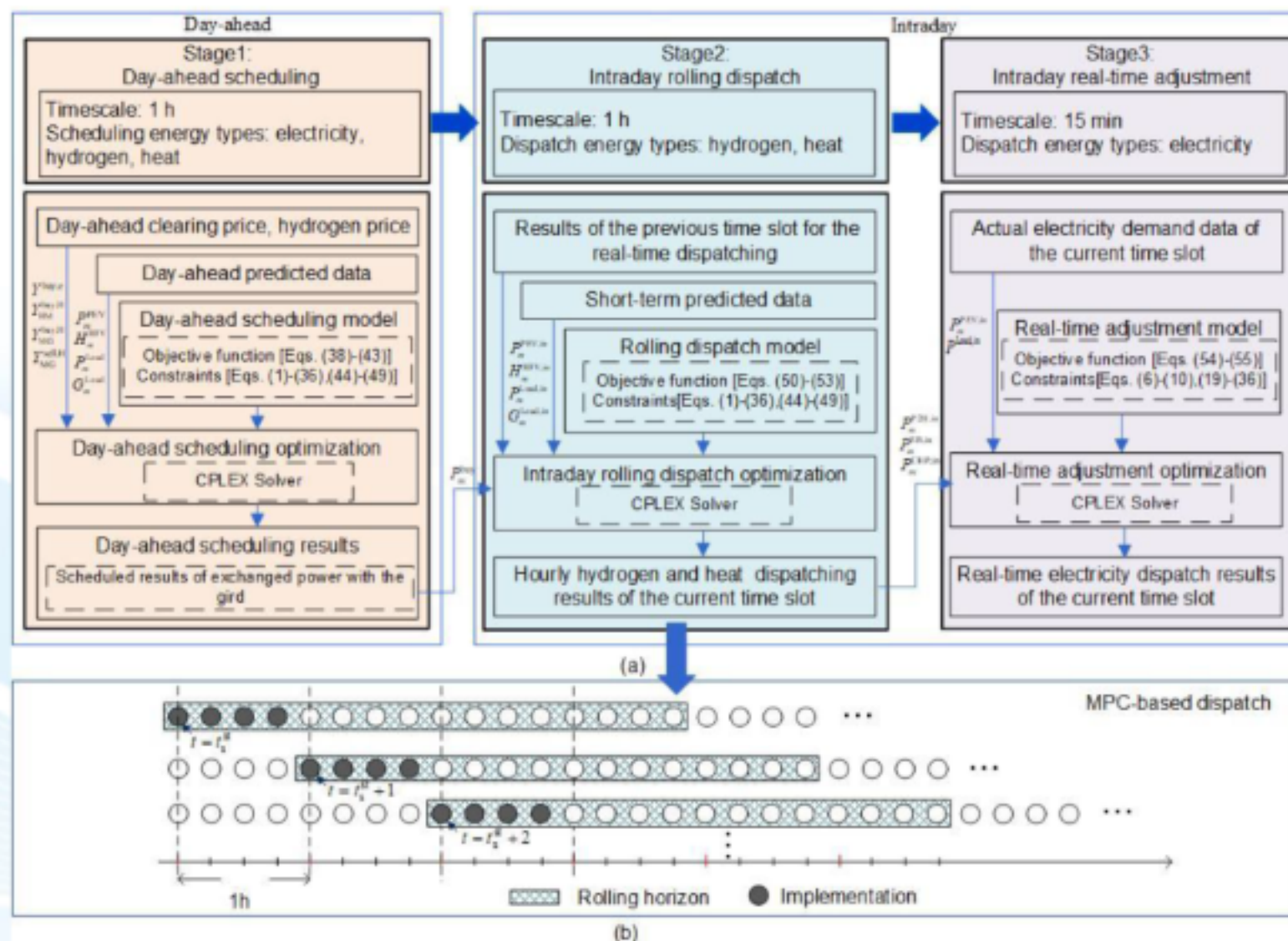
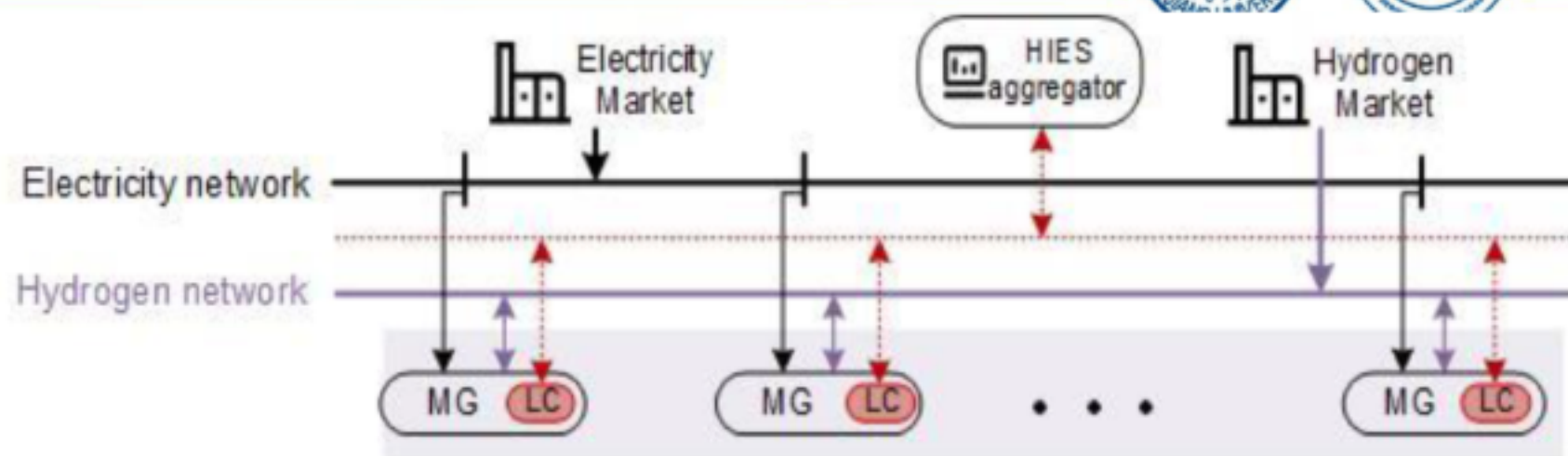
- 考虑短距离输氢，设计了一个**氢-电-热微网群系统结构**
- 基于MPC的多时间尺度能量管理
- 减小数据预测误差带来的负面效果
- 实现**微网群多能互补，经济高效运行**



6: 区域氢-电-热综合能源系统能量优化调控方法



- 设计了一个**区域氢-电-热综合能源系统结构**
- 系统连接配电网和配氢网（考虑了**电力市场/氢能市场价格**）
- 基于MPC的多阶段多时间尺度能量管理
- 减小多源负荷不确定性带来的负面效果、提升日内电力调度的计算效率
- 实现区域能源系统多能互补，经济高效运行



7: 电动汽车与电网互动模式分析



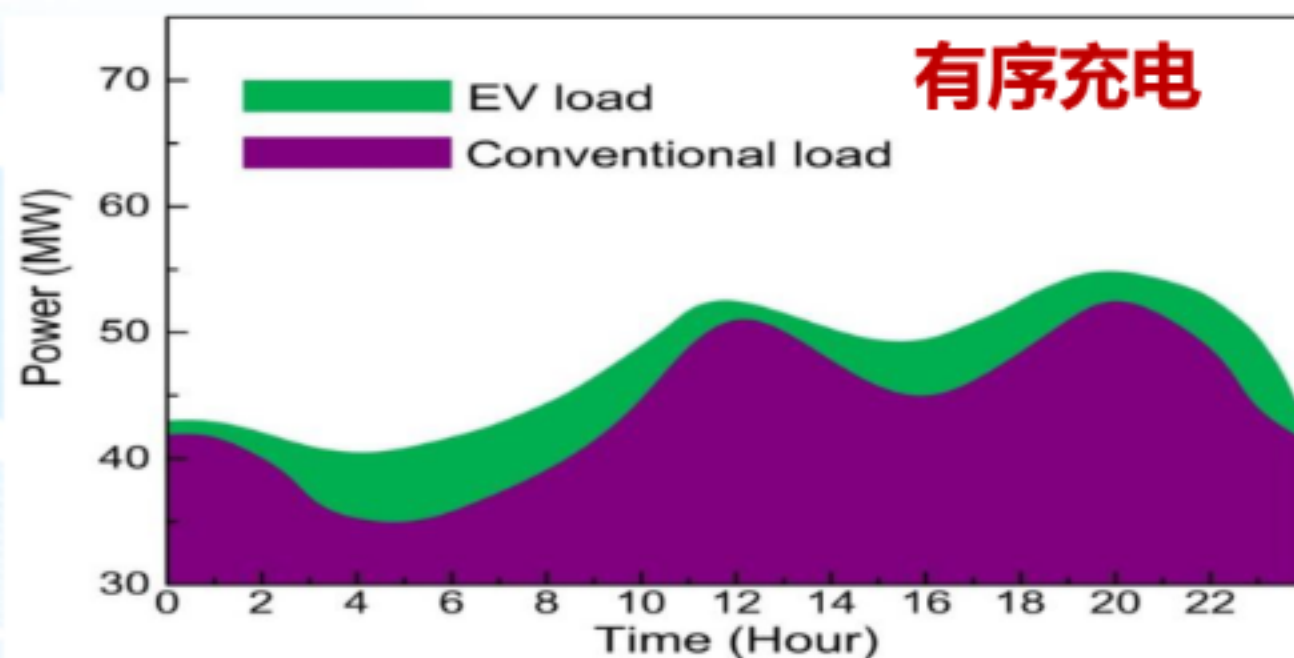
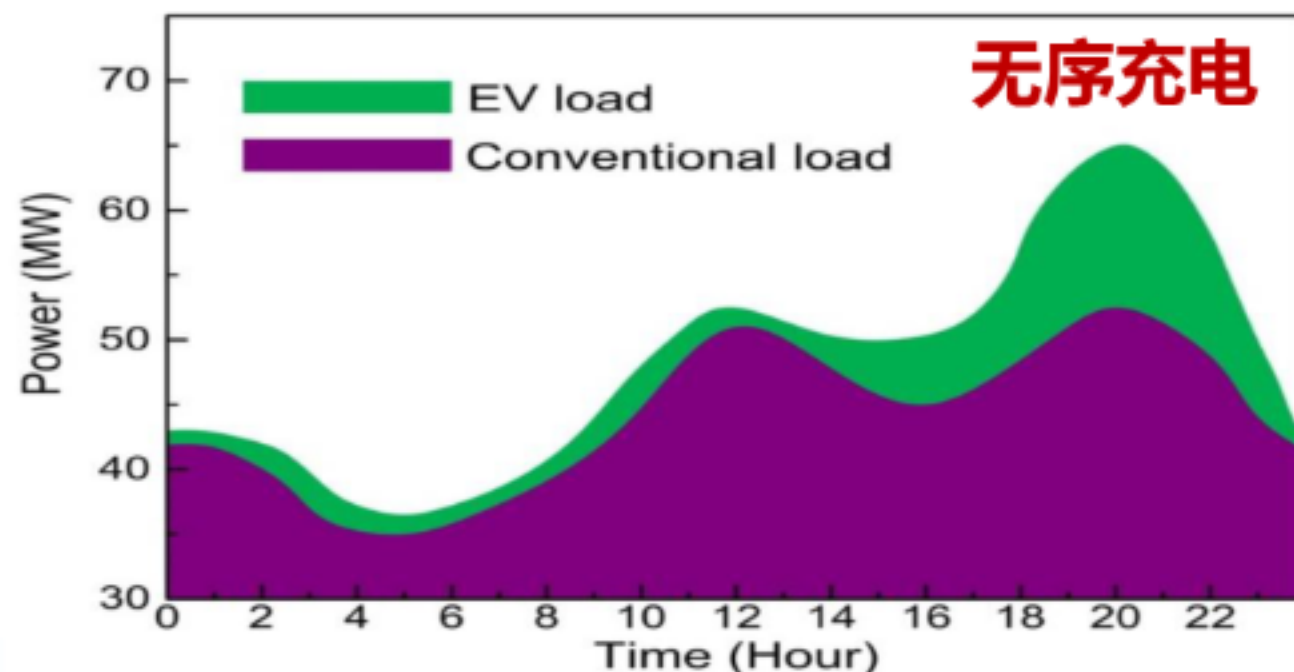
电动汽车即接入即充电不顾及电网状态，可能引发尖峰需求，进而影响电网安全经济运行。



慢充: ~20kW, AC



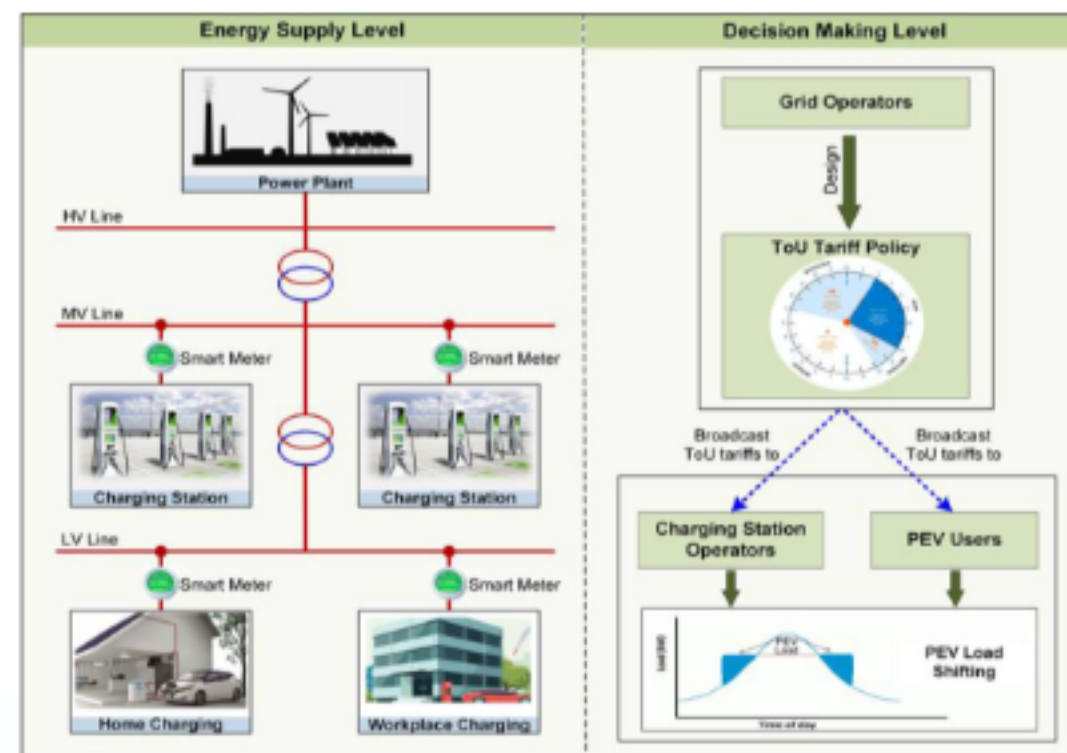
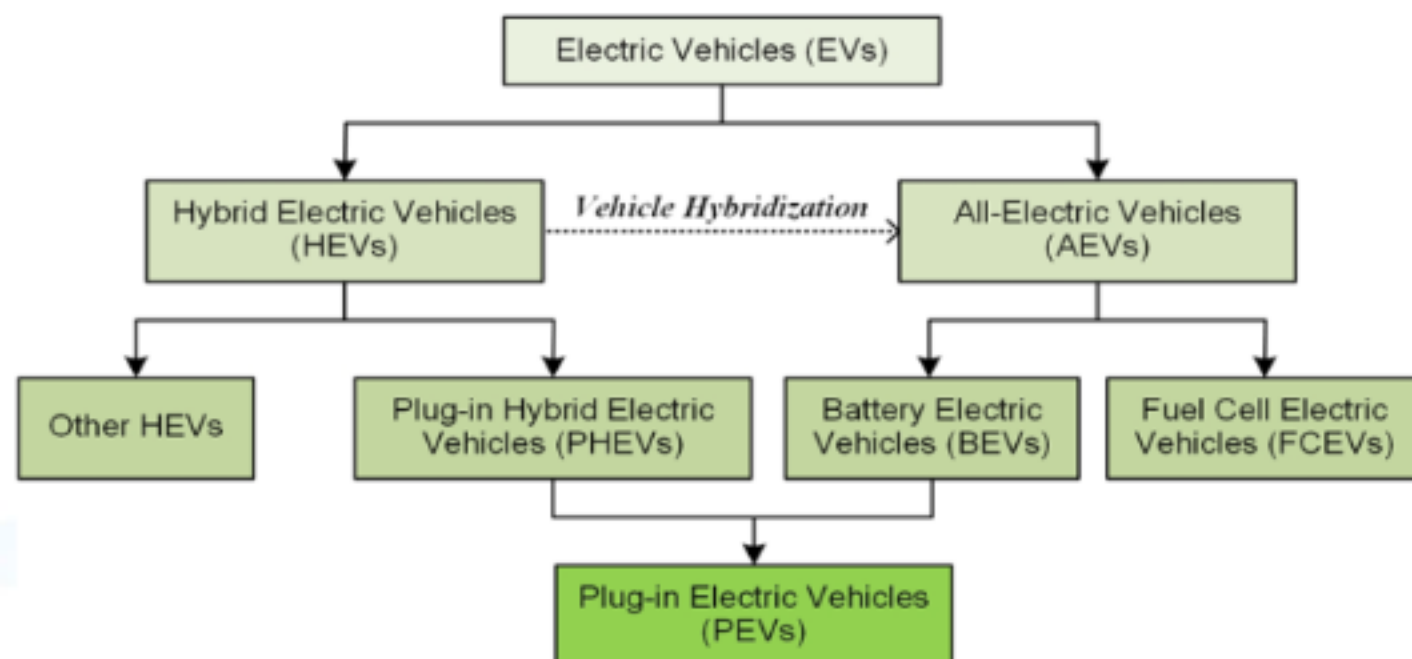
快充: 20~100kW, DC/AC



