

基于分布式资源协同控制的微电网竞价策略研究及应用

文/谢芝东¹ 陈璐² 汪晓彤² 杨文涛² 程琦¹

1. 安徽立卓智能电网科技有限公司; 2. 国网合肥供电公司

电网企业单纯依靠传统的输配电价盈利模式面临很大的压力，迫切需要寻找其他的商业模式满足企业的长久和持续发展需要。为此，国网合肥供电公司积极开展了多元化业务的探索，统筹变电站、储能站、数据中心站及电动汽车充换电站等方面的优势资源，促进能源供给、配送及服务等多方融合，实现社会、用户及电网等多方共赢，并在始信路充换电站展开多站融合示范站建设。

安徽省现如今已经出台电力辅助服务市场相关规定，下一步将重点建设电力现货市场并将第三方主体纳入电力市场。目前，始信路微电网已初步建设完成，与此同时始信路微电网参与电力市场的盈利模式探索已成为一项重要工作。针对微电网及聚合资源的现货市场竞争策略做分析研究，为始信路微电网后期参与电力现货市场交易竞报价和运行方式的制定提供参考。

微电网竞价框架

1. 现货交易市场模式

微电网是通过通信技术将分布式发电、负荷、储能及控制系统连接而成的一个独立的发电系统。它具备完整的发、输及配电功能，可以实现局部功率平衡和能量优化，又可以作为配电网中的一个“虚拟”的电压或负荷。微电网作为整体协调调度内部资源参与市场运行，利用各种分布式能源类型的不同及时空互补性，可有效削弱各种单一类型可再生能源出力的间歇性，提升微电网参与电力市场交易的稳定性和竞争力。

当前电力体制改革可选的现货市场模式主要包括以中长期物理合约为主的分散式市场和以电力

库竞价交易为主的集中式市场，如图1所示。集中式市场是指买卖双方的报价与交易均需要通过电力交易库进行，交易平台根据发用双方的报价情况，采用全电量集中优化出清并统一安排调度计划。分散式市场允许发电商与用户自主签订双边合约，独立决定电力的成交数量及价格。按照交易时序不同，现货市场通常包括日前市场、日内市场和实时市场的部分或全部。日前市场是电力交易的主要平台，一般根据发用电双方提交的报价集中出清形成日前交易计划，为下一个运行日的系统运行提供一个参考基点；日内市场则是在日前市场关闭后，为市场成员提供一个调整日前交易计划的平台，其交易规模一般较小；实时市场是最接近系统实时运行的市场，其主要作用不在于开展电力交易，而更关注系统的实时平衡和系统安全运行。

2. 微电网竞价框架

在本文中，微电网内分布式能源考虑了可再生能源机组、可控机组、需求侧资源与储能系统，微电网竞价框架如图2所示，能量流向如箭头所示。微电网可以协调和调度内部资源以参与电力市场，可以将其剩余电力出售给电网，并从电网购买电力以满足负荷需求，从而实现经济优化。微电网同时

