

## 基于多主体博弈的配电网多时间尺度源荷智能调度方法\*

唐俊刺<sup>1,2</sup>, 李铁<sup>1</sup>, 皮俊波<sup>2</sup>, 王明凯<sup>1</sup>

(1. 国网辽宁省电力有限公司电力科学研究院, 辽宁 沈阳 110000; 2. 国家电网有限公司, 北京 100031)

**摘要:** 考虑到用户需求在一定程度上会影响配电网多时间尺度源荷智能调度效果, 为此, 提出了基于多主体博弈的配电网多时间尺度源荷智能调度方法。由于配电网在运行过程中电能负荷的波动性, 分析了配电网多时间尺度源荷变化情景, 通过短时间的交互作用, 缓解配电网运行的压力, 分析了配电网的源荷特性; 在考虑差异值变化的前提下, 基于多主体博弈建立以最低运行成本为目标的配电网源荷智能优化目标函数; 根据配电网日前调度模型、配电网日内 2 h 调度模型和配电网日内 15 min 调度模型, 构建了配电网多时间尺度源荷调度模型, 实现了配电网多时间尺度源荷调度。实验结果表明, 所提方法在不同策略和场景下都具有更好的调度效果, 适合广泛推广使用。

**关键词:** 多主体博弈; 配电网; 多时间尺度; 源荷特性; 智能调度; 目标函数

中图分类号: TN913; TM743

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.212005

中文引用格式: 唐俊刺, 李铁, 皮俊波, 等. 基于多主体博弈的配电网多时间尺度源荷智能调度方法[J]. 电子技术应用, 2022, 48(3): 68-72.

英文引用格式: Tang Junci, Li Tie, Pi Junbo, et al. Multi-time scale source and load intelligent scheduling method for distribution network based on multi-agent game[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(3): 68-72.

Multi-time scale source and load intelligent scheduling method  
for distribution network based on multi-agent gameTang Junci<sup>1,2</sup>, Li Tie<sup>1</sup>, Pi Junbo<sup>2</sup>, Wang Mingkai<sup>1</sup>

(1. State Grid Liaoning Electric Power Supply Co., Ltd., Shenyang 110000, China;

2. State Grid Corporation of China, Beijing 100031, China)

**Abstract:** Considering that the user demand will affect the effect of multi-time scale source load intelligent dispatching in distribution network to a certain extent, a multi-agent game based multi-time scale source load intelligent dispatching method is proposed. Due to the fluctuation of power load in the operation process of distribution network, this paper analyzes the multi time scale source load variation scenarios of distribution network, alleviates the pressure of distribution network operation through short-term interaction, and analyzes the source load characteristics of distribution network. Based on multi-agent game, an intelligent optimization objective function of distribution network is built based on multi-agent game. Based on the daily dispatching model of distribution network, the daily 2 h scheduling model of distribution network and the daily 15 min scheduling model of distribution network, a multi time scale source load scheduling model of distribution network is constructed, and the scheduling of multi time scale source load of distribution network is realized. Experimental results show that the proposed method has better scheduling effect in different strategies and scenarios, and is suitable for wide application.

**Key words:** multi-agent game; distribution network; multiple time scales; source and charge characteristics; intelligent scheduling; objective function

## 0 引言

目前, 电能的大规模储蓄仍是未解决的难题, 要保证配电网的稳定运行, 就必须保证配电网的发电和负荷始终处于平衡状态, 传统的调度方法已经不能满足如今超负荷的配电网运行<sup>[1]</sup>, 这一问题引起了相关学者的广泛关注。

张亚超等人<sup>[2]</sup>针对风电出力的配电网运行的不稳定性, 提出了基于风电波动的源荷智能调度方法。对于风电出力的配电网的风电消纳作用, 提出了基于风电波动的源荷智能调度模式, 在此基础上, 以降低配电网的运行成本为目标, 构建配电网多时间多尺度源荷智能调度模型, 综合日前调度与实时调度, 通过统筹配合实现配电网的智能优化, 再利用小波函数求解, 验证基于风电波动的源荷智能调度方法的合理性。李恺等人<sup>[3]</sup>针对工业

\* 基金项目: 国家电网公司科技项目(SGTUHT/19-JS-215)