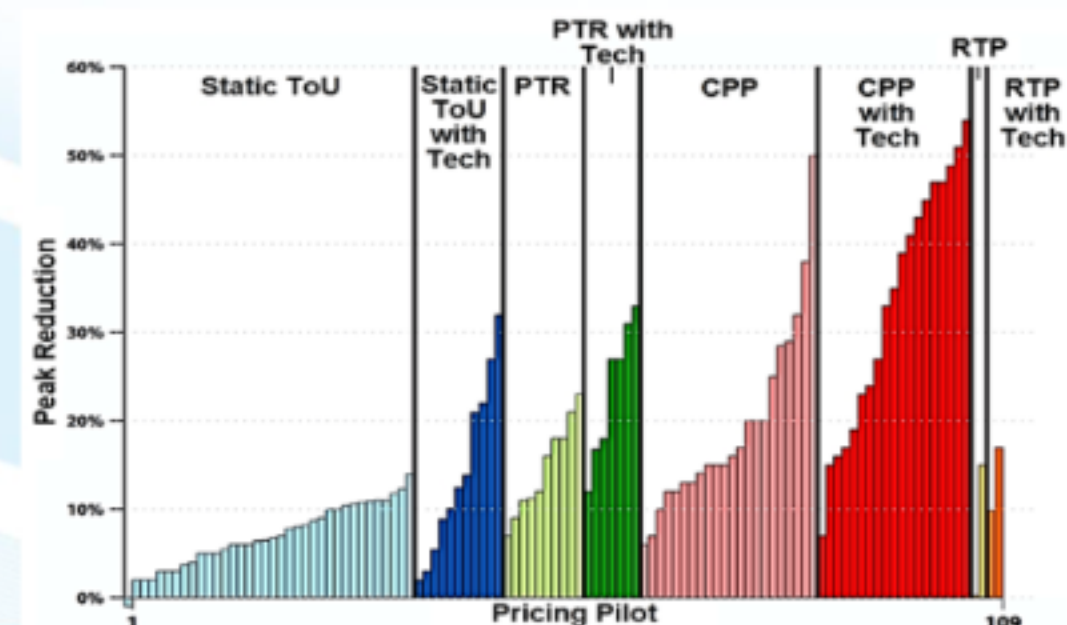
7: 电动汽车与电网互动模式分析



基于分时电价的有序充电: static ToU, dynamic ToU, called real-time pricing (RTP), critical peak pricing (CPP), peak time rebates (PTR).



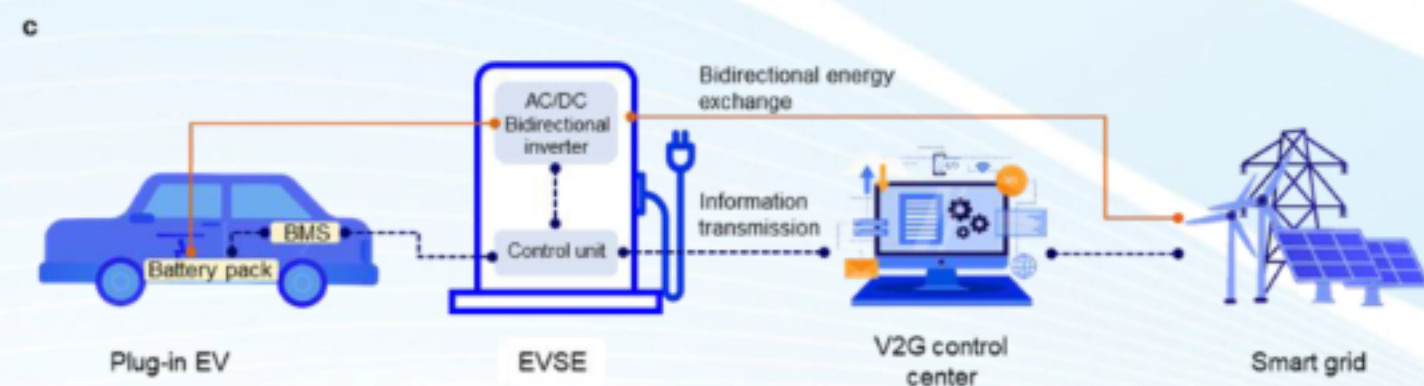
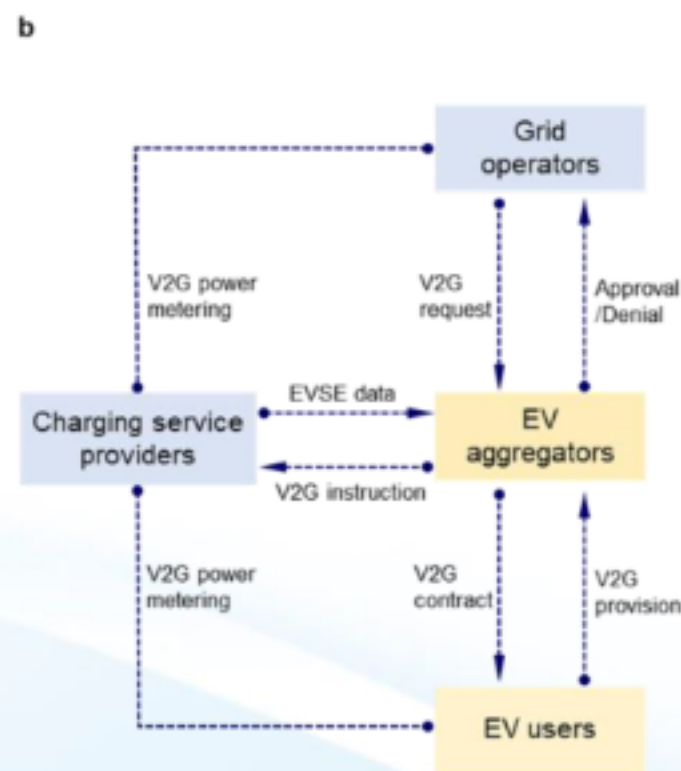
Country	Charging standards	AC/DC	Max. voltage (V)	Max. current (A)	Type of charge [1]
China	GB/T	Mode 1	AC 250 (1-Ø)	8	Slow
		Mode 2	AC 250 (1-Ø)	16	Slow
		Mode 3	AC 250 (1-Ø)	32	Slow
		Mode 4	DC 440 (3-Ø)	63	Fast
North America	SAE	Mode 4	DC 1000	250	Ultrafast
		Level 1	AC 120 (1-Ø)	16	Slow
		Level 2	AC 240 (1-Ø)	80	Fast
		Level 3	DC 600	80	Ultrafast
European Union	IEC		DC 1000	400	Ultrafast
		Mode 1	AC 250 (1-Ø)	16	Slow
		Mode 2	AC 480 (3-Ø)	16	Slow
		Mode 3	AC 250 (1-Ø)	32	Slow
			AC 480 (3-Ø)	32	Fast
		Mode 4	DC 480	250	Ultrafast
		Mode 4	DC 600	400	Ultrafast



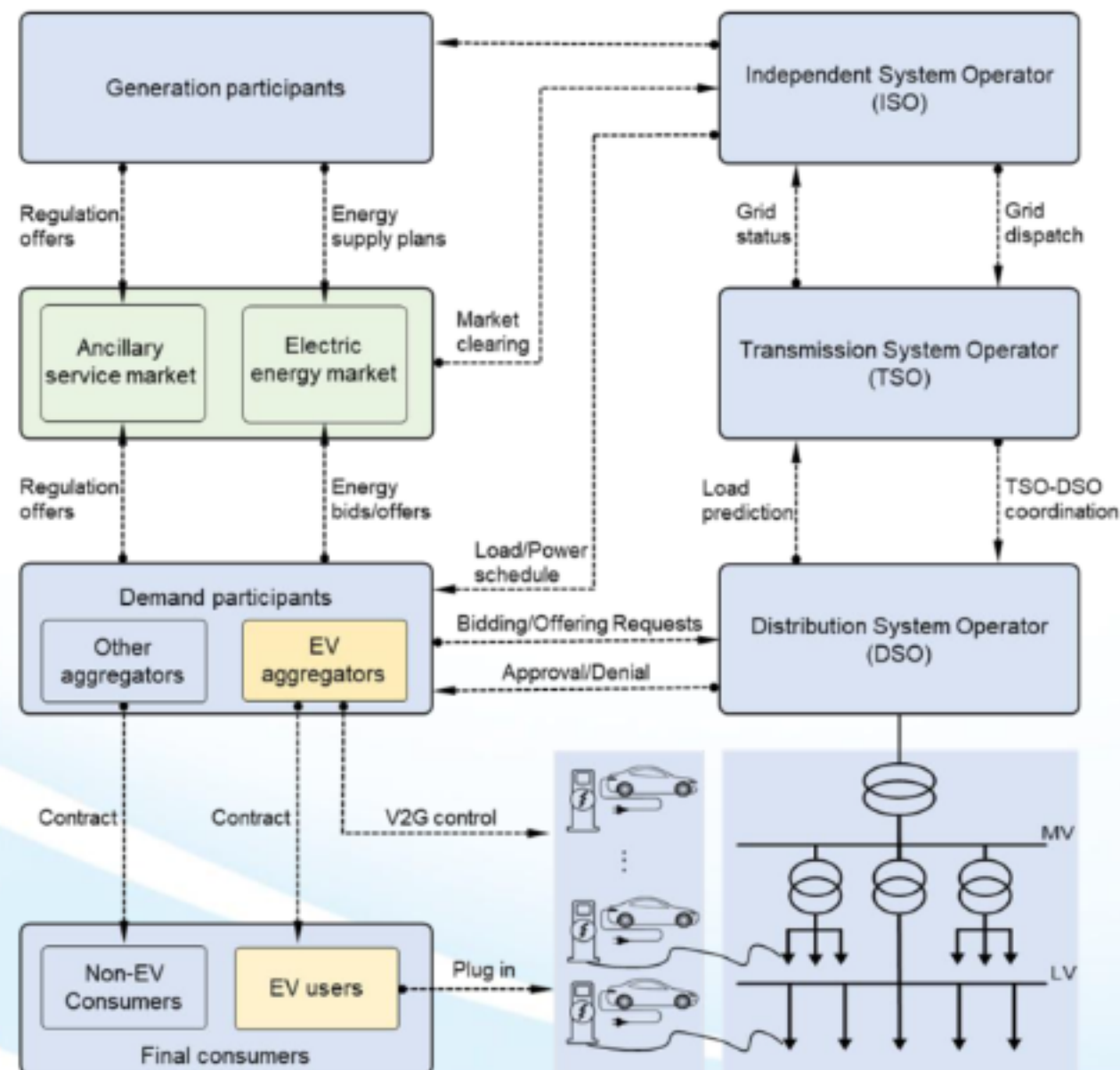
7: 电动汽车与电网互动模式



充放电控制: **grid-to-vehicle(G2V)**, **vehicle-to-grid(V2G)**。
两种架构: 基于**竞争电力市场** (电能量和辅助服务), 基于**需求响应**。



车网互动通讯控制架构



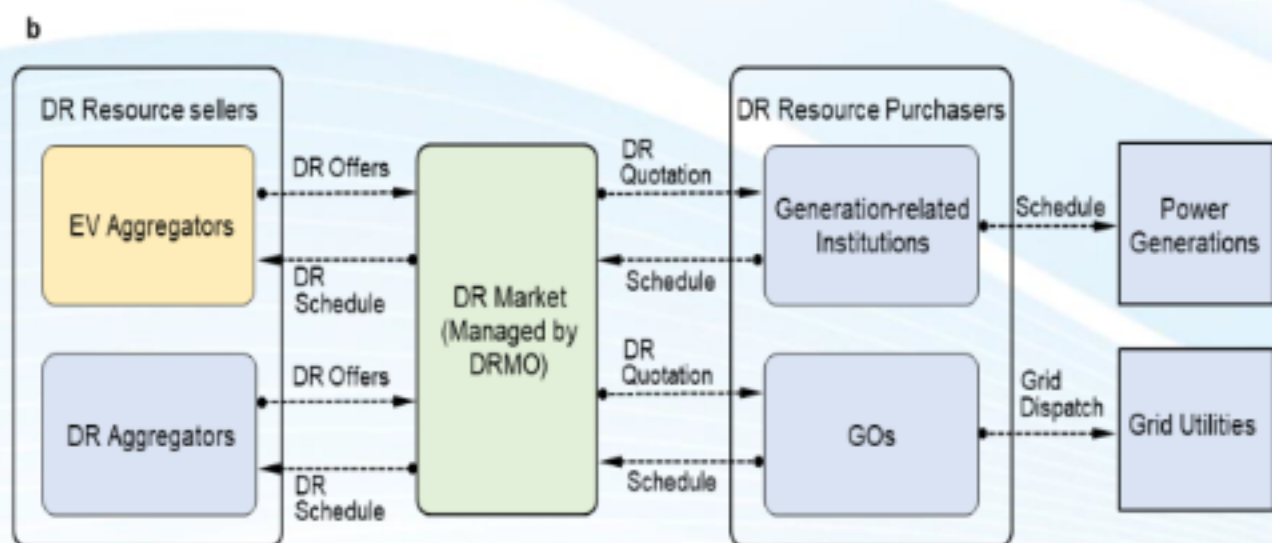
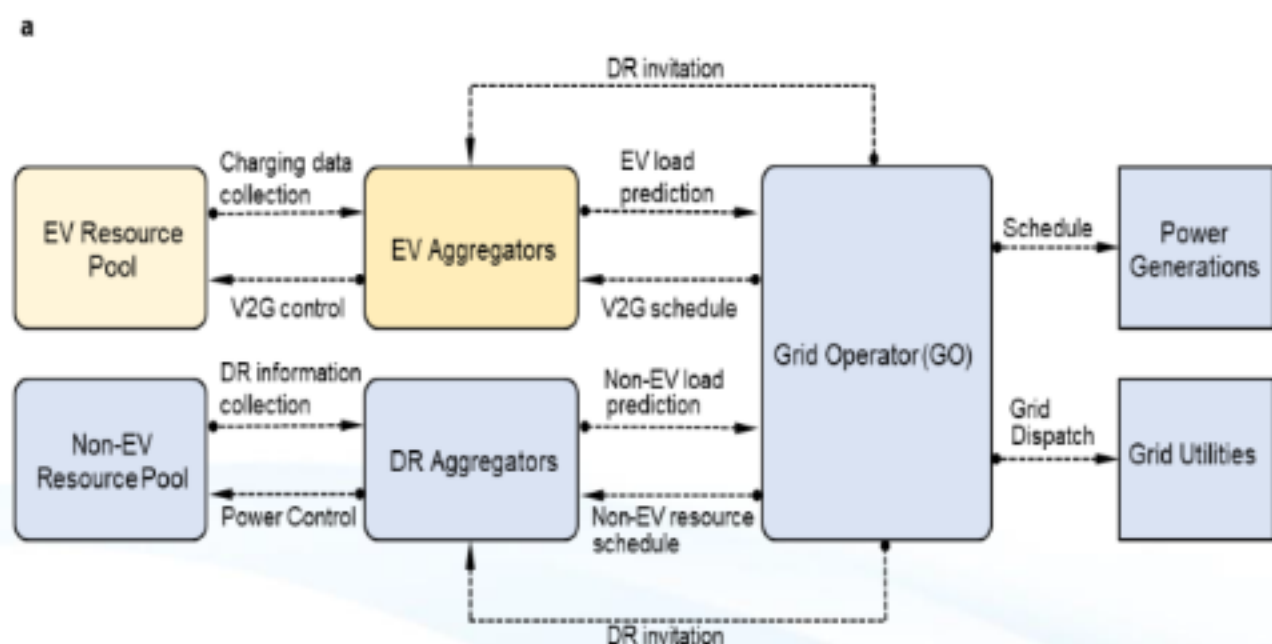
电力市场环境有序充放电