参与日前市场和平衡市场，由于微电网所聚合的容量相较于电力市场上的其他主体较小，因此作为价格接受者处理，不具备影响电力市场出清电价的能力。

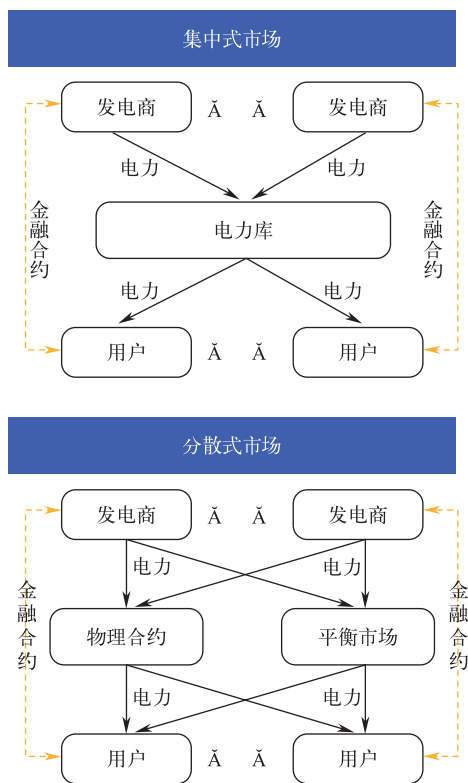


图1 集中式市场与分散式市场

微电网主要通过两种方式参与电力市场交易的竞价过程。一是根据电价和可再生能源的日前预测，确定日前市场中的投标策略和内部分布式资源的运行方式；二是在实时运行时，考虑微电网的实际输出与投标计划之间存在偏差，需通过平衡市场清算其任何赤字或多余的投标。如果实际输出多于投标量，则以比日前市场出清电价更低的价格来结算超出部分；如果其投标量多于实际输出，则以比日前市场出清电价更高的价格来结算不足部分。显然，微电网应该通过综合手段来降低预测偏差给竞价策略带来的经济风险。

微电网内部成员聚合竞价

1. 信息间隙决策理论

采用常规方法（如概率方法、模糊规划方法等）处理不确定变量的随机性时，需要获取该不确定变量的大量历史数据，并对该不确定变量的预测值和实际值之间的误差概率分布进行建模，从而根据误差概率模型确定变量的误差随机分布。

而信息间隙决策理论是一种处理不确定性的非概率方法，与其他概率决策理论之间的一个关键性差异在于，此方法通过建模实际数据和预测数据之间的间隔误差，而不是通过概率来获得高效、高优先级和风险规避的解决方案。信息间隙决策理论常

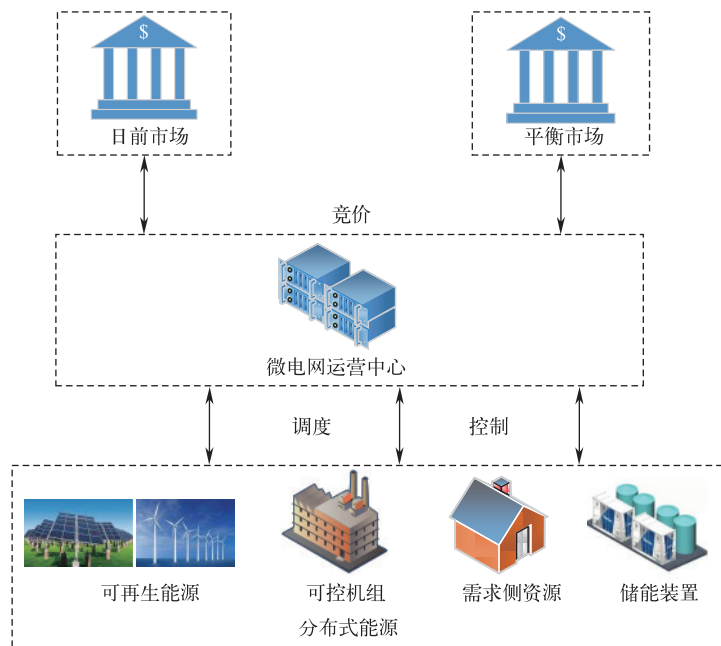


图2 微电网竞价框架图

用来解决难以准确描述的不确定场景,采用信息间隙决策模型可以在数据的概率分布以及波动范围均未知的情况下量化数据的不确定性。其基本思想是在保证所设目标值处于基准目标值上下波动的可接受范围内的同时,尽可能地使不确定变量的波动区间最大化,以获取满足条件的目标值的更大可能性。信息间隙决策模型主要包括系统模型、不确定性模型及性能要求三个部分。

1) 信息决策理论系统模型是根据具体需求所描述的不确定性问题及所求解的决策变量而建立的数学模型,一般用 $B(P, v)$ 表示。其中 $P = \{P_t^{DA}, P_t^m, P_t^{curt}, P_t^{dis}, P_t^{ch}\}$ 为决策变量,是微电网日前运行计划; v 和 $\tilde{v}$ 分别为不确定变量的实际值与预测值,系统模型表示微电网在日前市场和平衡市场的联合竞价所获利益。

2) 不确定性模型是对不确定量的数学表述,用来描述实际数据 v 和预测数据 $\tilde{v}$ 之间的间隙,其中 $v_t = \{\rho_t^{DA}, P_t^{wind}\}$ 说明不确定因素考虑了日前市场电价与风电出力,即

$$\omega(\alpha, \tilde{v}) = \left\{ v : \frac{|v - \tilde{v}|}{\tilde{v}} \leq \alpha \right\} \quad \alpha \geq 0 \quad (1)$$