园电源负荷高等问题,提出了一种基于物联网自动控制技术的配电网多时间尺度源荷智能调度方法,建立配电网源荷一体化工业园物联网调度系统,基于物理信息构建工业园的智能调度机制,提出了基于配电网生产强化的调度策略。通过对该调度方式的实践,实现工业园配电网的智能调度,以此促进工业园配电网的稳定运行。实验结果证明,基于物联网自动控制技术的配电网多时间尺度源荷智能调度方法可有效解决供电园区能力不足等问题。

但是上述调度方法存在运行成本高和发电容量低等问题。为此本文基于多主体博弈,提出了配电网多时间尺度源荷智能调度方法,以期为促进配电网的高效运行提供有力的理论依据。所谓的多主体博弈,是指以配电网为主体的直接相互作用的均衡决策<sup>[4]</sup>。根据配电网运行的经济性,可以将多主体博弈分为多主体博弈和激励性多主体博弈,两种多主体博弈资源是根据配电网用户自主决定的,利用多主体博弈,对配电网多时间尺度源荷智能调度,实现电源、电能负荷和配电网三者之间均衡地交互作用,实现运行成本最低和发电容量利用率更高的配电网调度<sup>[5]</sup>。因此,利用多主体博弈有利于提高配电网运行的稳定性和安全性。

## 1 配电网多时间尺度源荷智能调度方法设计

### 1.1 分析配电网的源荷特性

为了分析配电网的源荷特性,解决配电网在运行过程中出现的调峰能力不足等问题<sup>[6]</sup>,通过对配电网多时间尺度的源荷调度进行削峰填谷,可以有效地提高配电网运行的稳定性。

考虑到配电网在运行过程中电能负荷具有波动性<sup>[7]</sup>,为此,分析了配电网多时间尺度源荷变化情景,如图1所示。

在图1所示的情境中,情景1中的配电网的负荷下

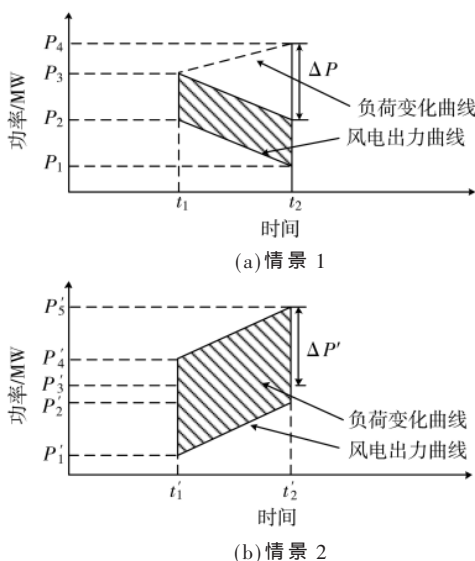


图1 配电网多时间尺度源荷变化情景

降  $P_2-P_1$ , 其中  $t_1$  到  $t_2$  时段电能负荷上升到  $P_4-P_3$ , 配电网实际的净负荷为  $\Delta P$ 。当  $P_{\max}^{\text{up}}(t_2-t_1) < \Delta P$  时, 配电网的实际运行速度为  $P_{\max}^{\text{up}}$ , 此时  $t_2$  时刻的发电机已经不能满足配电网的实际需求, 导致切负荷。通过对配电网 B 类负荷的源荷智能调度, 可以减轻发电机组的风电消纳。在场景 2 中, 当  $P_{\max}^{\text{down}}(t_2-t_1) < \Delta P'$ , 配电网的实际运行速度为  $P_{\max}^{\text{down}}$ 。通过对 B 类负荷的智能调度, 使  $t_1$  时减少用电量, 可以有效增加配电网的负荷能力。在上述的两种情境中, 利用源荷智能调度的 B 类可以有效地减少调峰能力<sup>[8]</sup>。

综合上述分析可知, 在实际运行过程中可以将配电网的 C 类和 D 类负荷作为备用电源, 通过短时间的交互作用可以缓解配电网运行的压力, 从而维持配电网的安全稳定运行。

### 1.2 建立配电网源荷智能优化目标函数

基于多主体博弈, 对配电网多时间尺度源荷智能调度, 在考虑差异值变化的前提下, 以配电网运行成本最低为目标<sup>[9]</sup>, 构建配电网多时间尺度源荷智能优化目标函数模型:

$$\min F = \sum_{t=1}^T \left( \sum_{k=1}^G F_{\text{DG},k}(t) + \sum_{i=1}^S F_{\text{ESS},i}(t) \right) \quad (1)$$