7: 电动汽车与电网互动模式分析

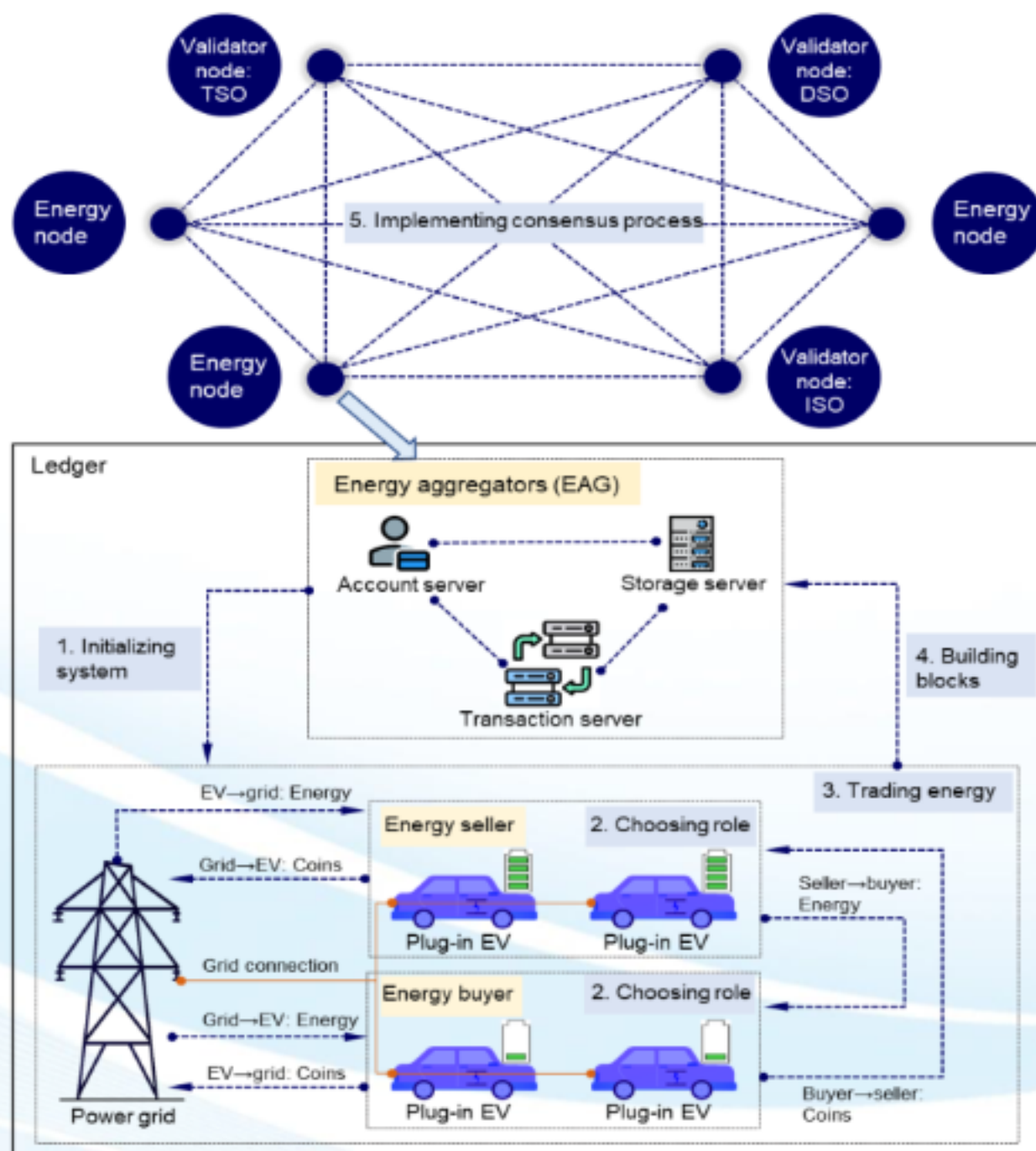


需求响应下的车网互动：基于邀请制或者需求响应资源市场交易机制。

新型的车网互动新模式（无需电动汽车聚合商）：基于区块链P2P技术。



Note: EV aggregators can participate in DR programs by: i. reducing demand (shut down the charging process), or ii. reducing demand (lower the charging rate), or iii. providing power to grids from EV batteries.

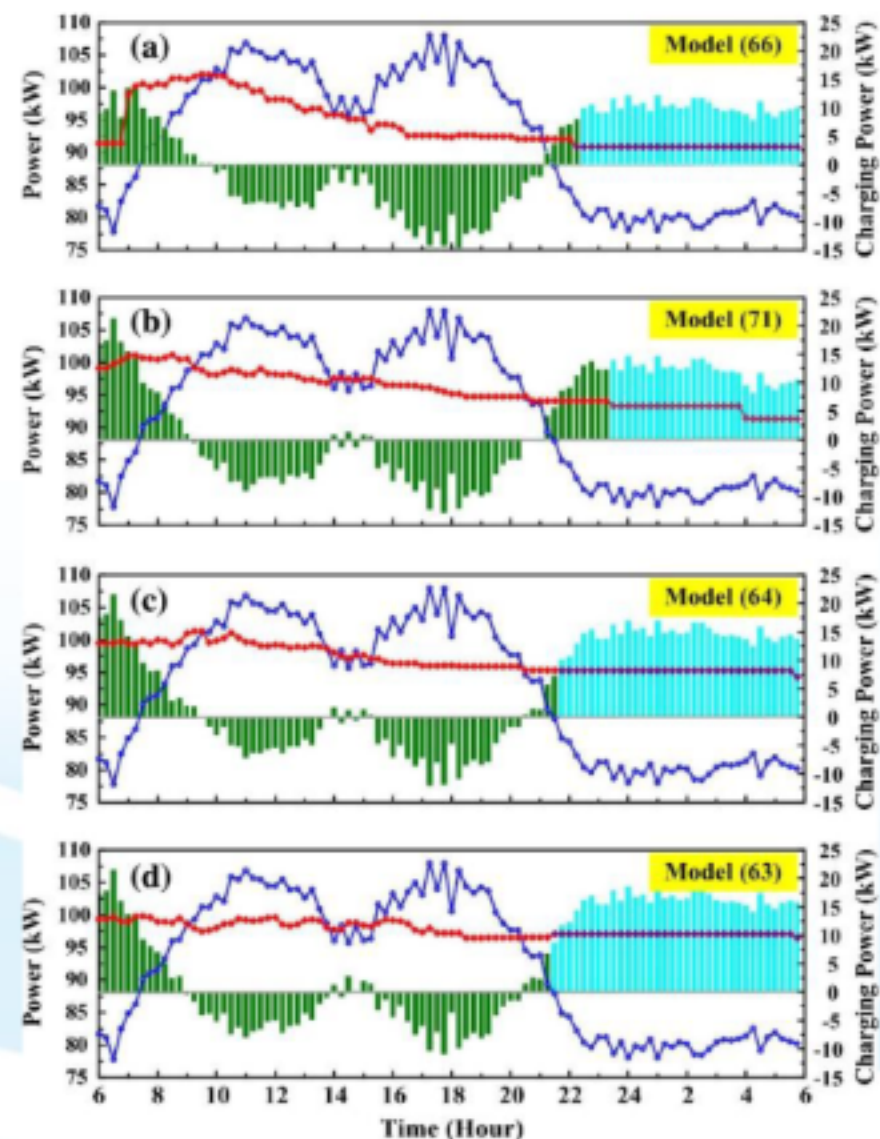
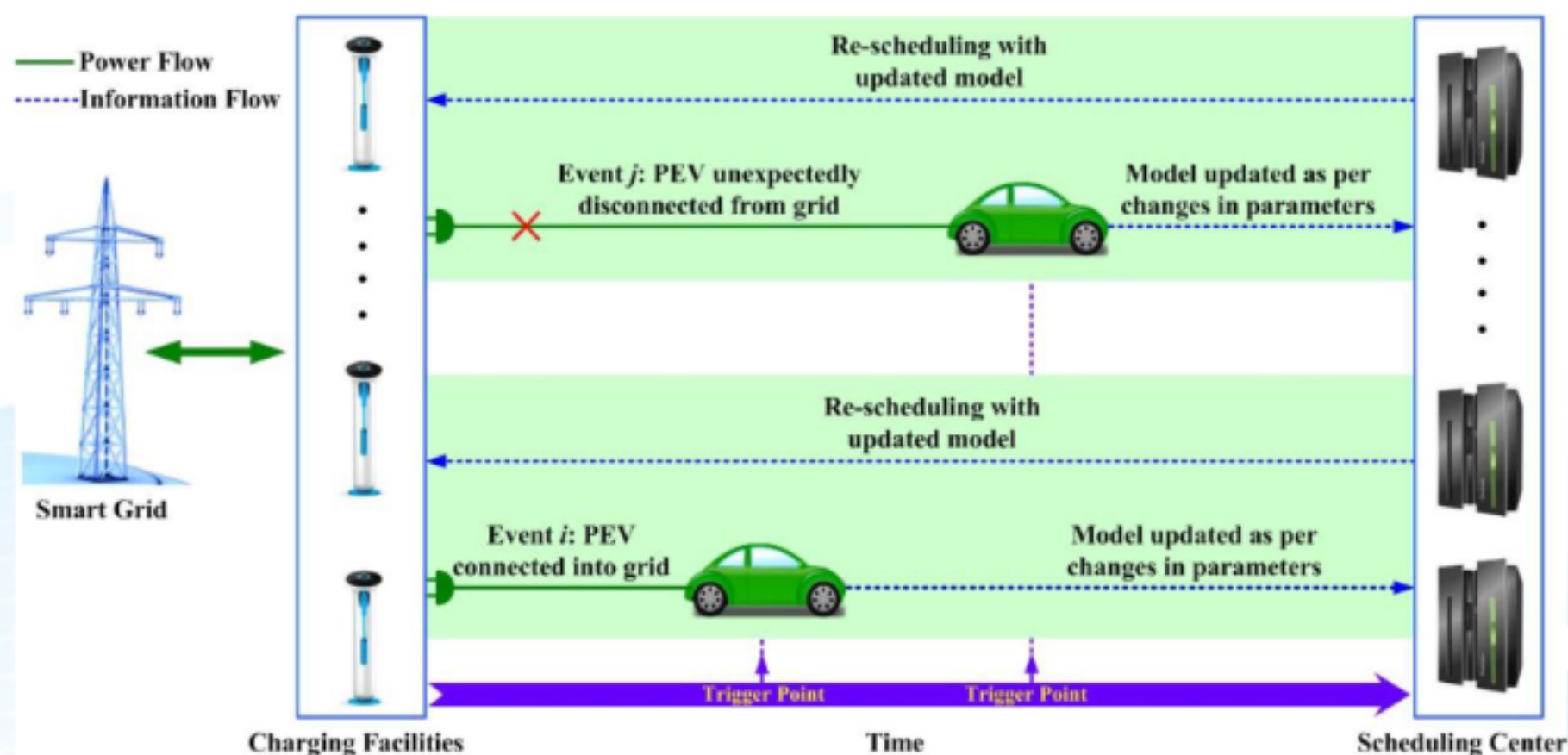


8: 电动汽车与电网互动潜力评估



以区域电网为研究对象，考虑电动汽车随机接入的V2G动态优化调度策略：

- 解决电动汽车接入/脱离电网的随机性问题，建立了“事件触发型”V2G优化调度模型。
- 以电动汽车接入或意外剥离作为触发点，滚动更新模型参数，并对余下进程进行重新规划，最终达到对全周期内入网车辆的充放电功率谱的优化调节。



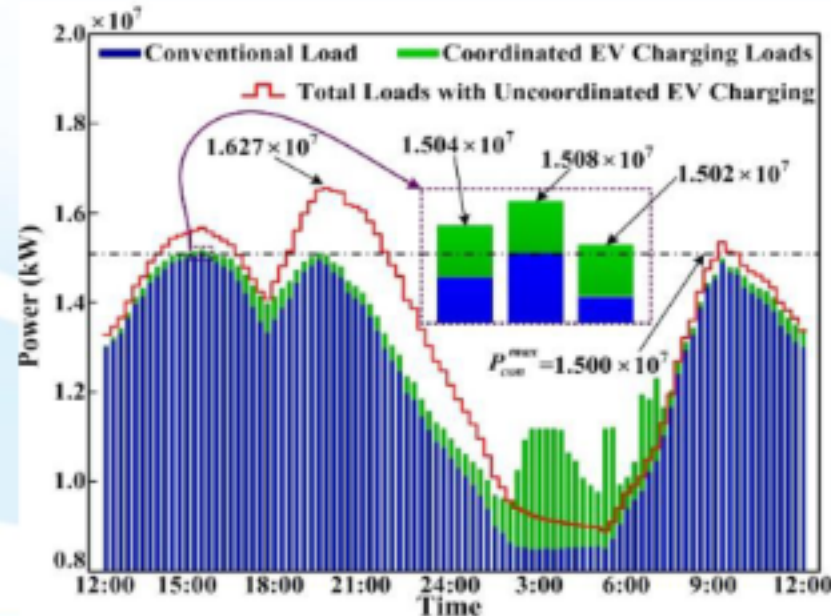
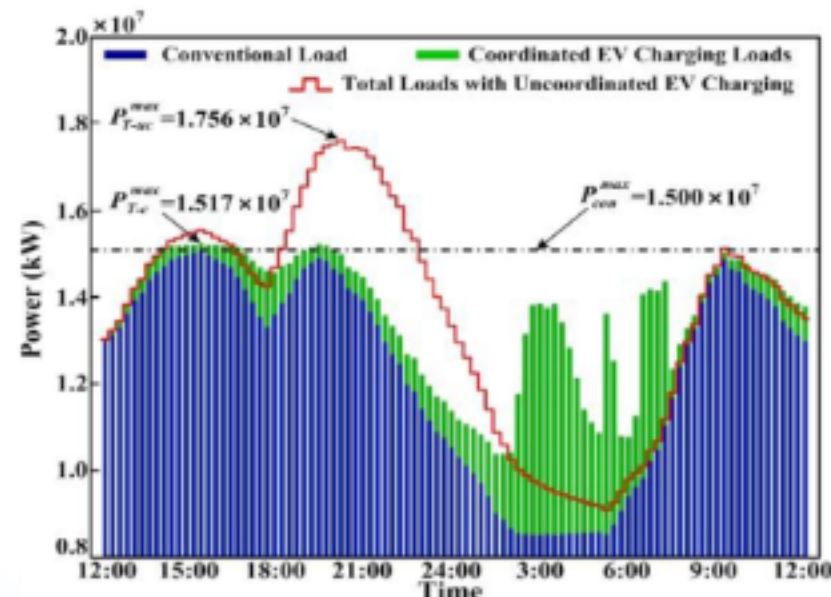
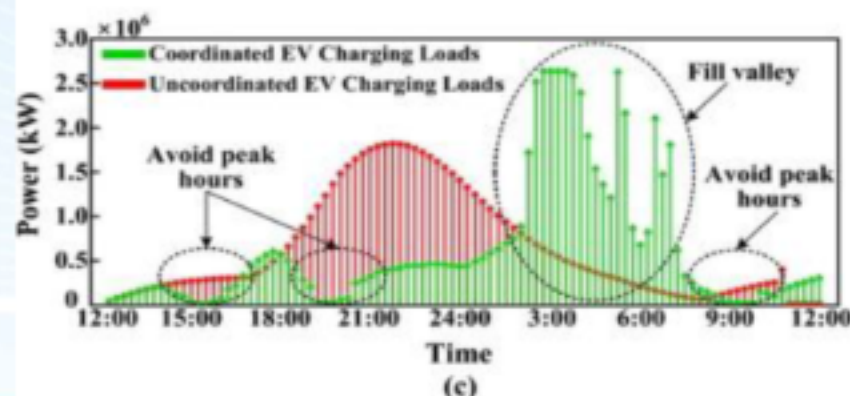
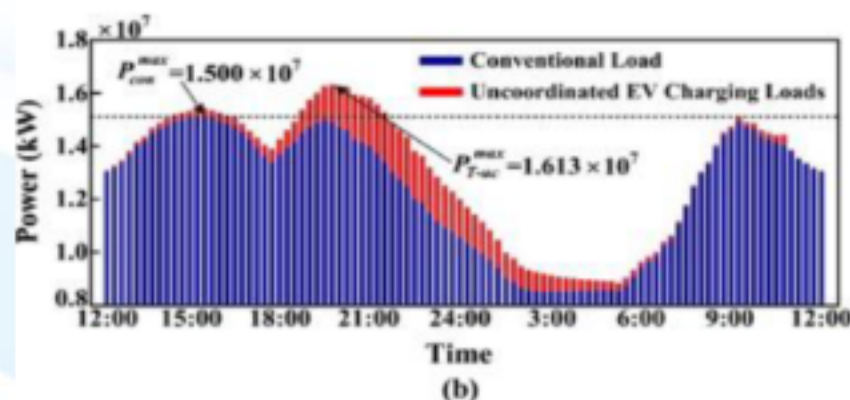
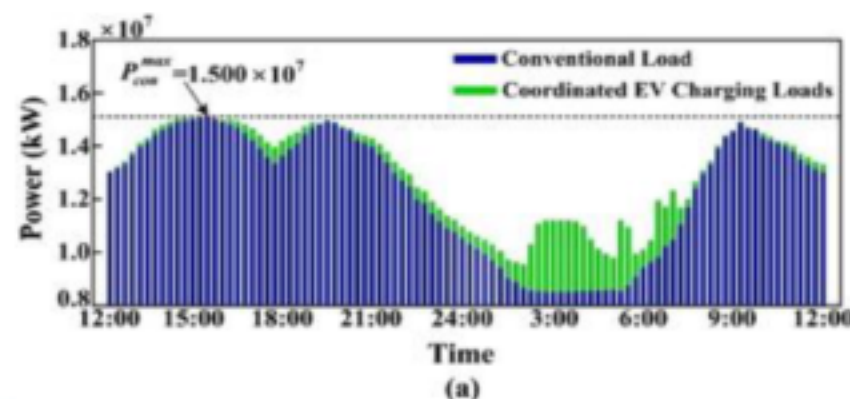
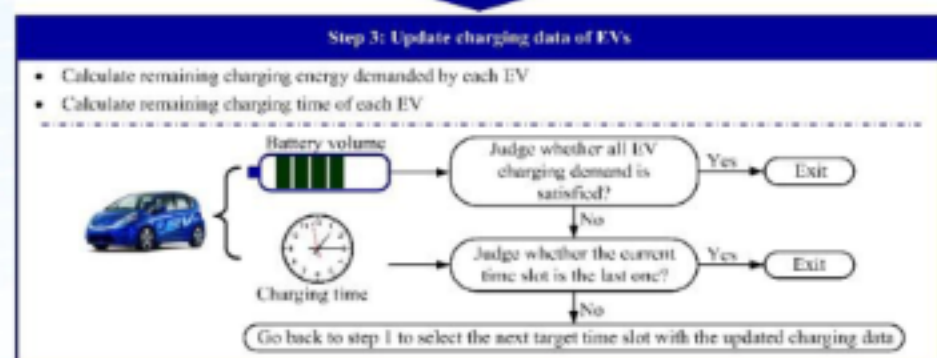
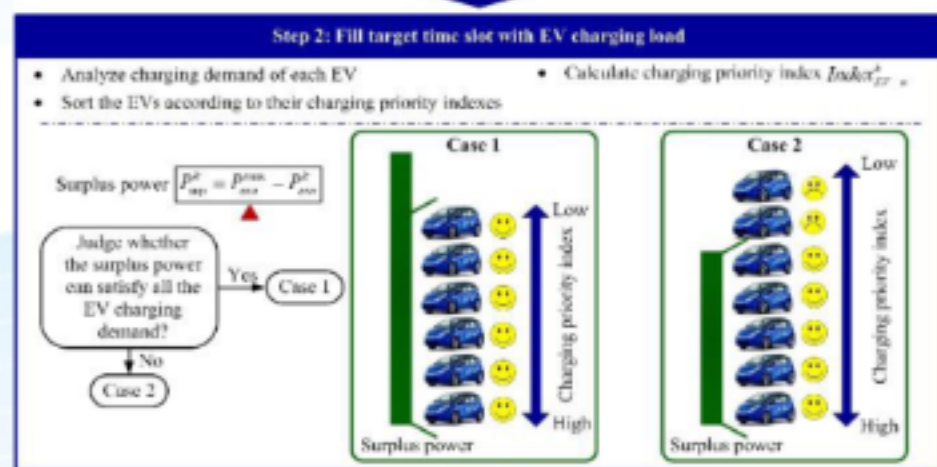
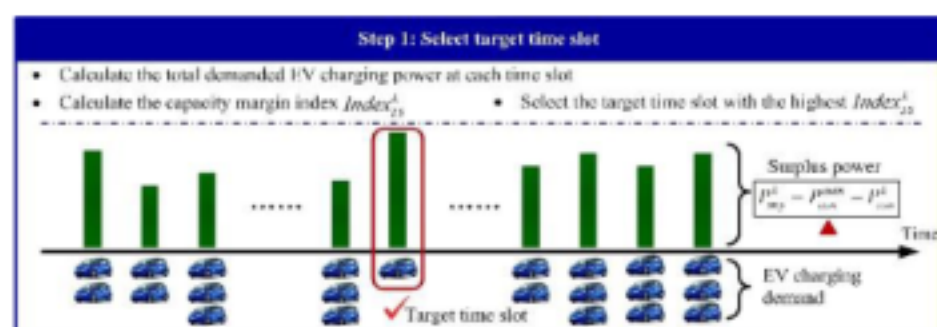
Valley load filling or peak load shaving assessment via smart charging or V2G operation of large-scale EVs