式中, α 为不确定量的波动范围。

3) 根据不同的风险管理策略,可在信息间隙决策模型中根据实际情况所需的性能要求选择其对应的决策策略,常见的有鲁棒模型决策策略和机会模型决策策略。

鲁棒模型决策策略属于风险规避型的决策策略,其基本原则是尽可能地规避不确定变量对整个系统模型优化结果的影响。当采用风险规避型策略时,决策者需预先设定好一个低于基准目标值的目标函数阈值,在保证优化结果不低于目标函数阈值的情况下最大化不确定变量的波动范围,其优化目标为最大化不确定变量的偏差系数,即

$$\hat{\alpha}(P, B_R) = \max_P \left\{ \alpha : \min_{v \in \omega(\alpha, \tilde{v})} B(P, v) \geq B_R \right\} \quad (2)$$

式中, B_R 为目标函数阈值。

机会模型决策策略属于风险偏好型的决策策略,基本原则是在不确定性的风险中尽可能地寻找有望获取的最大收益。当采用风险偏好型策略时,决策者可预先设定好一个高于基准目标值的目标函数阈值,在保证优化结果不低于目标函数阈值的基

础上最小化不确定变量的波动范围,其优化目标为最小化不确定变量的偏差系数,即

$$\hat{\beta}(P, B_0) = \min_P \left\{ \beta : \max_{v \in \omega(\alpha, \tilde{v})} B(P, v) \geq B_0 \right\} \quad (3)$$

式中, B_0 为目标函数阈值。

2. 确定型微电网竞价模型

首先,假设不考虑不确定性,建立确定型模型。

(1) 目标函数

微电网竞价目标为使微电网运营商在电力市场中收益最大,即

$$B_0 = \max \sum_{t=1}^T \left[P_t^{DA} \rho_t^{DA} + P_t^+ \rho_t^+ - P_t^- \rho_t^- \right] - \sum_{t=1}^T \sum_{g=1}^{N_g} \left[k_1 P_{1,t,g}^m + k_2 P_{2,t,g}^m + k_3 P_{3,t,g}^m \right] + \sum_{t=1}^T \left[P_t^{LOAD} \rho_t^{LOAD} - a (P_t^{curt})^2 - b P_t^{curt} \right] \quad (4)$$

式中,第一项表示微电网在日前市场与平衡市场中的收益; P_t^{DA} 、 ρ_t^{DA} 分别代表日前市场中的投标容量与电价; P_t^+ 、 P_t^- 、 ρ_t^+ 、 ρ_t^- 分别代表平衡市场中的正(负)投标容量和电价;第二项表示用分段线性化表示的燃气轮机的发电成本; N_g 表示燃气轮机的数量;第三项表示微电网的需求侧响应收益; P_t^{LOAD} 、 ρ_t^{LOAD} 分别代表响应需求的负荷功率与电价; P_t^{curt} 代表参与需求响应的可中断负荷功率; a 和 b 为需求响应补偿系数,微电网对参与需求响应的负荷给予补偿。

(2) 约束条件

微电网内部需保证功率平衡,即

$$P_t^{DA} + P_t^+ - P_t^- + P_t^{LOAD} = \sum_{g=1}^{N_g} P_{t,g}^m + P_t^{curt} + P_t^{wind} + P_t^{dis} - P_t^{ch}, \forall t \quad (5)$$

式中, P_t^{wind} 和 P_t^{dis} 、 P_t^{ch} 分别代表风电出力与储能出力。

燃气轮机约束条件为

$$0 \leq P_{t,g}^m \leq P_{t,g}^{m,max}, \forall t, \forall g \quad (6)$$

$$0 \leq P_{r,t,g}^m \leq P_{r,t,g}^{m,max}, r=1,2,3, \forall t, \forall g \quad (7)$$

$$P_{t,g}^m = P_{1,t,g}^m + P_{2,t,g}^m + P_{3,t,g}^m, \forall t, \forall g \quad (8)$$

$$-R_g^D \leq P_{t+1,g}^m - P_{t,g}^m \leq R_g^U, \forall t \leq T-1, \forall g \quad (9)$$