其中, 配电网的优化调度周期为  $T$ ; 配电网的分布电源调度和负荷值分别为  $G$  和  $S$ , 第  $k$  台的配电网控制成本为  $F_{\text{DG},k}$ ; 第  $i$  组的配电网调度成本为  $F_{\text{ESS},i}$ 。

各个配电网的源荷调度模型如下:

(1) 配电网的可控源荷调度成本

$$F_{\text{DG},k}(t) = \alpha_k P_{\text{DG},k}^2(t) + \beta_k P_{\text{DG},k}(t) + \gamma_k + M_{\text{DG},k} P_{\text{DG},k}(t) + \frac{h_{\text{DG},k} u_{\text{DG},k}}{P_{\text{DG},k}^{\max} T_{\text{DG},k} C_{\text{DG},k}} P_{\text{DG},k}(t) \quad (2)$$

其中, 第  $k$  台的配电网可控分布式源荷调度系数为  $\alpha_k$ 、 $\beta_k$ 、 $\gamma_k$ , 第  $k$  台的配电网可控分布电源与信道输出功率分别为  $P_{\text{DG},k}(t)$  和  $P_{\text{DG},k}^{\max}$ , 第  $k$  台的配电网可控安装成本、负荷系数和运行效率分别为  $h_{\text{DG},k}$ 、 $u_{\text{DG},k}$  和  $T_{\text{DG},k}$ , 第  $k$  台的配电网源荷调度成本系数和容量因素分别为  $M_{\text{DG},k}$  和  $C_{\text{DG},k}$ 。

(2) 配电网的源荷调度成本

配电网在  $t$  时间段的源荷状态为 SOC, 与该时间段配电网的放电量  $t-1$  时段有关<sup>[10]</sup>, 其配电网的源荷调度描述为:

$$\text{SOC}(t) = \text{SOC}(t-1) + \frac{\zeta_c P_{\text{ESS}}^c(t)}{C_{\text{ESS}}} - \frac{P_{\text{ESS}}^d(t)}{\zeta_d C_{\text{ESS}}} \quad (3)$$

其中,  $P_{\text{ESS}}^c(t)$  表示第  $t$  时段配电网充电功率,  $P_{\text{ESS}}^d(t)$  表示第  $t$  时段配电网放电的功率, 当  $P_{\text{ESS}}^c(t) P_{\text{ESS}}^d(t) = 0$  时, 配电网的储能充电效率为  $\zeta_c$ , 放电效率为  $\zeta_d$ ; 源荷储能为  $C_{\text{ESS}}$ 。

在时间段  $t$  内, 配电网多时间尺度源荷智能优化目标函数为:

$$F_{\text{ESS},i}(t) = \delta_{\text{ESS},i} P_{\text{ESS},i}^2(t) \quad (4)$$

其中, 配电网第  $i$  组的源荷调度成本系数为  $\delta_{\text{ESS},i}$ , 第  $i$  组的配电网放电功率为  $P_{\text{ESS},i}$ 。

通过上述步骤建立了配电网源荷智能优化目标函数。

### 1.3 构建配电网多时间尺度源荷调度模型

#### 1.3.1 配电网日前调度模型

配电网源荷日前调度模型: 源荷调度确定配电网多时间尺度的调度计划, 基于多主体博弈<sup>[11]</sup>, 确定配电网的多时间尺度调度 A 类和 B 类的源荷调度方法, 此时确定配电网的源荷调度的影响因素, 并制定配电网多时间尺度源荷智能调度方法。

以配电网的经济效益为出发点<sup>[12]</sup>, 构建配电网多时间尺度源荷智能调度优化目标函数为:

$$\min F_1 = \min \{F_{\text{G1}} + F_{\text{FG}} + F_s + F_{\text{ATL}} + F_{\text{BTL}} + F_w^{\text{cut}}\} \quad (5)$$