8: 电动汽车与电网互动潜力评估



大电网下低复杂度的电动汽车智能充电“削峰填谷”调度算法:

- 为了应对未来超大规模电动汽车集群入网V2G运行时所带来的模型求解复杂度方面的挑战, 提出了一种具备超低复杂度的集中式智能充电“削峰填谷”调度算法。
- 该算法可处理规模超百万辆电动汽车同时入网充电的问题, 显著削减电网负荷尖峰压力。



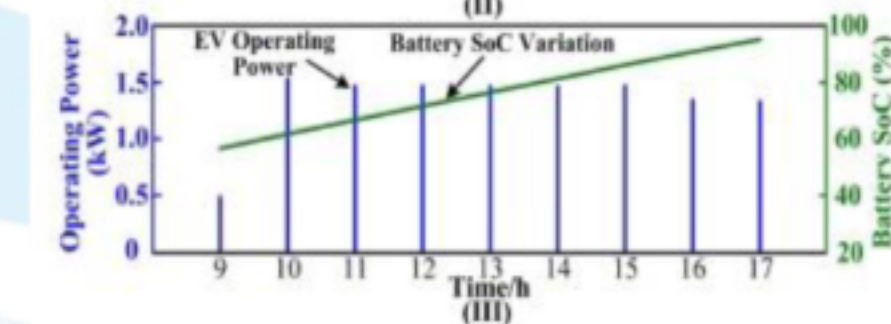
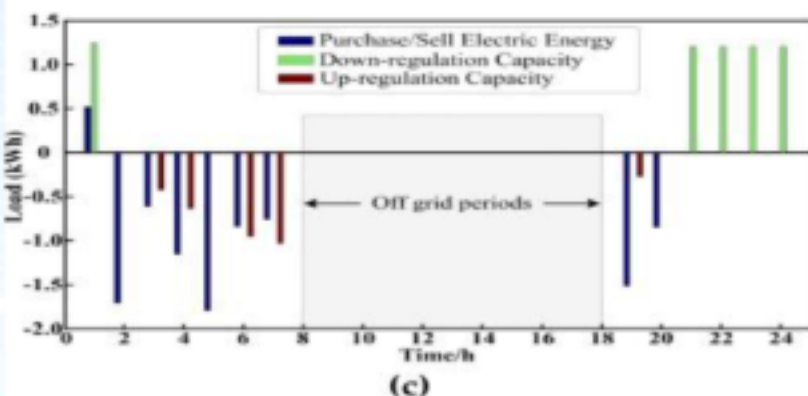
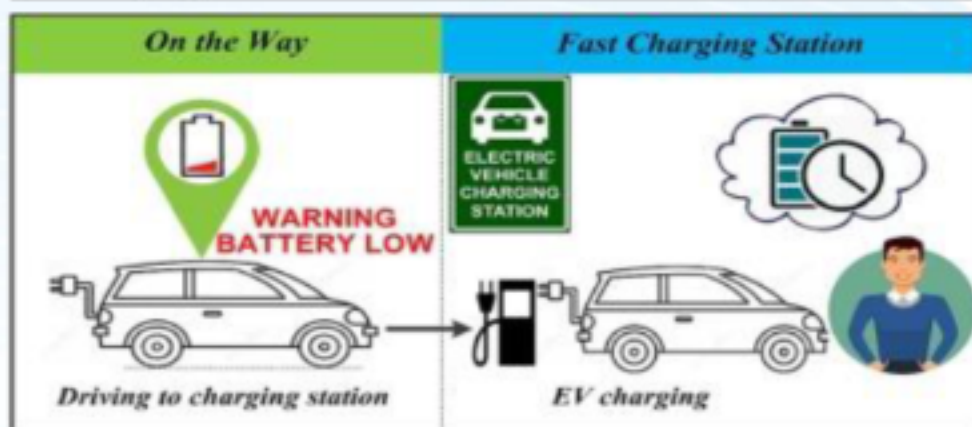
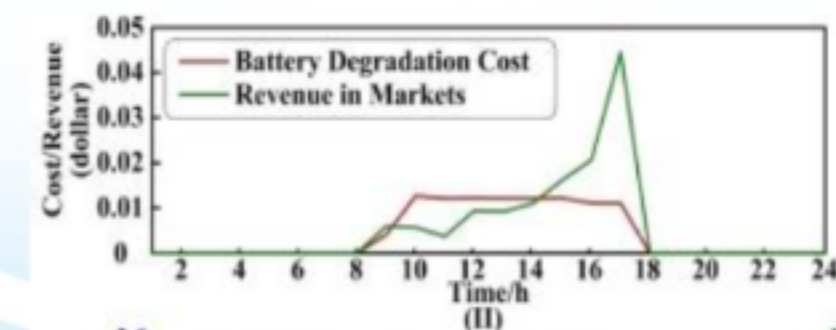
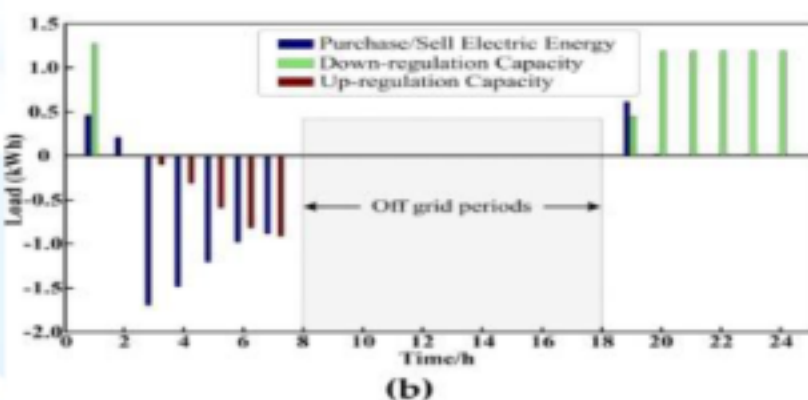
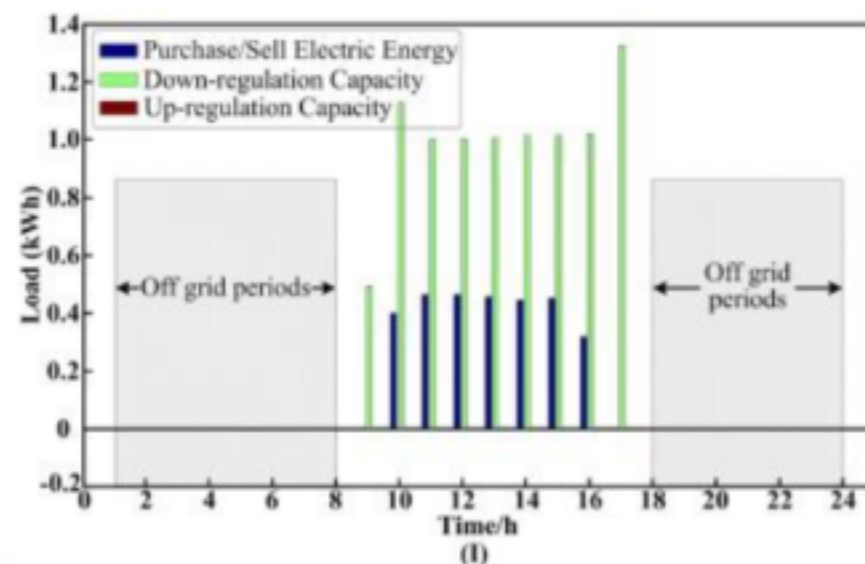
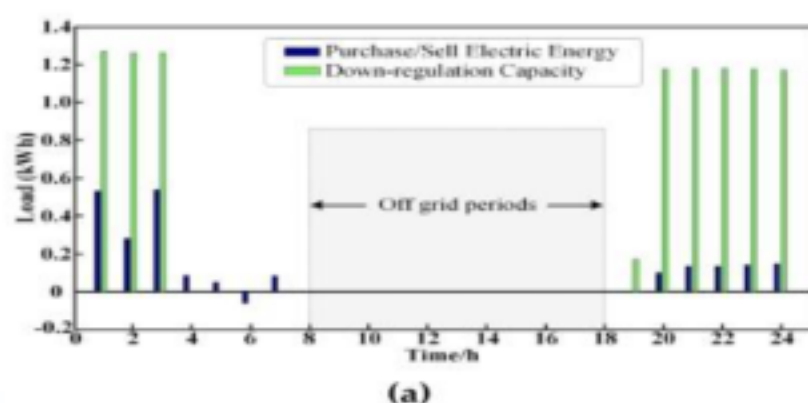
9: 电动汽车参与电力市场可行性分析



不同充电场景下电动汽车提供V2G服务的经济性分析:

针对不同的充电场景（居家充电，工作地充电，快充站充电），从时间和经济性两个维度分析电动汽车在电力市场环境下提供V2G服务的可行性。

Economic feasibility of electric vehicles providing vehicle-to-grid services



9: 电动汽车参与电力市场可行性分析



考虑电池损耗的电动汽车聚合商参与电力市场经济性评估:

- 该项研究从经济上评估了电动汽车参与电能量和调频市场的可行性。
- 考虑到电动汽车放电会招致额外的电池损耗，引入了非线性函数刻画电动汽车参与电网服务所带来的成本。在此基础上，构建了以净利润最大化为目标的电动汽车充放电优化模型。