式中, $P_{t,g}^m$ 和 $P_{t,g}^{m,max}$ 分别为燃气轮机的实际出力与其

最大出力； $P_{r,g}^{m,\max}$ 为燃气轮机第 r 端的最大出力；式(9)中表示燃气轮机调节速率约束。

储能约束条件为

$$\text{SOC}_{\min} \leq \text{SOC}_t \leq \text{SOC}_{\max}, \forall t \quad (10)$$

$$\text{SOC}_{t+1} = \text{SOC}_t + \eta^{\text{ch}} P_t^{\text{ch}} \Delta t - \frac{P_t^{\text{dis}} \Delta t}{\eta^{\text{dis}}}, \forall t \leq T-1 \quad (11)$$

$$0 \leq P_t^{\text{ch}} \leq P^{\text{ch},\max}, 0 \leq P_t^{\text{dis}} \leq P^{\text{dis},\max} \quad (12)$$

式中， $\text{SOC}_{\min}$ 、 $\text{SOC}_{\max}$ 分别代表储能荷电状态的最小值和最大值； η^{ch} 、 η^{dis} 为储能系统的充放电效率； $P^{\text{ch},\max}$ 、 $P^{\text{dis},\max}$ 为储能系统的最大充电功率和最大放电功率。

需求响应约束条件为

$$0 \leq P_t^{\text{curt}} \leq \nu P_t^{\text{LOAD}} \quad (13)$$

式中， ν 代表负荷参加可中断负荷项目的最大比例。

在电力市场中，不同类型价格之间存在一定的基本关系， $\rho_t^+ < \rho_t^{\text{DA}}$ ，而 $\rho_t^- > \rho_t^{\text{DA}}$ 。由于微电网运营商有权管理需求侧资源，它向负荷提供比日前市场与平衡市场更低的电价作为回报。因此可以得出微电网中不同类型资源的价格关系，即

$$\rho_t^{\text{LOAD}} < \rho_t^+ < \rho_t^{\text{DA}} < \rho_t^- \quad (14)$$

3. 基于信息间隙决策理论的竞价模型

信息间隙决策理论用于应对电力市场中的经济风险，决策者的目标是在满足关键利润的同时不确定性因素的范围最大化。本文考虑两个不确定的参数，包括日前市场的出清电价和风电出力。根据预测的电价与风力，微电网运营商确定日前的投标量与分布式能源的运行计划，之后应在平衡市场中消除预测风电出力与实际风电出力的差异，同时通过信息间隙决策理论考虑其经济风险。需要在平衡市场中平复风电出力波动，因此存在缺电和余电两种情况。

(1) 缺电

这种情况发生在风电的发电功率预测值大于实际值的情况下，微电网运营商需要在平衡市场中购买电量，即

$$(1-\alpha) \tilde{P}_t^{\text{wind}} \leq P_t^{\text{wind}} \leq \tilde{P}_t^{\text{wind}} \quad (15)$$

$$P_t^- = \tilde{P}_t^{\text{wind}} - P_t^{\text{wind}} \quad (16)$$

因此，微电网运营商的收益为

$$B_t = \max P_t^{\text{DA}} \rho_t^{\text{DA}} - (\tilde{P}_t^{\text{wind}} - P_t^{\text{wind}}) \rho_t^- + \sum_{g=1}^{N_g} [k_1 P_{1,t,g}^m + k_2 P_{2,t,g}^m + k_3 P_{3,t,g}^m] + P_t^{\text{LOAD}} \rho_t^{\text{LOAD}} - a(P_t^{\text{curt}})^2 - b P_t^{\text{curt}} \quad (17)$$

(2) 余电

这种情况发生在风电发电功率预测值小于实际值的情况下，微电网运营商需要在平衡市场中出售电量，即

$$\tilde{P}_t^{\text{wind}} \leq P_t^{\text{wind}} \leq (1+\alpha) \tilde{P}_t^{\text{wind}} \quad (18)$$

$$P_t^+ = P_t^{\text{wind}} - \tilde{P}_t^{\text{wind}} \quad (19)$$

因此，微电网运营商的收益为

$$B_t = \max P_t^{\text{DA}} \rho_t^{\text{DA}} + (P_t^{\text{wind}} - \tilde{P}_t^{\text{wind}}) \rho_t^+ + \sum_{g=1}^{N_g} [k_1 P_{1,t,g}^m + k_2 P_{2,t,g}^m + k_3 P_{3,t,g}^m] + P_t^{\text{LOAD}} \rho_t^{\text{LOAD}} - a(P_t^{\text{curt}})^2 - b P_t^{\text{curt}} \quad (20)$$