其中, 配电网多时间尺度的源荷调度发电成本和负荷成本分别为  $F_{\text{G1}}$  和  $F_{\text{FG}}$ ; 源荷智能调度成本为  $F_s$ ; A 类和 B 类的多时间尺度源荷调度成本分别为  $F_{\text{ATL}}$  和  $F_{\text{BTL}}$ , 式(6)的各项调度成本计算公式为:

$$\begin{cases} F_{\text{G1}} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_G} (a_i^G P_{G,i,t}^{\text{da}} + b_i^G P_{G,i,t}^{\text{da}2} + c_i^G) \\ F_{\text{FG}} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_{\text{FG}}} (a_i^{\text{FG}} P_{\text{FG},i,t}^{\text{FG}} + b_i^{\text{FG}} P_{\text{FG},i,t}^{\text{FG}2} + c_i^{\text{FG}}) \\ F_s = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_G} S_i \cdot u_{i,t}^G \cdot (1 - u_{i,t}^G) + \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^{N_{\text{FG}}} S_i \cdot u_{i,t}^{\text{FG}} \cdot (1 - u_{i,t}^{\text{FG}}) \\ F_{\text{ATL}} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{N_{\text{ATL}}} \alpha_{j,\text{ATL}} \cdot |P_{j,\text{ATL},t}^{\text{da}}| \\ F_{\text{BTL}} = \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^{N_{\text{BTL}}} \alpha_{j,\text{BTL}} \cdot |P_{j,\text{BTL},t}^{\text{da}}| \\ F_w^{\text{cut}} = \sum_{t=1}^T \alpha_w \cdot P_{w,t}^{\text{cut}} \end{cases} \quad (6)$$

式中, 以 15 min 为一个源荷调度时间段, 当  $T=96$  时, 配电网多时间尺度的调度方式和数量分别为  $N_G$  和  $N_{\text{FG}}$ , 配电网的常规调度机组速度与效率分别为  $P_{G,i,t}^{\text{da}}$  和  $P_{\text{FG},i,t}$ , 配电网的源荷调度成本系数分别为  $a_i^G$ 、 $b_i^G$  和  $c_i^G$ , 配电网的发电成本系数为  $a_i^{\text{FG}}$ 、 $b_i^{\text{FG}}$  和  $c_i^{\text{FG}}$ , 配电网的调度状态为  $u_{i,t}^G$  和  $u_{i,t}^{\text{FG}}$ ; 当配电网停止运行时, 配电网多时间尺度的启停成本为  $S_i$ , A 类和 B 类的配电网多时间尺度源荷单位调度成本分别为  $\alpha_{j,\text{ATL}}$  和  $\alpha_{j,\text{BTL}}$ , 源荷智能调度的电量分别为  $P_{j,\text{ATL},t}^{\text{da}}$  和  $P_{j,\text{BTL},t}^{\text{da}}$ , 源荷电量为  $P_{w,t}^{\text{cut}}$ , 单元源荷成本为  $\alpha_w$ 。

#### 1.3.2 配电网日内 2 h 调度模型

配电网源荷日内 2 h 调度模型: 对配电网多时间尺

度的调度执行, 确定未来配电网多时间尺度的调度计划, 再采用多主体博弈滚动修正配电网的调度<sup>[13]</sup>。在源荷智能调度的基础上, 基于多主体博弈对配电网 B 类负荷调度的多时间尺度源荷智能调度, 并对结果修正, 用时确定配电网 C 类负荷的源荷智能调度计划<sup>[14]</sup>。

在源荷智能调度的基础上, 配电网多时间尺度源荷日内 2 h 调度的目标函数为:

$$\min F_2 = \min \{F_{\text{G2}} + F_{\text{FG}} + F_s + F_{\text{BTL}} + F_{\text{CTL}} + F_w^{\text{cut}}\} \quad (7)$$

其中,  $F_{\text{G2}}$  为配电网多时间尺度源荷调度的发电成本, 配电网调度过程中的启停成本为  $F_s$ , 配电网 B 类和 C 类多时间尺度的源荷调度成本分别为  $F_{\text{BTL}}$  和  $F_{\text{CTL}}$ 。下式为配电网多时间尺度源荷调度的各项成本, 即:

$$\begin{cases} F_{\text{G2}} = \sum_{t=1}^{T_2} \sum_{i=1}^{N_G} (a_i^G P_{G,i,t}^{\text{da}} + b_i^G P_{G,i,t}^{\text{da}2} + c_i^G) \\ F_s = \sum_{t=1}^{T_2} \sum_{i=1}^{N_{\text{FG}}} S_i \cdot u_{i,t}^{\text{FG}} \cdot (1 - u_{i,t}^{\text{FG}}) \\ F_{\text{BTL}} = \sum_{t=1}^{T_2} \sum_{j=n}^{N_{\text{BTL}}} \alpha_{j,\text{BTL}} \cdot |P_{j,\text{BTL},t}^{\text{d2}}| \\ F_{\text{CTL}} = \sum_{t=1}^{T_2} \sum_{j=n}^{N_{\text{CTL}}} \alpha_{j,\text{CTL}} \cdot |P_{j,\text{CTL},t}^{\text{d2}}| \end{cases} \quad (8)$$