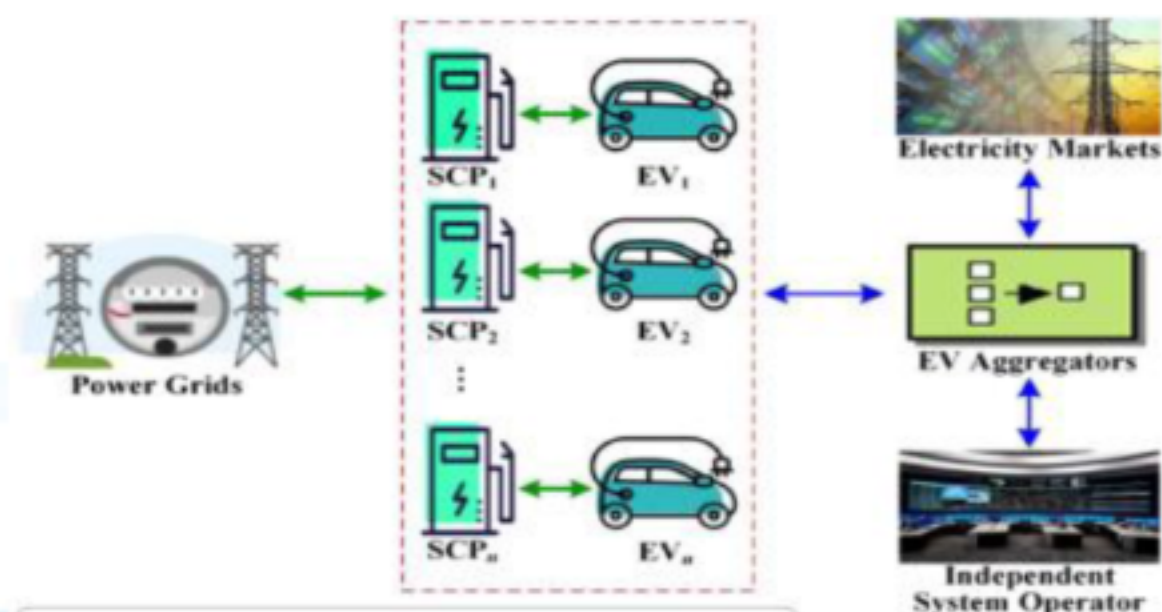
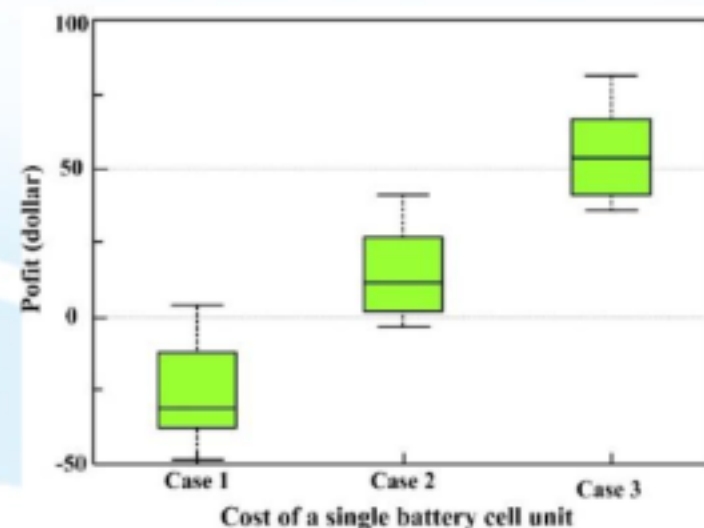
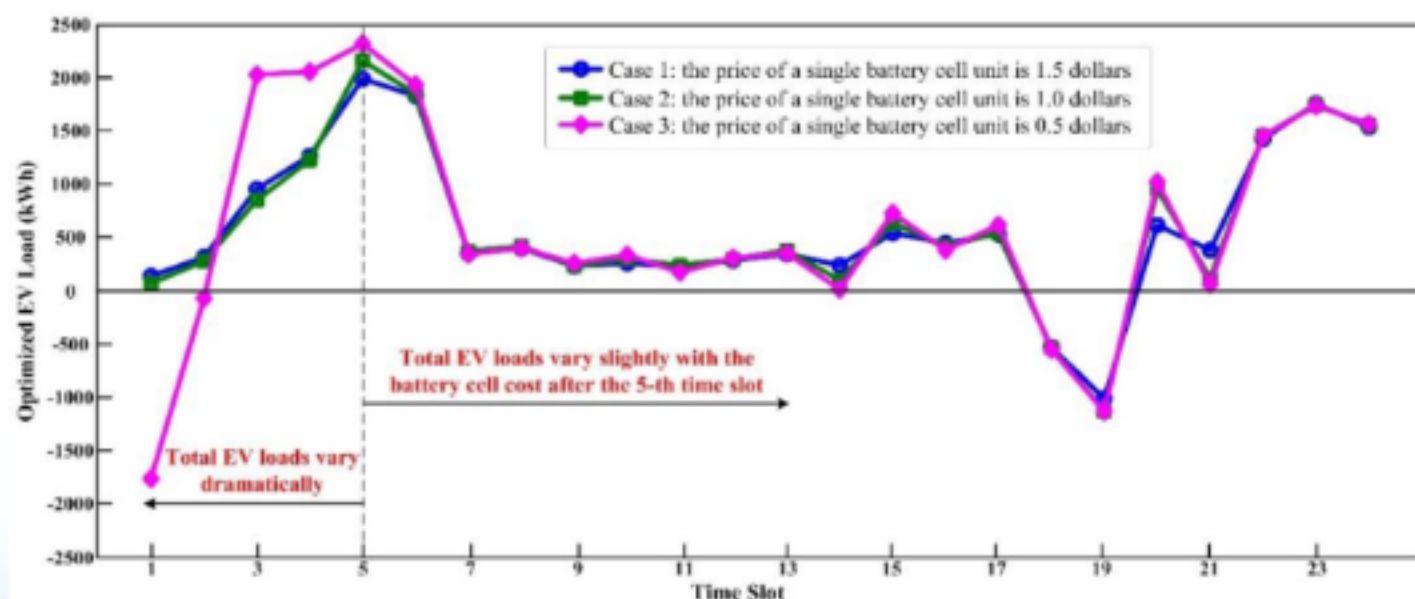
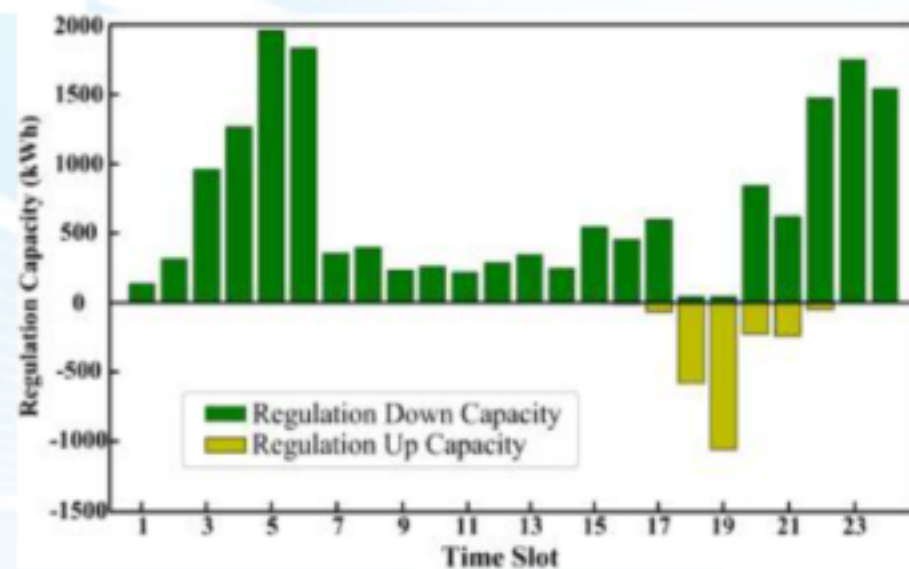
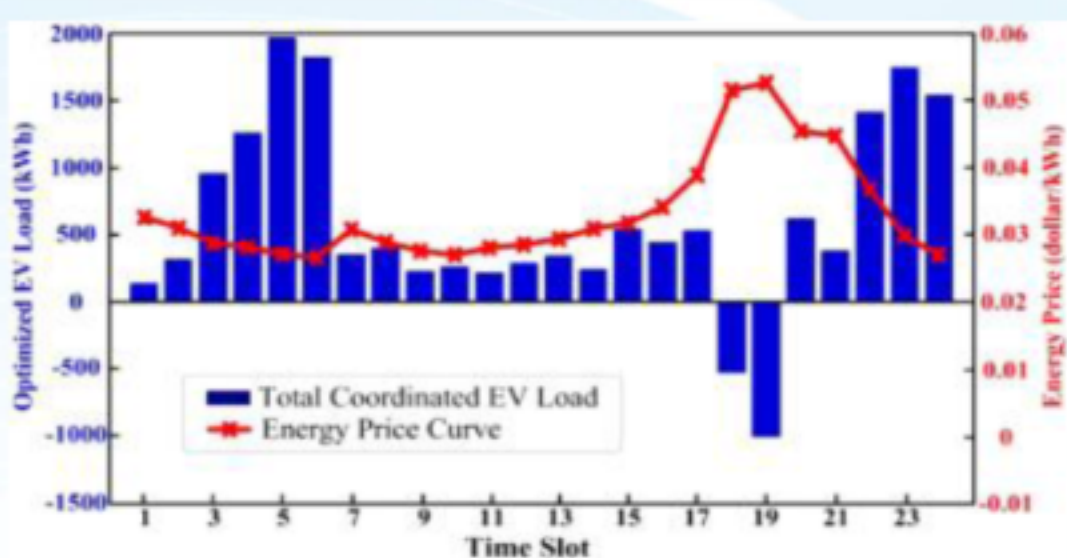


Figure Note: — Information Flow — Power Flow

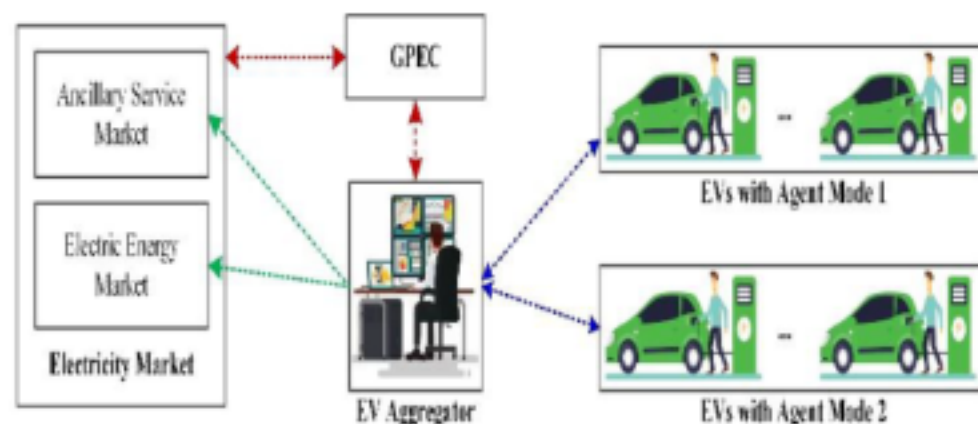


10: 电动汽车聚合商参与电力市场策略分析

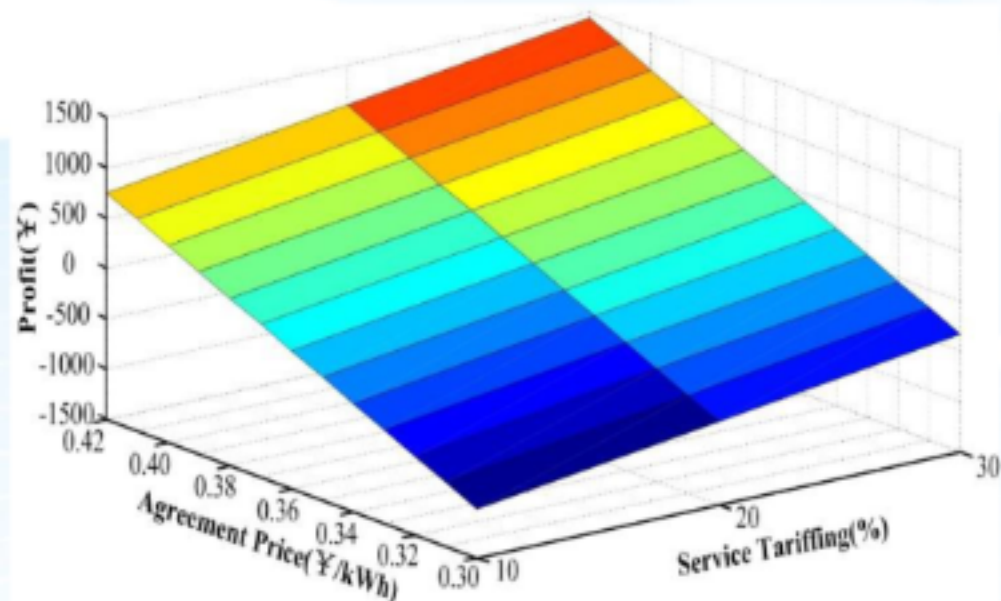


考虑多种代理模式的电动汽车聚合商日前竞价策略:

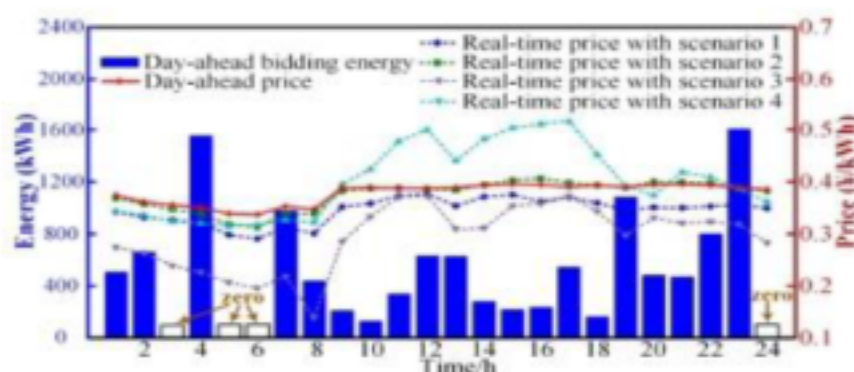
该项工作结合电力市场和电动汽车充电的不确定性, 建立了一种**适用于多种代理模式的电动汽车聚合商日前竞价优化模型**, 以电动汽车**聚合商期望利润最大**为目标的日前电能量竞价策略。



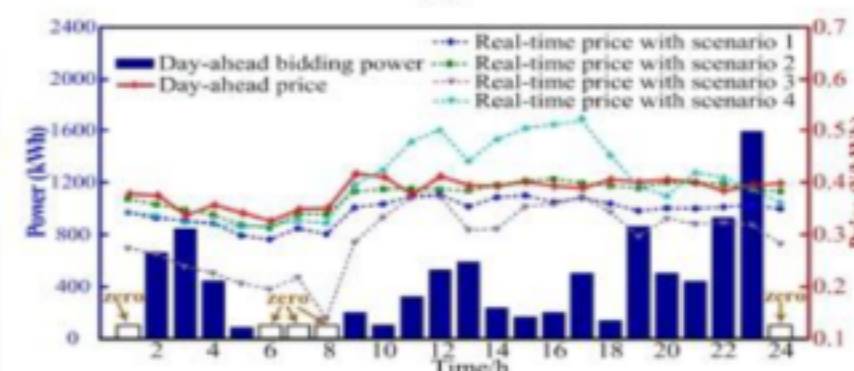
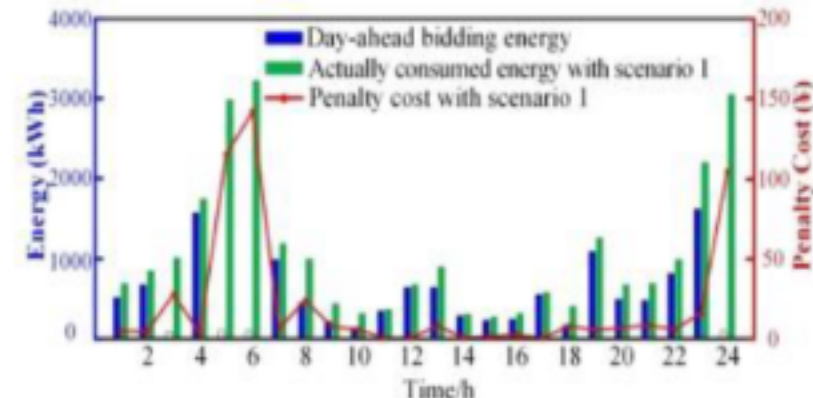
Legend: Bid Validation (red double arrow), Bid (green arrow), Sell or buy electricity (blue arrow)



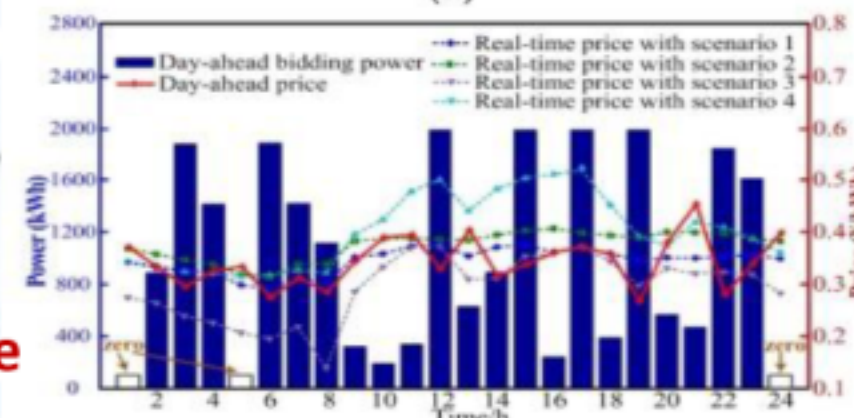
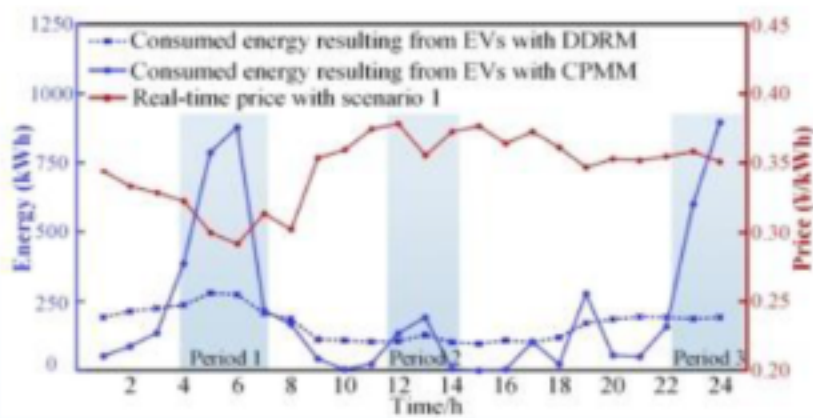
Market participation for electric vehicle aggregators in electricity markets