基于信息间隙决策理论提出了鲁棒模型决策与机会模型决策两种不同的策略，通过对两种策略作对比分析，得出不同性能需求下策略的适应性。

(1) 鲁棒模型决策策略

在鲁棒模型决策策略中，目标是最大化不确定参数的范围，同时应保证最低指定利润，双层鲁棒优化模型可写为

$$\max_P \alpha \quad (21)$$

约束条件为

$$B = \min_v B(P, v) \geq B_R = B_0(1-\sigma) \quad (22)$$

$$(1-\alpha) \tilde{P}_t^{\text{wind}} \leq P_t^{\text{wind}} \leq (1+\alpha) \tilde{P}_t^{\text{wind}} \quad (23)$$

$$(1-\alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}} \leq \rho_t^{\text{DA}} \leq (1+\alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}} \forall t \quad (24)$$

式中， σ 为鲁棒因子。

(2) 机会模型决策策略

在机会模型决策策略中，目标是最小化不确定参数的范围，同时运营商追求更高的利润，双层机会决策模型可写为

$$\min_P \alpha \quad (25)$$

约束条件为

$$B = \max_v B(P, v) \geq B_0 = B_0(1+\sigma) \quad (26)$$

$$(1-\alpha) \tilde{P}_t^{\text{wind}} \leq P_t^{\text{wind}} \leq (1+\alpha) \tilde{P}_t^{\text{wind}} \quad (27)$$

$$(1-\alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}} \leq \rho_t^{\text{DA}} \leq (1+\alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}} \forall t \quad (28)$$

式中， σ 为机会因子。

4. 微电网竞价等价模型

对于双层优化问题，传统的求解器无法解决，因而需将双层问题转换为等效的单层优化问题。对

于鲁棒模型决策策略, 集合 P 为上层优化问题的决策变量, 因此在求解下层优化问题时可视作常数处理。因此, 式(22)转换为一个线性优化问题, 同时考虑式(14)与式(15)~式(20), 微电网利润最小时应出现在微电网处于缺电状态, 并且风电实际出力最小。当微电网从日前市场购买能源并且日前市场价格的实际价格高于预期时, 或微电网向日前市场出售能源且日前市场价格实际价格低于预期。

$$P_t^{\text{wind}} = (1 + \alpha) \tilde{P}_t^{\text{wind}} \quad \forall t \quad (29)$$

$$\rho_t^{\text{DA}} = \begin{cases} (1 - \alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}} & \text{if } P_t^{\text{DA}} \leq 0 \quad \forall t \\ (1 + \alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}} & \text{if } P_t^{\text{DA}} \geq 0 \quad \forall t \end{cases} \quad (30)$$

可改写为

$$\begin{cases} [\rho_t^{\text{DA}} - (1 + \alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}}] P_t^{\text{DA}} \leq 0 \quad \forall t \\ [\rho_t^{\text{DA}} - (1 - \alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}}] P_t^{\text{DA}} \leq 0 \quad \forall t \end{cases} \quad (31)$$

因此, 鲁棒模型决策策略可改写为

$$\max_P \alpha \quad (32)$$

约束条件为

$$B \geq B_R = B_0(1 - \sigma) \quad (33)$$

$$B_t = \max P_t^{\text{DA}} \rho_t^{\text{DA}} - (\tilde{P}_t^{\text{wind}} - P_t^{\text{wind}}) \rho_t^- + \sum_{g=1}^{N_g} [k_1 P_{1,t,g}^m + k_2 P_{2,t,g}^m + k_3 P_{3,t,g}^m] + P_t^{\text{LOAD}} \rho_t^{\text{LOAD}} - a(P_t^{\text{curt}})^2 - bP_t^{\text{curt}} \quad (34)$$