其中, 当  $T_2=16$  时, 配电网多时间尺度的调度时效为  $P_{G,i,t}^{\text{d2}}$ , 配电网 B 类和 C 类多时间尺度的源荷调度电量分别为  $P_{j,\text{BTL},t}^{\text{d2}}$  和  $P_{j,\text{CTL},t}^{\text{d2}}$ ,  $\alpha_{j,\text{CTL}}$  为 C 类源荷调度单位成本。

#### 1.3.3 配电网日内 15 min 调度模型

通过调度配电网的多时间尺度源荷, 设定时间为 15 分钟/次, 确定配电网的 C 类和 D 类多时间尺度源荷调度计划, 并随时滚动修正配电网<sup>[15]</sup>。

配电网日内 15 min 调度模型以快速启停机组为发电成本, 此时以 D 类源荷调度成本最小为目标, 其公式为:

$$\min F_3 = \min \left\{ \sum_{t=1}^{T_3} \sum_{i=1}^{N_{\text{FG}}} (a_i^{\text{FG}} P_{\text{FG},i,t}^{\text{d15}} + b_i^{\text{FG}} P_{\text{FG},i,t}^{\text{d15}2} + c_i^{\text{FG}}) + \sum_{t=1}^{T_3} \sum_{j=1}^{N_{\text{DL}}} \alpha_{j,\text{DL}} \cdot P_{j,\text{DL},t} + \sum_{t=1}^{T_3} \alpha_w \cdot P_w^{\text{cut}} \right\} \quad (9)$$

其中, 当  $T_3=2$  时, 配电网 D 类多时间尺度源荷调度单位成本为  $\alpha_{j,\text{DL}}$ , 此时的 D 类源荷调度总成本为  $P_{j,\text{DL},t}$ 。

根据以上过程, 构建了配电网多时间尺度源荷调度模型, 实现了配电网多时间尺度源荷调。

## 2 实验分析

为了验证基于多主体博弈的配电网多时间尺度源荷智能调度方法在实际应用中的可行性, 下面进行实验测试。

### 2.1 基础数据

以某一配电网为例, 设置两台可控分布式电源, 其出力上、下限值分别为 80 kW、20 kW、160 kW 和 47 kW, 其他相关参数设置情况如表 1 所示。

配电网由 3 种负荷组成, 具体组成情况如图 2 所示, 出力预测如图 3 所示。

表 1 可控分布式电源的相关参数设置情况

| 参数          | 电源 1   | 电源 2   |
|-------------|--------|--------|
| 爬坡功率/(kW/h) | 30     | 60     |
| 安装成本/元      | 10 000 | 12 500 |
| 容量因素        | 0.242  | 0.441  |
| 运行管理成本系数    | 0.035  | 0.176  |

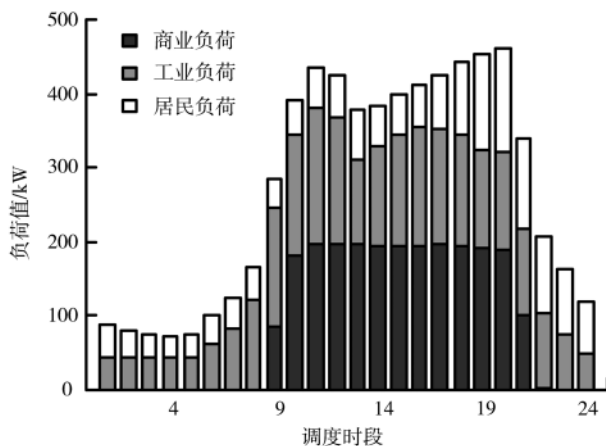


图 2 配电网负荷组成情况

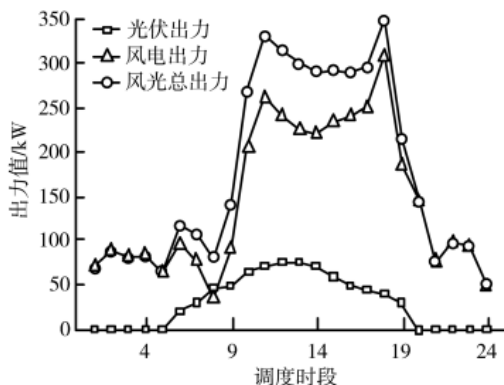


图 3 配电网风光出力预测值

基于图 2 和图 3 的数据,将配电网的负荷用电划分为 3 个时段,峰时段分别为 10:00~12:00 和 16:00~21:00 两个时段,平时段分别为 8:00~10:00 和 12:00~16:00 两个时段,谷时段分别为 00:00~8:00 和 21:00~24:00 两个时段。