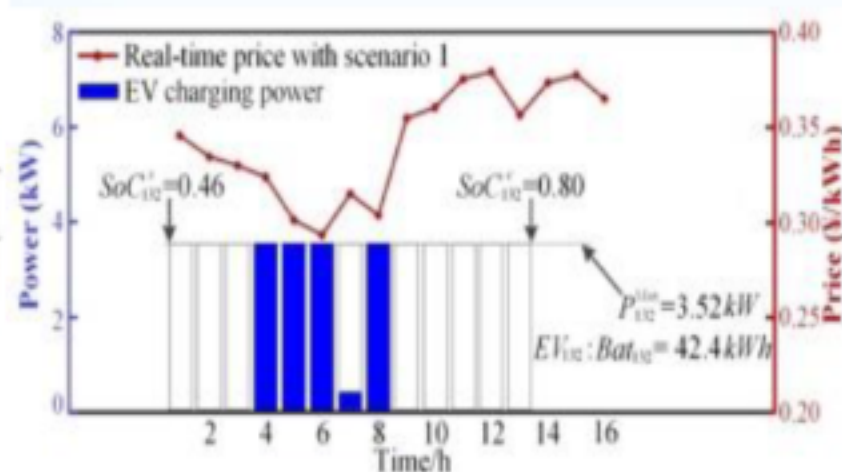
(a)



(b)



(c)

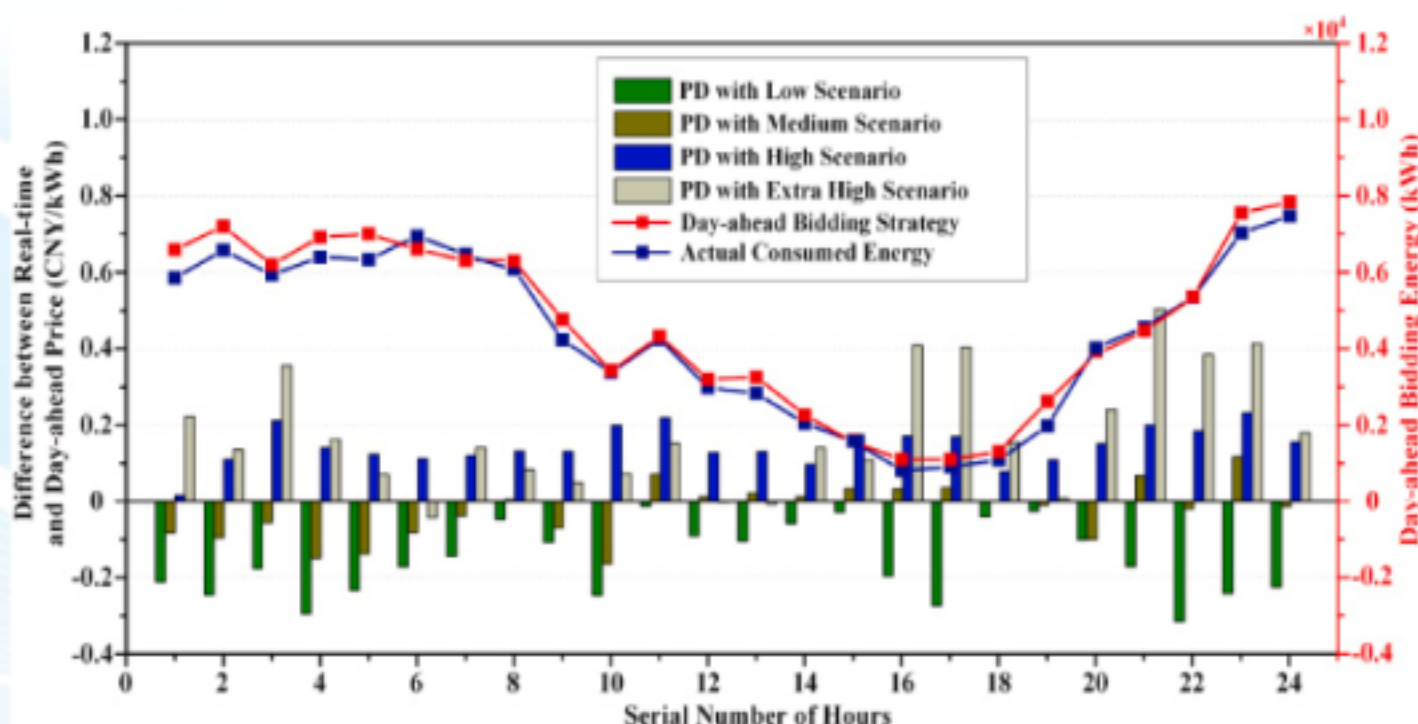
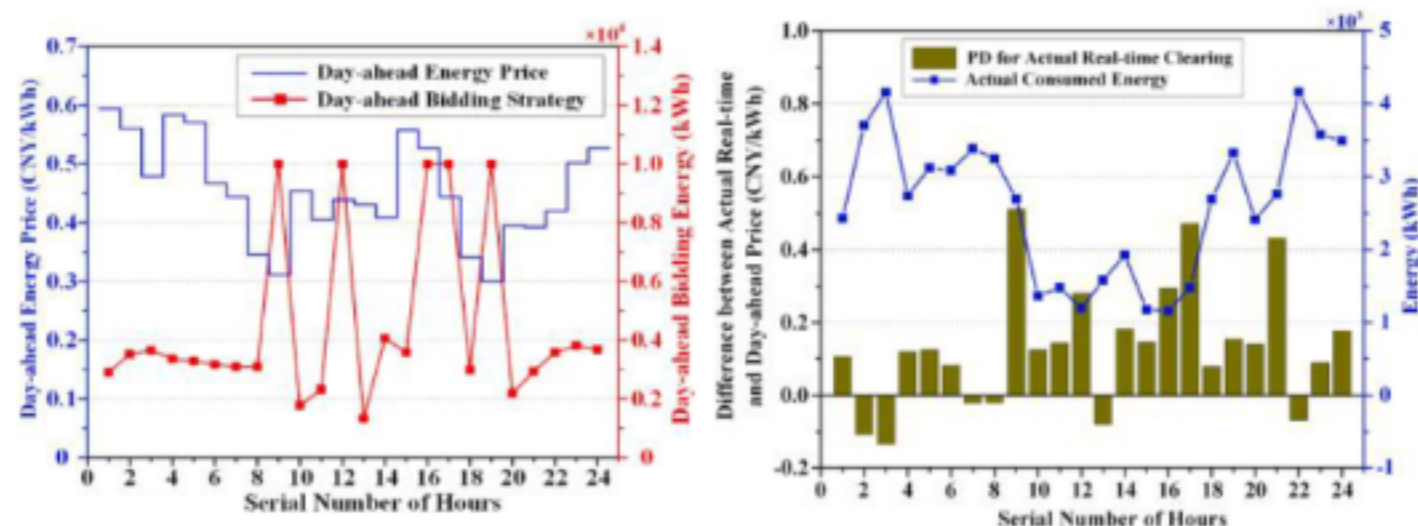
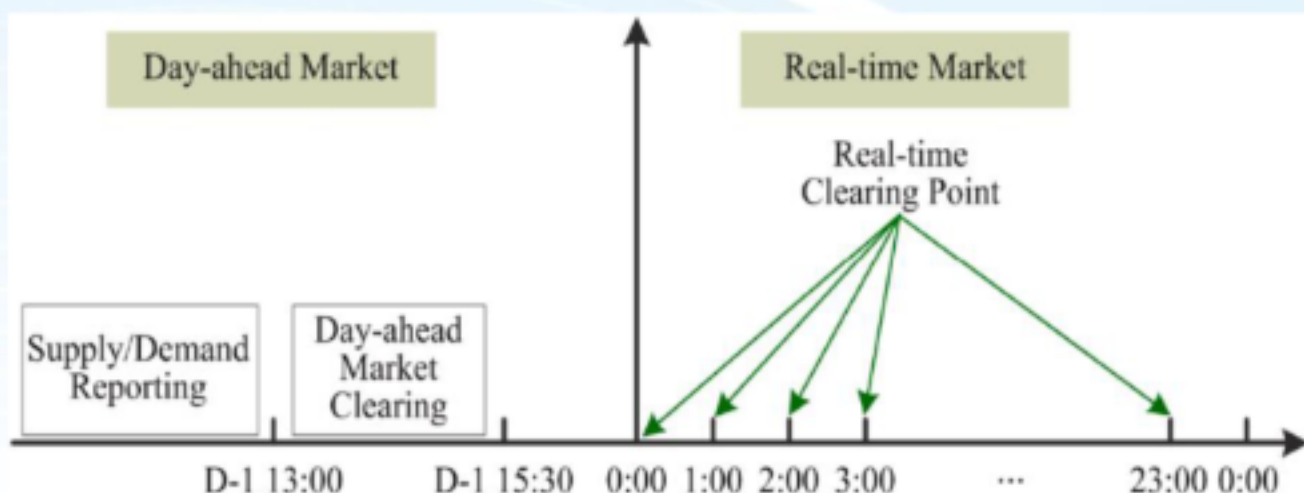
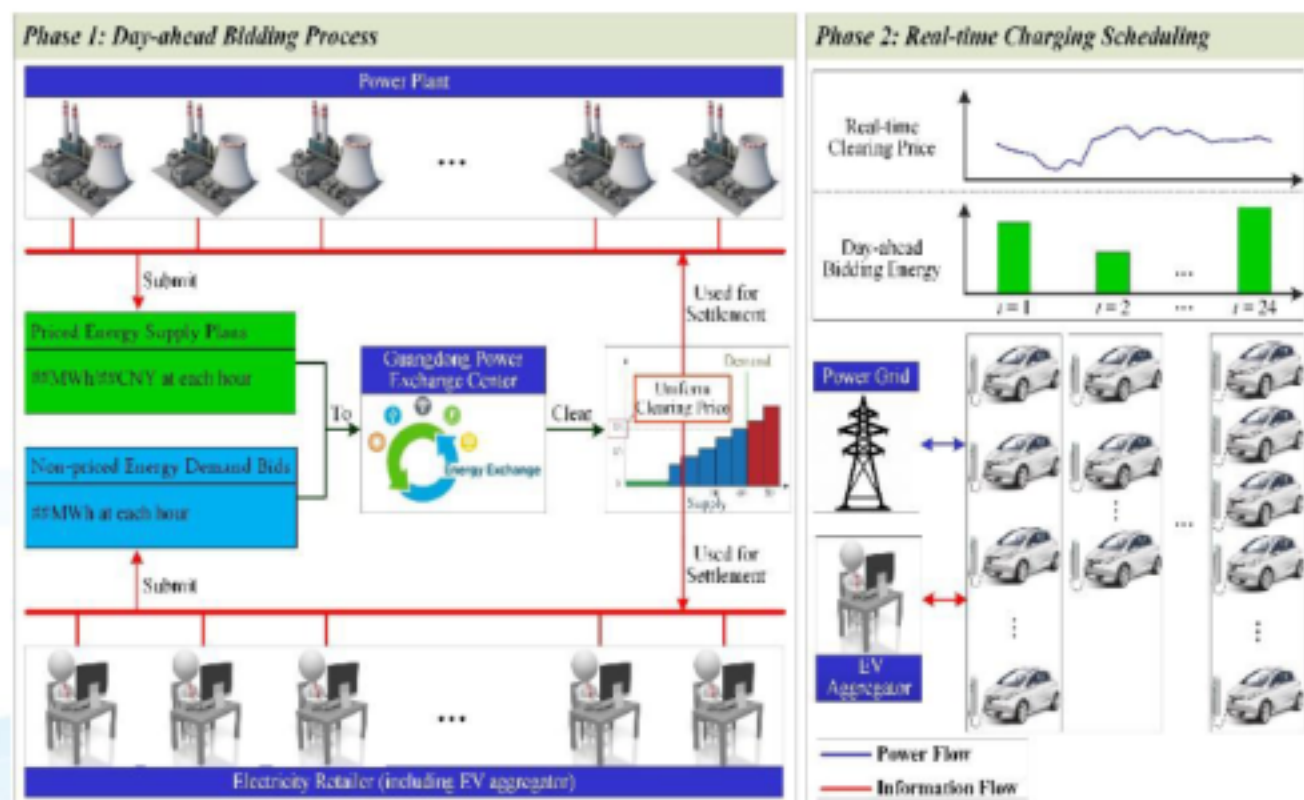


10: 电动汽车聚合商参与电力市场策略分析



电力市场环境下两阶段电动汽车有序充电策略:

- 该项研究验证了电力市场环境下对电动汽车进行有序充电的可操作性。
- 根据电力市场框架, 该工作从日前竞价和实时调度两个阶段对电动汽车负荷进行了规划。

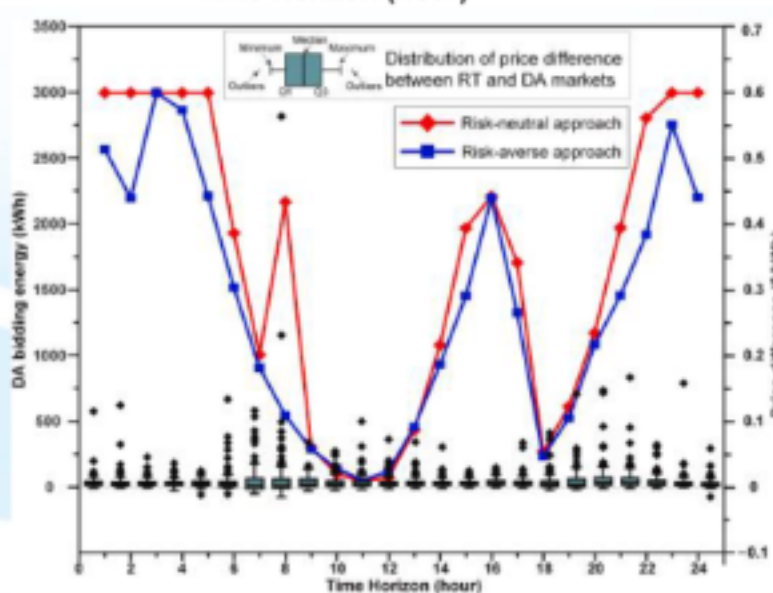
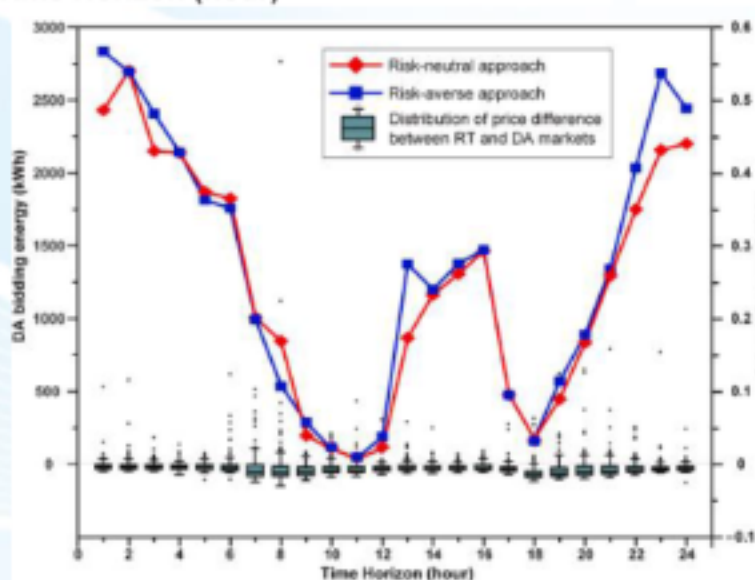
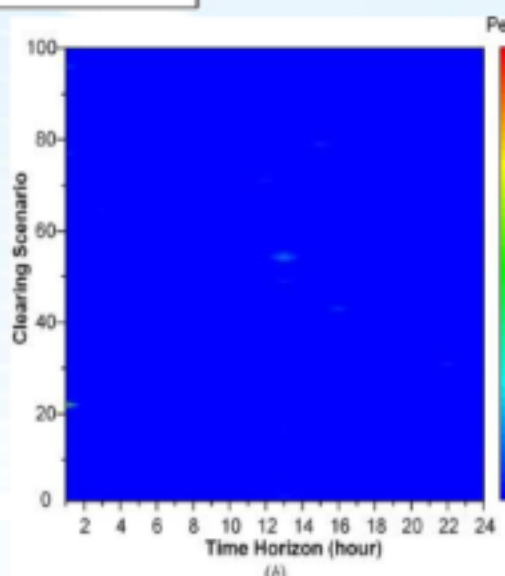
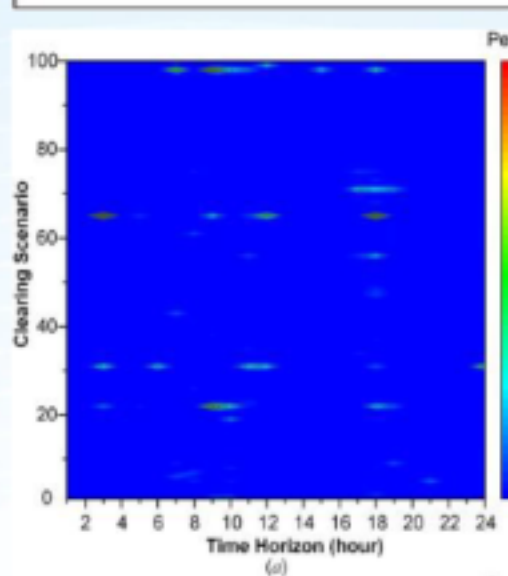
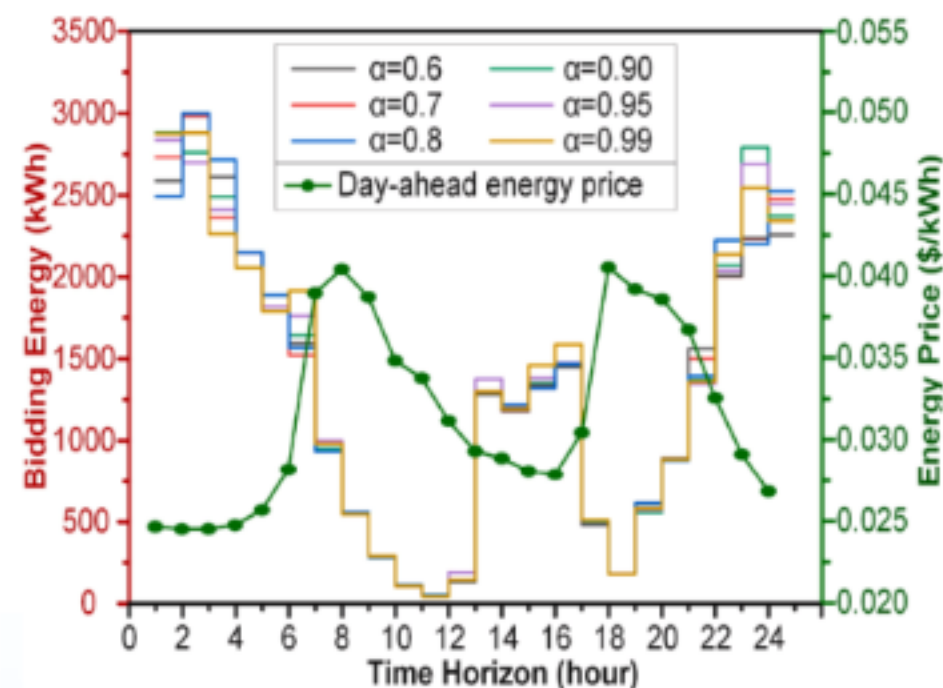
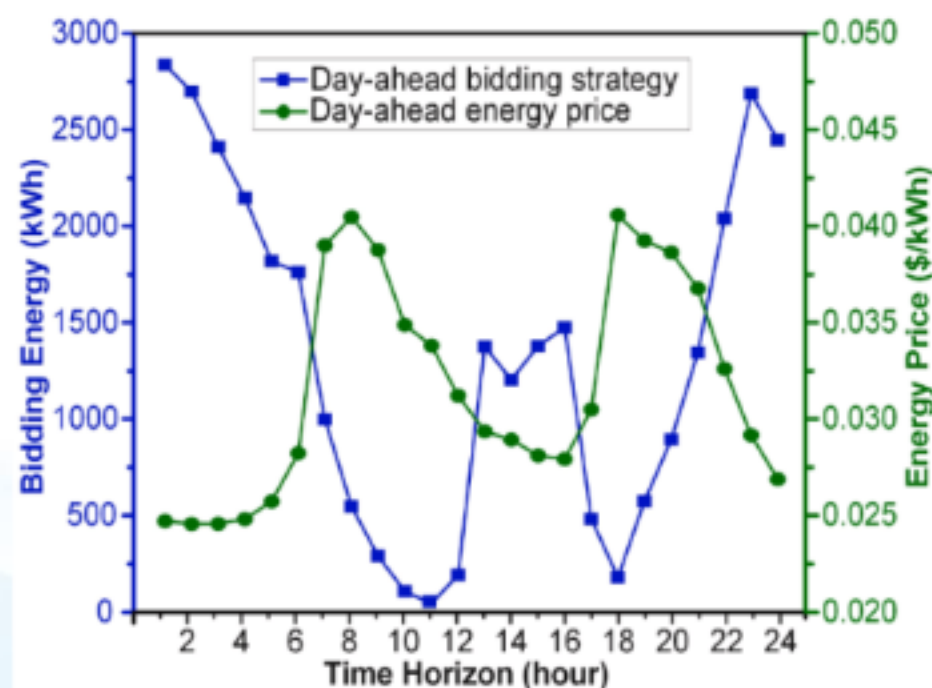
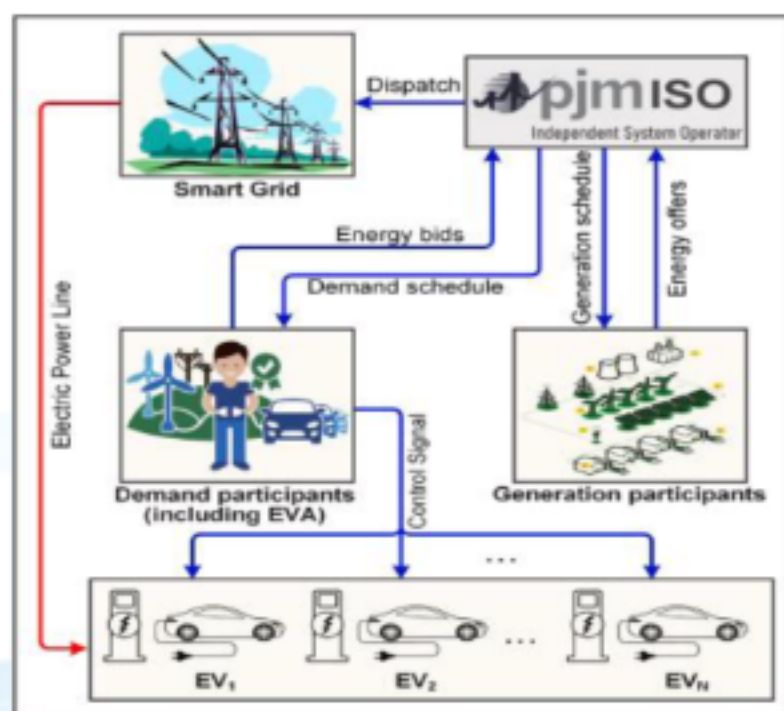


10: 电动汽车聚合商参与电力市场策略分析



基于风险规避型的电动汽车聚合商日前竞价策略:

该工作引入了条件风险值, 以条件风险值为目标进行优化, 构建了风险规避型的电动汽车日前聚合商**日前竞价模型**, 并于风险中性型的策略进行了比较。

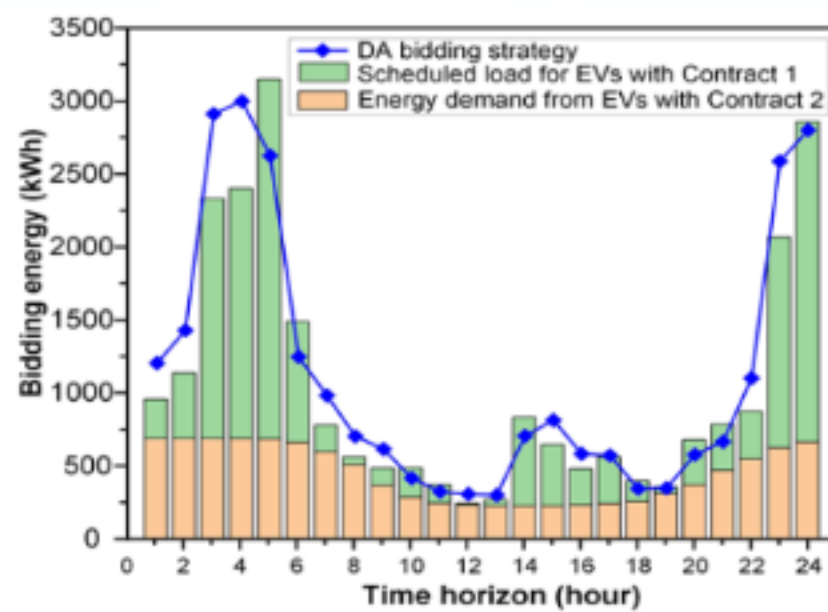
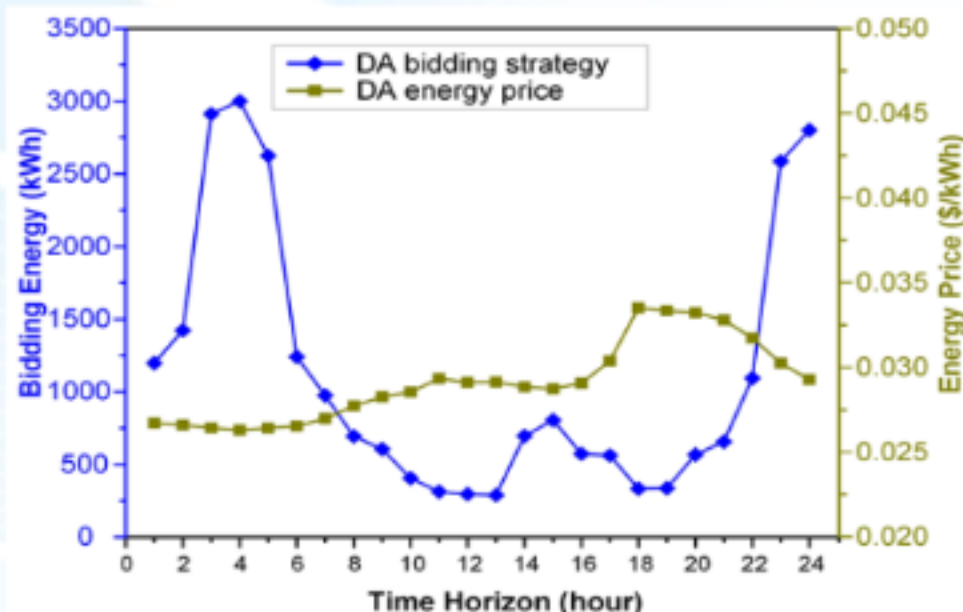
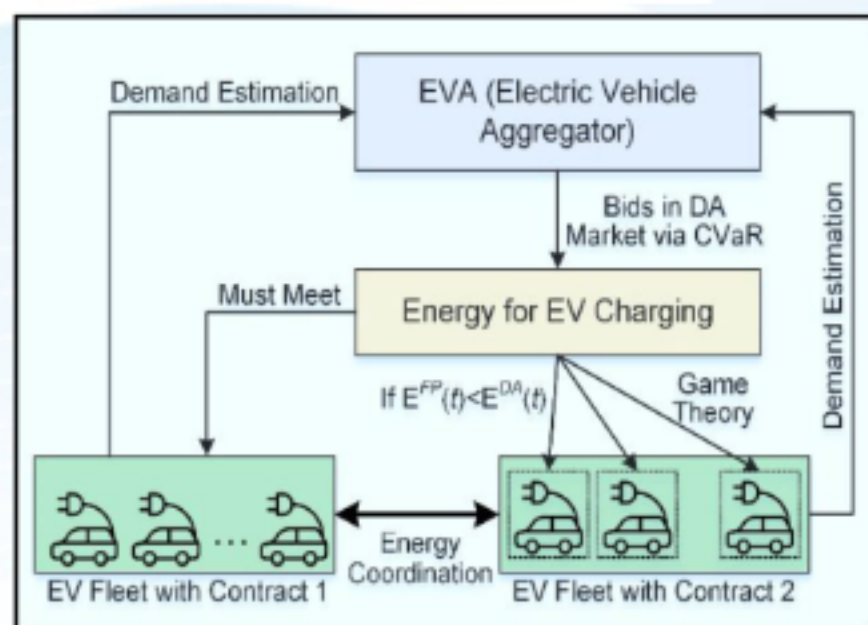
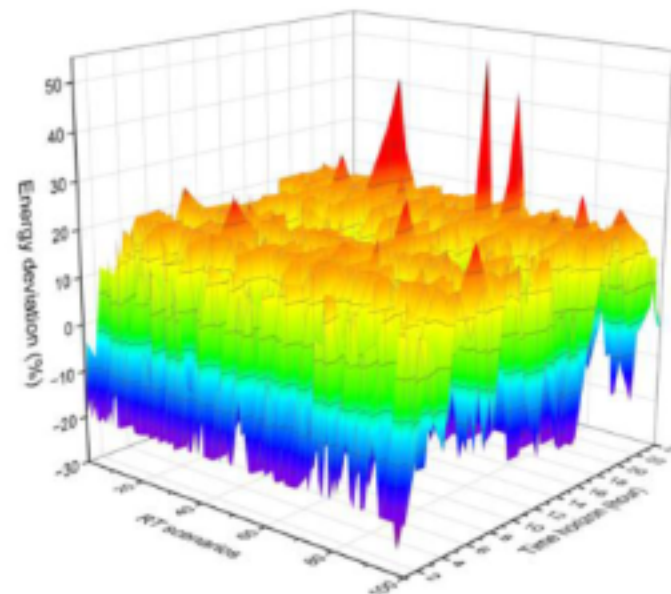
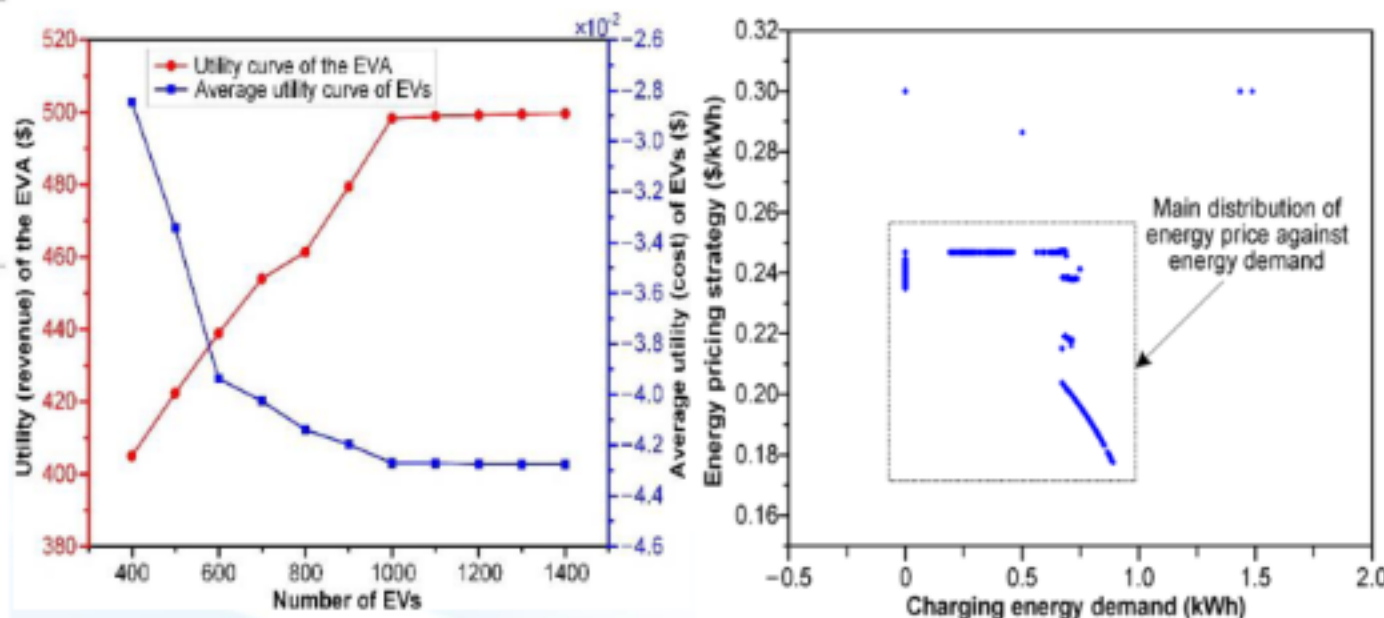
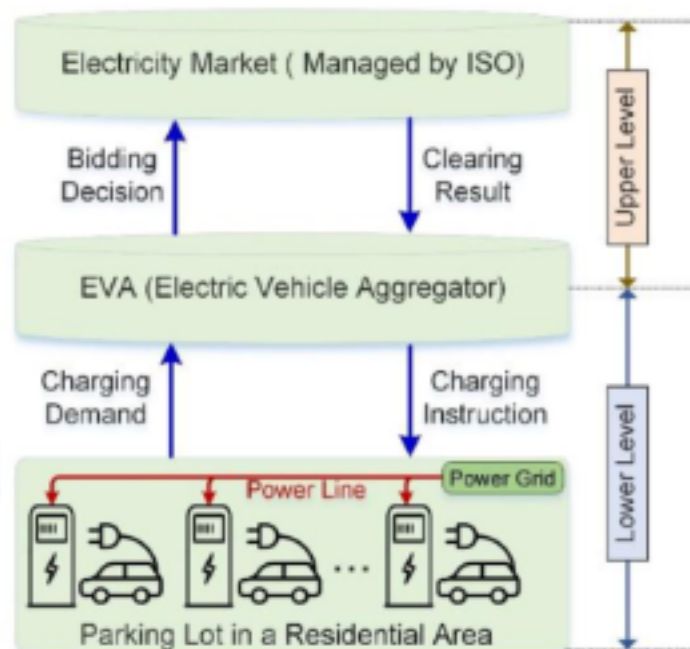