对于机会模型决策策略, 同样式25亦可转换为一个线性优化问题, 同时考虑式(14)与式(15)~式(20), 微电网利润最大时应出现在微电网处于余电状态, 且风电实际出力最大。当微电网从日前市场购买能源并且日前市场价格的实际价格低于预期时, 或微电网向日前市场出售能源且日前市场价格实际价格高于预期。即

$$P_t^{\text{wind}} = (1 - \alpha) \tilde{P}_t^{\text{wind}} \quad \forall t \quad (35)$$

$$\rho_t^{\text{DA}} = \begin{cases} (1 - \alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}} & \text{if } P_t^{\text{DA}} \leq 0 \quad \forall t \\ (1 + \alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}} & \text{if } P_t^{\text{DA}} \geq 0 \quad \forall t \end{cases} \quad (36)$$

可改写为

$$\begin{cases} [\rho_t^{\text{DA}} - (1 + \alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}}] P_t^{\text{DA}} \geq 0 \quad \forall t \\ [\rho_t^{\text{DA}} - (1 - \alpha) \tilde{\rho}_t^{\text{DA}}] P_t^{\text{DA}} \geq 0 \quad \forall t \end{cases} \quad (37)$$

因此双层模型, 即

$$\min_P \alpha \quad (38)$$

约束条件为

$$B \geq B_0 = B_0(1 + \sigma) \quad (39)$$

$$B_t = \max P_t^{\text{DA}} \rho_t^{\text{DA}} + (P_t^{\text{wind}} - \tilde{P}_t^{\text{wind}}) \rho_t^+ + \sum_{g=1}^{N_g} [k_1 P_{1,t,g}^m + k_2 P_{2,t,g}^m + k_3 P_{3,t,g}^m] + P_t^{\text{LOAD}} \rho_t^{\text{LOAD}} - a(P_t^{\text{curt}})^2 - bP_t^{\text{curt}} \quad (40)$$

微电网竞价算例分析

始信路微电网配置16台120 kW一体式直流充电桩和8台7 kW交流充电桩, 按8辆小型乘用车和16辆电动公交车可同时充电布置设计, 考虑始信路多站融合示范站充电站的实际情况, 本算例分析将其中的充电站作为充电负荷来处理。同时始信路示范站内储能系统容量为250 kW/1.344 MW·h, 充电效率和放电效率均为0.9, 充放电电荷电状态SOC的最大值和最小值分别为0.8和0.1, 储能的初始荷电状态SOC=0.5进行算例验证。平衡市场中的正负价格分别为日前市场价格的0.9倍和1.1倍, 补偿因子 a 和 b 分别为 1×10^{-6} 和0.9, 最大参与百分比 ν 设定为0.15。

(1) 不同竞标模型下日前竞标量对比

首先, 在确定型日前竞标策略中, 给出了不考虑不确定性的结果, 日前市场中始信路微电网的最佳竞标容量如图3所示, 始信路微电网的最大利润为18 652.5元(B_0), 始信路微电网总竞标电量为24 933 kW·h。其次, 考虑可再生能源出力的不确定性和日前市场价格, 鲁棒的利润水平系数设置为0.1, 最低指定利润为16 787.3元(B_R), 始信路微电网总竞标电量为24 190 kW·h。与确定型竞标策略相比, 始信路微电网在日前市场上出售的能源更少, 获得的利润更低, 这与规避风险的决策者的绩效要求是一致的。规避风险的决策者愿意通过降低利润减小风险, 此时, 最大 α 为8.84%。最后, 考虑可再生能源出力的不确定性和日前市场价格, 将机会利润水平因子设置为0.1, 最大指定利润为20 517.8元(B_0)。与确定性投标策略相比, 始信路微电网在日前市场上出售更多的能源并获得更高的利润, 这与机会寻求决策者的绩效要求是一致的, 而当风险寻求决策者愿意追求更高的利润时, 最小的 α 为9.90%。