## 2.2 仿真场景

将仿真场景划分为 3 类,场景一是基本场景,在配电网多时间尺度源荷调度时不考虑用户的用电需求响应;场景二是价格型需求响应场景,先分类配电网的用电负荷,得到价格型需求响应负荷值,优化求解配电网多时间尺度源荷调度模型;场景三是综合场景,基于场景二,考虑多时间尺度对配电网源荷调度的影响,综合考虑价格型和激励型两种需求响应。

## 2.3 结果与分析

### 2.3.1 不同策略下配电网多时间尺度源荷调度效果

在其他所有参数都相同的条件下,对比测试了配电网多时间尺度源荷智能调度方法在不同策略下的调度效果,结果如图 4 所示。

网多时间尺度源荷智能调度方法在不同策略下的调度效果,结果如图 4 所示。

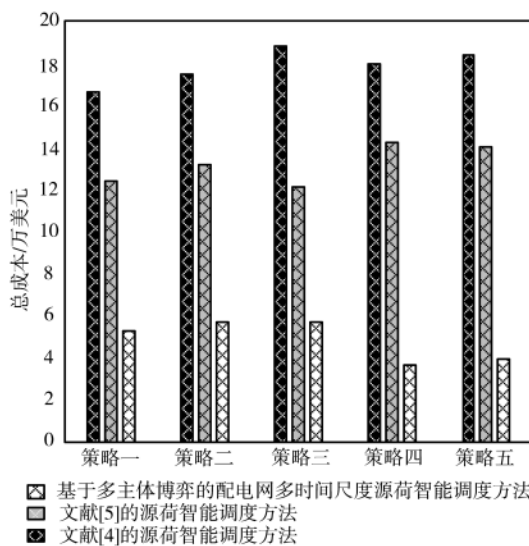


图 4 不同策略下的调度效果

从图 4 的结果可以看出,当采用文献[4]的源荷智能调度方法时,配电网多时间尺度源荷调度的总成本都超过了 16 万美元,说明大规模风电机组对调度效果的影响比较大;当采用文献[5]的源荷智能调度方法时,配电网多时间尺度源荷调度的总成本在 12 万美元~15 万美元之间;当采用基于多主体博弈的配电网多时间尺度源荷智能调度方法时,4 种策略下配电网多时间尺度源荷调度的总成本都在 6 万美元以下,说明本文设计的调度方法可以通过构建配电网多时间尺度源荷调度模型,满足配电网多时间尺度的调度需求,从而降低了调度的总成本,具有更好的调度效果。

### 2.3.2 不同场景下配电网多时间尺度源荷调度效果

为了更加直观分析配电网多时间尺度源荷智能调度方法在不同场景下的源荷调度效果,每一种场景中的源荷资源总量始终保持不变,测试结果如图 5 所示。

从图 5 的结果可以看出,3 种配电网多时间尺度源荷智能调度方法在场景一中的调度总成本都比较高,但是在其他 4 种场景中,只有采用基于多主体博弈的配电网多时间尺度源荷智能调度方法时,配电网多时间尺度源荷调度的总成本低于 5 万美元,而采用文献[4]的源荷智能调度方法和文献[5]的源荷智能调度方法时,配电网多时间尺度源荷调度的总成本基本都超过 10 万美元,表明本文设计的源荷调度方法可以使调度总成本达到最低,提高了配电网的调度经济性,具有更好的调度效果。