10: 电动汽车聚合商参与电力市场策略分析



基于一主多从的Stackelberg的电动汽车聚合商市场参与策略:

该项研究考虑在获取电动汽车充电灵活性的基础上, 采取一主多从的Stackelberg模型对电动汽车聚合商和电动汽车之间的交互关系进行研究, 设计电动汽车聚合商的**日前竞价及定价模型**。

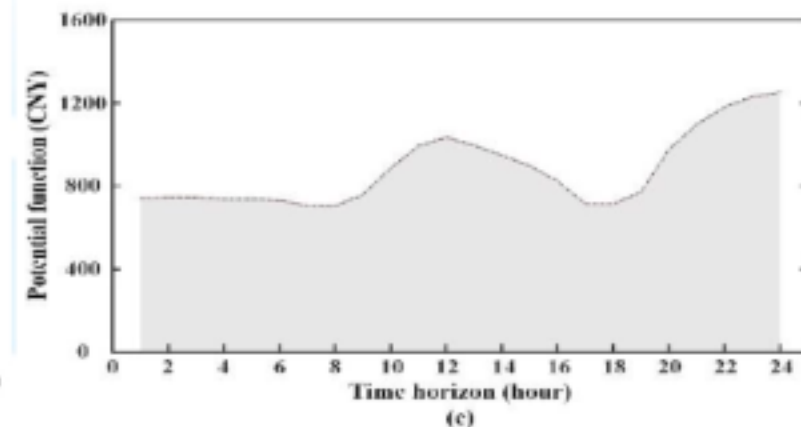
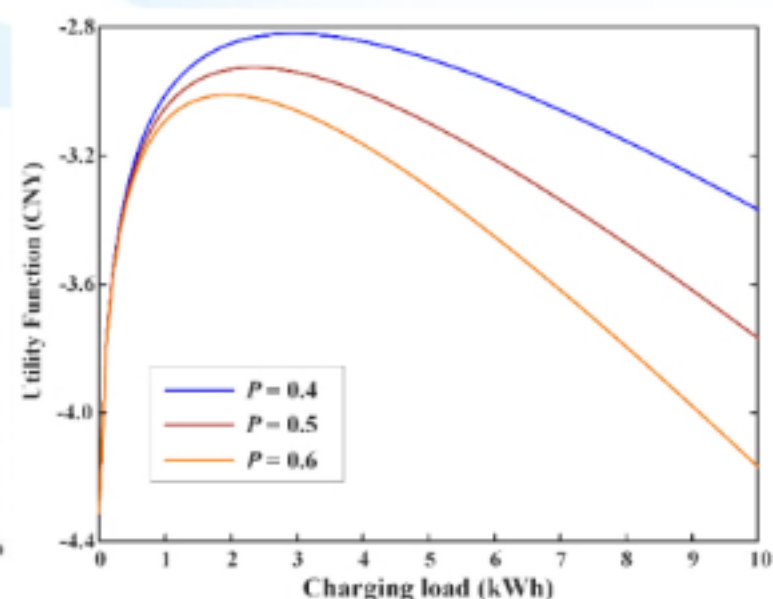
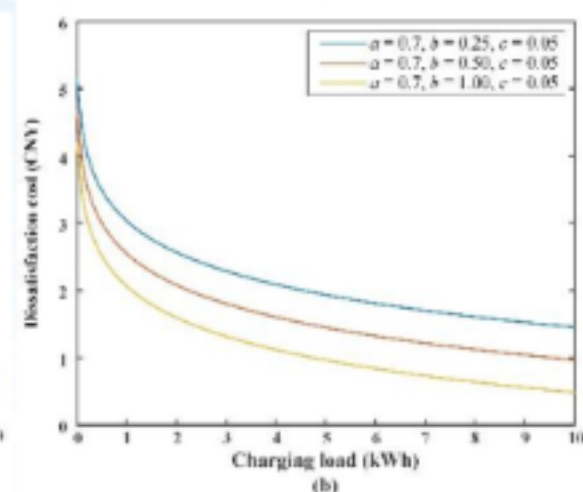
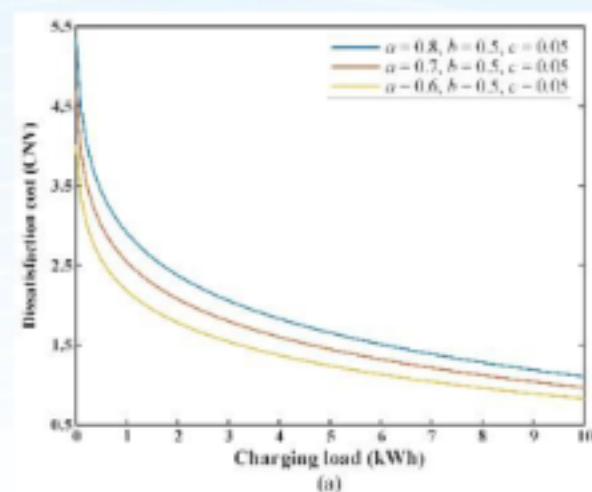
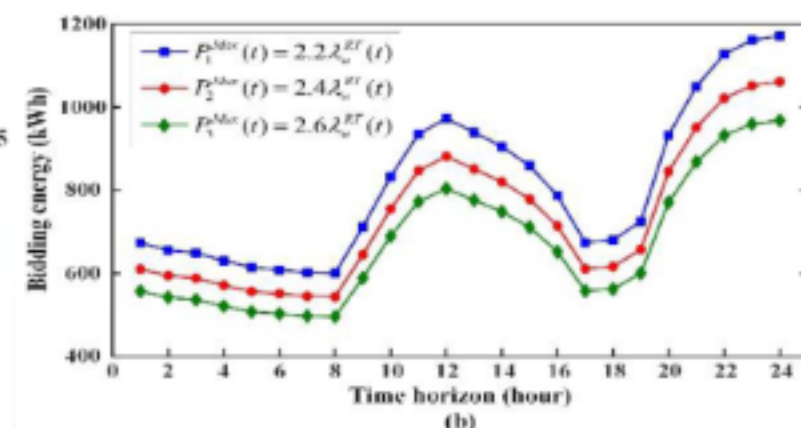
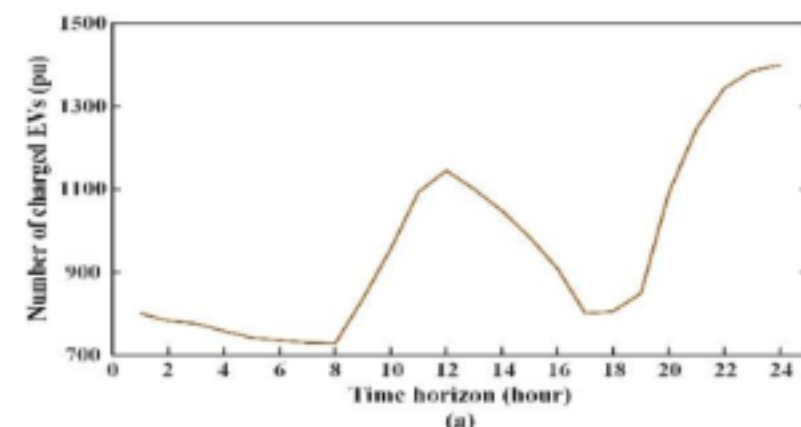
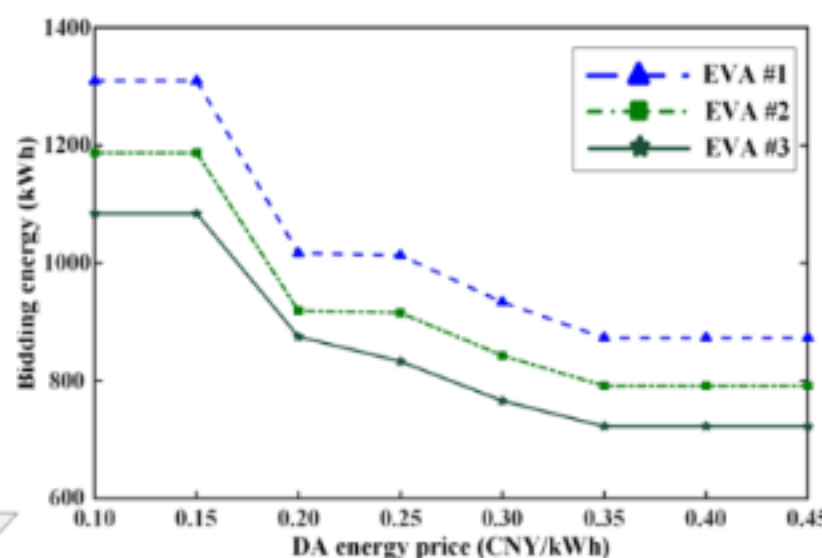
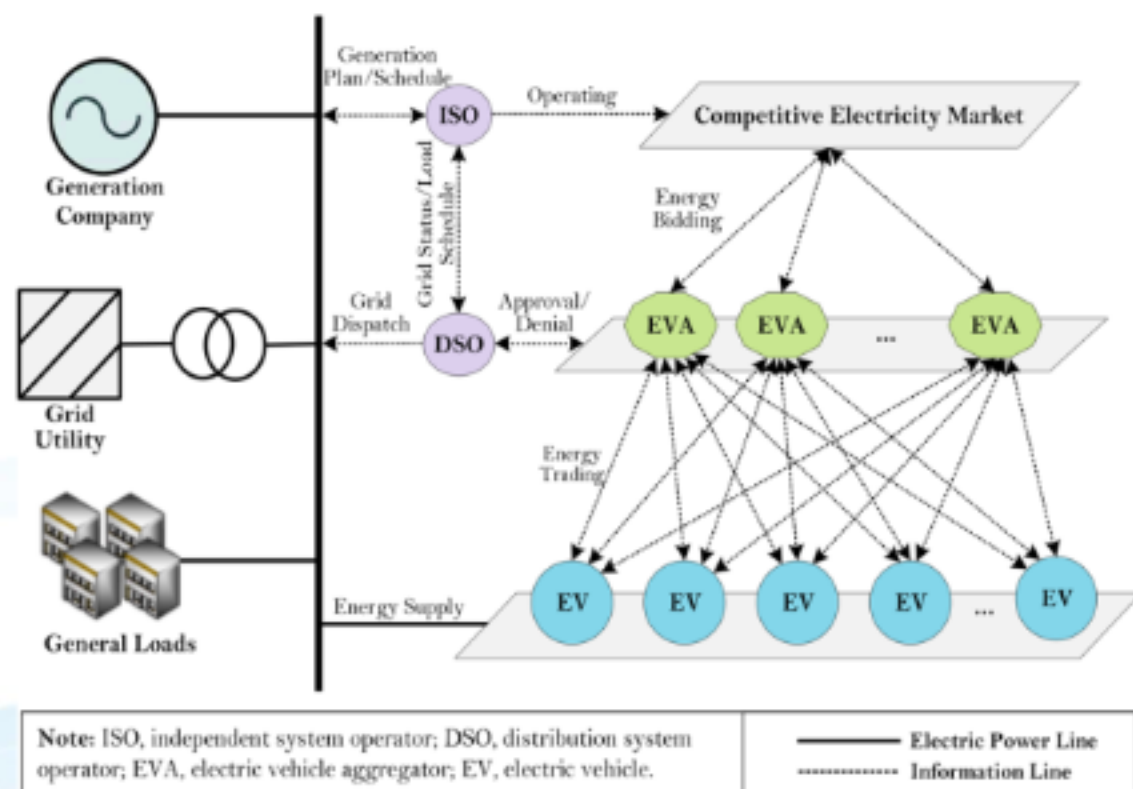


10: 电动汽车聚合商参与电力市场策略分析



基于多主多从的Stackelberg的电动汽车聚合商市场参与策略:

该项研究考虑了**电动汽车用户**与**电动汽车聚合商**之间的主从博弈，构建了电动汽车用户对电动汽车聚合商定价机制的**响应函数**，得到了**电动汽车聚合商之间市场运作的纳什均衡**。



□ 综述:

- Y. Zheng, Yubin Wang, Qiang Yang, Two-phase operation for coordinated charging of electric vehicles in a market environment: From electric vehicle aggregators' perspective," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023, 171: 113006.
- Y. Zheng, Y. Wang, Q. Yang, Market mechanism enabling electric vehicle grid integration: A critical review on operational frameworks, service provisions and optimization techniques, *Sustainable Cities and Society*, March 2025.

□ 规划:

- Y. Chen, S. Hu, Y. Zheng, S. Xie, Q. Hu, and Q. Yang, "Coordinated Expansion Planning of Coupled Power and Transportation Networks Considering Dynamic Network Equilibrium," *Applied Energy*, vol. 360, 2024.
- S. Sun, Q. Yang, J. Ma, A Junyent-Ferre, W. Yan, Hierarchical planning of PEV charging facilities and DGs considering transport-power network couplings, *Renewable Energy*, SI, vol. 150, pp. 356-369, May 2020.
- Q. Yang, S. Sun, S. Deng, M. Zhou, Optimal sizing of PEV fast charging stations with Markovian demand characterization, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 4, pp. 4457-4466, July 2019.
- S. Sun, Q. Yang, W. Yan, A novel Markov-based temporal-SoC analysis for characterizing PEV charging demand, *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 14, no. 1, 156-166, January 2018.

□ 控制:

- Y. Chen, Y. Zheng, S. Hu, S. Xie, Q. Hu, and Q. Yang, Risk-averse Energy Dispatch for Hybrid Energy Refueling Stations Considering Boundedly Rational Mixed User Equilibrium and Operational Uncertainties," *Applied Energy*, vol. 376, 2024.
- Y. Chen, S. Hu, S. Xie, Y. Zheng, Q. Hu and Q. Yang, "Optimal Dynamic Pricing of Fast Charging Stations Considering Bounded Rationality of Users and Market Regulation," *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 15, no. 4, pp. 3950-3965, July 2024.
- Y. Chen, Y. Zheng, S. Hu, S. Xie, and Q. Yang, "Optimal Operation of Fast Charging Station Aggregator in Uncertain Electricity Markets Considering On-site Renewable Energy and Bounded EV User Rationality", *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2024.

□ 控制:

- X. Fang, Y. Wang, W. Dong, Q. Yang, Optimal Energy Management of Multiple Electricity-Hydrogen Integrated Charging Stations, *Energy*, 262(1), 2023.
- Y. Chen, S. Hu, Y. Zheng, S. Xie, Q. Yang, Y. Wang and Q. Hu, Coordinated Optimization of Logistics Scheduling and Electricity Dispatch for Electric Logistics Vehicles Considering Uncertain Electricity Prices and Renewable Generation, *Applied Energy*, vol. 364, 2024.
- T. Wu, Q. Yang, Z. Bao, W. Yan, Coordinated energy dispatching in microgrid with wind power generation and plug-in electric vehicles, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 4, no. 3, pp. 1453-1463, June 2013.
- T. Wu, X. Ji, G. Wang, Y. Liu, Q. Yang, Z. Bao, J. Peng, Hydrogen Energy Storage System for Demand Forecast Error Mitigation and Voltage Stabilization in a Fast-Charging Station, *IEEE Trans. Industry Applications*, June 2021.
- X. Fang, W. Dong, Y. Wang, Q. Yang, Multiple Time-scale Energy Management Strategy for a Hydrogen-based Multi-energy Microgrid, *Applied Energy*, 328(15), 2022.

□ 交易:

- Y. Zheng, Y. Wang, Q. Yang, "Bidding strategy design for electric vehicle aggregators in the day-ahead electricity market considering price volatility: A risk-averse approach," *Energy*, 2023, 283: 129138.
- Y. Zheng, Y. Wang, Q. Yang, "Market mechanism enabling electric vehicle grid integration: A critical review on operational frameworks, service provisions and optimization techniques," *Sustainable Cities and Society*, 2025, 125: 106347.
- Y. Zheng, Y. Chen, Q. Yang, "A Stackelberg-based competition model for optimal participation of electric vehicle load aggregators in demand response programs," *Energy*, 2025, 315: 134414.



特别鸣谢团队郑言冲博士、陈源奕博士 以及科研合作伙伴

英文专著（Springer Press）预计2026年出版、敬请期待！

《Integration of Massive Vehicles to Smart Grid: Advances, Applications and Perspectives》



杨强 教授、博士生导师

浙江大学电气工程学院

<https://person.zju.edu.cn/qyang>