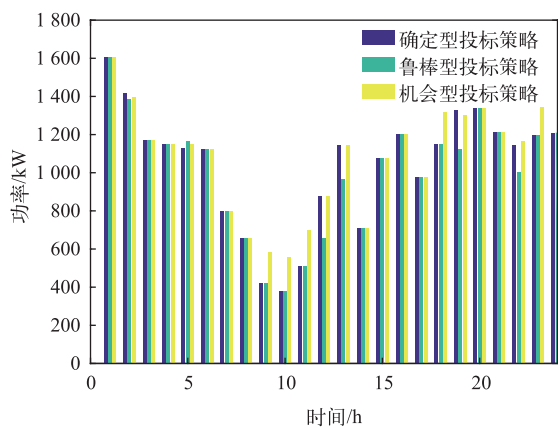


图3 不同策略下始信路微电网日前竞标电量

(2) 不同竞标模型下负荷削减电量对比
不同策略下负荷削减电量如图4所示。

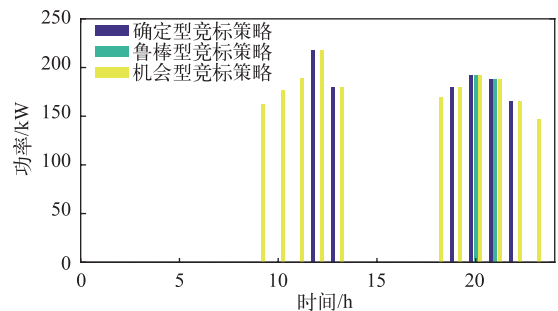


图4 不同策略下负荷削减电量

确定型模型削减负荷总电量为1 122 kW·h，鲁棒型模型削减负荷总电量为380 kW·h，机会型模型削减负荷总电量为1 970 kW·h。其中，机会型模型削减负荷总电量最大，其次为确定型模型，而鲁棒型模型削减负荷总电量最小，这与不同策略下日前市场竞标容量之间的关系也是一致的，当微电网在日前市场中竞标电量越多，微电网内部削减负荷电量越多，以追求在日前市场中更大的经济效益。

(3) 不确定因素的影响

不确定因素对于鲁棒策略的影响见表1，对机会策略影响见表2。

表1 不确定因素对于鲁棒策略的影响

鲁棒因子	考虑可再生能源与电价波动时不确定因素波动范围	仅考虑电价波动时不确定因素波动范围	仅考虑可再生能源出力波动时不确定因素波动范围
0.05	0.044 8	0.068 9	0.112 1
0.10	0.088 4	0.143 2	0.224 3
0.15	0.135 4	0.211 1	0.336 4
0.20	0.177 5	0.270 1	0.448 6

表2 不确定因素对于机会策略的影响

机会因子	考虑可再生能源与电价波动时不确定因素波动范围	仅考虑电价波动时不确定因素波动范围	仅考虑可再生能源出力波动时不确定因素波动范围
0.05	0.049 8	0.071 0	0.165 6
0.10	0.099 0	0.140 0	0.331 0
0.15	0.147 4	0.208 4	0.496 4
0.20	0.195 8	0.276 1	0.661 8

表1给出了不确定因素波动范围与鲁棒因子之间的关系，对比结果可以看出，对于始信路微电网而言，为达到既定的经济效益，电价预测准确度的要求相较于可再生能源出力预测准确度要求更为严格，同时考虑可再生能源出力波动与电价波动时的不确定因素范围，约为仅考虑单个不确定因素的0.5倍。

表2给出了不确定因素波动范围与机会因子之间的关系，对比结果可以看出，对于始信路微电网而言，电价预测波动的影响大于可再生能源出力波动的影响。同时考虑可再生能源出力波动与电价波动时的不确定因素波动范围，与仅考虑电价波动时不确定因素波动范围较为接近，而仅考虑可再生能源出力波动时不确定因素波动范围远大于前两种情况。

结束语

综上所述，本文基于信息间隙理论，分析了鲁棒型竞标策略和机会型竞标策略两种策略，当始信路微电网运营商更偏向于追求经济效益的提升时，可采取机会型竞标策略；当始信路微电网运营商更偏向于追求降低经济效益的风险时，可采取鲁棒型竞标策略。同时，对于始信路微电网运营商而言，电价的不确定性对于其经济效益的影响大于可再生能源不确定的影响，因此始信路微电网运营商应更关注于电价预测准确度的提升。EA

参考文献

- [1] 王少林, 王刚, 王晓磊, 等. 基于改进蜂群算法的电动汽车微电网优化调度[J]. 电气应用, 2022, 41(4): 63-70.
- [2] 张仔琪, 莫峻, 高志展, 等. 基于多代理的微电网需求响应机制研究[J]. 电气应用, 2021, 40(5): 61-67.