## 3 结论

本文提出了基于多主体博弈的配电网多时间尺度源荷智能调度方法研究,基于多主体博弈模型,分析了配电网的源荷特性,通过建立配电网源荷智能优化目标



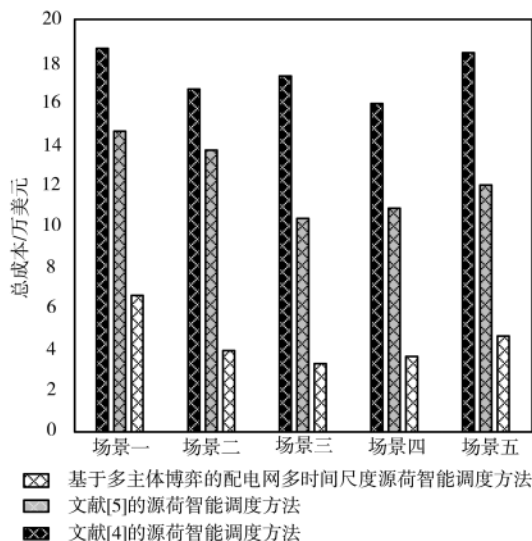


图5 不同场景中的调度效果

函数,构建了配电网多时间尺度源荷调度模型,实现了配电网多时间尺度源荷的调度。结果显示,本文设计的源荷调度方法具有更好的调度效果。

#### 参考文献

- [1] 林建熙,史俊伟,文福拴,等.计及可控负荷的工业微网源荷协同优化调度[J].电力建设,2018,39(1):1-9.
- [2] 张亚超,刘开培,廖小兵,等.含大规模风电的电力系统多时间尺度源荷协调调度模型研究[J].高电压技术,2019,45(2):600-608.
- [3] 李恺,谭海波,郭光,等.面向现代工业园区“源-荷”互动调度策略的研究[J].湖南电力,2020,40(3):12-16.
- [4] 宁月,胡志坚,林伟伟,等.基于博弈论的“源-网-荷”多主体利益协调互动的ADN分层规划[J].电力科学与技术学报,2021,36(1):63-72.
- [5] 彭春华,张金克,陈露,等.计及差异化需求响应的微电网源荷协调优化调度[J].电力自动化设备,2020,40(3):1-7.
- [6] 隋鑫,卢盛阳,苏安龙,等.基于电转气技术的核电调峰

源荷互动优化调度方法[J].电力系统及其自动化学报,2020,32(5):69-77.

- [7] 朱丹丹,刘文颖,胡阳,等.考虑LA灵活度的荷源调度方法[J].现代电力,2019,36(2):49-55.
- [8] 范懿,黄继刚,李能,等.考虑源荷互动的电力系统多目标优化调度[J].电网与清洁能源,2018,34(9):31-38.
- [9] 赵冬梅,殷加玖.考虑源荷双侧不确定性的模糊随机机会约束优先目标规划调度模型[J].电工技术学报,2018,33(5):1076-1085.
- [10] 陈志杰,李凤婷,赵新利,等.考虑源荷特性的双层互动优化调度[J].电力系统保护与控制,2020,48(1):135-141.
- [11] 陈美福,夏明超,陈奇芳,等.主动配电网源-网-荷-储协调调度研究综述[J].电力建设,2018,39(11):109-118.
- [12] 吉兴全,张广伟,刘志鹏,等.考虑抽水蓄能及电网运营成本源荷协调优化调度[J].水电能源科学,2019,37(3):191-195.
- [13] 张明理,潘霄,侯依昕,等.计及风电消纳的源-荷-储环保经济型调度策略[J].可再生能源,2019,37(9):1295-1302.
- [14] 黄鹏翔,周云海,徐飞,等.基于灵活性裕度的含风电电力系统源荷协调滚动调度[J].中国电力,2020,53(11):78-88.
- [15] 宫娅宁,秦红,付洪斌,等.考虑源荷不确定性的光伏发电系统优化调度策略[J].电力科学与技术学报,2019,34(2):112-118.

(收稿日期:2021-08-04)

#### 作者简介:

唐俊刺(1985-),通信作者,男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统运行控制,E-mail:

tangjunci66888@163.com。

李铁(1979-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统运行控制。

皮俊波(1984-),男,硕士,高级工程师,主要研究方向:电力系统运行控制。



扫码下载电子文档

(上接第67页)

- [15] ABOUT A, TOUATI H, HNIC B. Handover optimization for VANET in 5G networks[C]//2021 IEEE 18th Annual Consumer Communications & Networking Conference(CCNC), Las Vegas, NV, USA, 2021:1-2.

(收稿日期:2021-08-01)

#### 作者简介:

杨戈(1974-),男,博士,副教授,主要研究方向:人工智能技术、网络智能化技术、车联网技术。

朱永豪(1999-),男,本科,主要研究方向:无线通信网络。



扫码下载电子文档

## 版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所