



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 117196235 A

(43) 申请公布日 2023. 12. 08

(21) 申请号 202311210416.1

(22) 申请日 2023.09.19

(71) 申请人 广西电网有限责任公司桂林供电局
地址 541000 广西壮族自治区桂林市象山区上海路15号

(72) 发明人 蒋太平 舒适 陈羿宇 张正梅
李景顺 廖秋香 秦振芳 王莹
彭博 万林立

(74) 专利代理机构 广州科峻专利代理事务所
(普通合伙) 44445
专利代理师 唐云子

(51) Int. Cl.
G06Q 10/0631 (2023.01)
G06Q 50/06 (2012.01)
G06Q 10/0639 (2023.01)

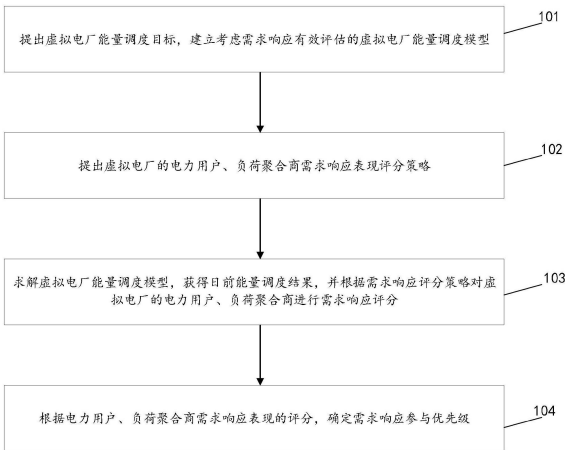
权利要求书1页 说明书13页 附图2页

(54) 发明名称

考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法

(57) 摘要

本发明公开了考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,方法包括提出虚拟电厂能量调度目标,建立考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型;提出虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分策略;求解虚拟电厂能量调度模型,获得日前能量调度结果,并根据需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应评分;根据电力用户、负荷聚合商需求响应表现的评分,确定需求响应参与优先级。本实施例结合对需求响应有效评估,实现对虚拟电厂负荷的最优日前调度,便于激励电力用户、负荷聚合商更加积极的参与需求响应,节约能源。



1. 考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,其特征在于,包括:

步骤101:提出虚拟电厂能量调度目标,建立考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型;

步骤102:提出虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分策略;

步骤103:求解虚拟电厂能量调度模型,获得日前能量调度结果,并根据需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应评分;

步骤104:根据电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分,确定需求响应参与优先级。

2. 如权利要求1所述的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,其特征在于,所述步骤101具体为:

虚拟电厂能量调度目标定义为购售电费用差、需求响应功率未得到满足的惩罚成本、需求响应补偿费用、储能电池与充电桩电池损耗成本、分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本之和最小;

集成分布式发电、储能系统、负荷端灵活性资源的模型及其约束和可中断负荷约束、不可控负荷、能量调度目标,建立考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型。

3. 如权利要求1所述的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,其特征在于,所述步骤102中虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分策略具体为:

当实际需求响应功率小于期望需求响应功率的50%时,评分为0;

当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[50%, 75%)时,评分为0.5;

当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[75%, 90%)或不低于120%时,评分为0.8;

当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[90%, 120%)时,评分为1。

4. 如权利要求1所述的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,其特征在于,所述步骤103中对电力用户、负荷聚合商进行需求响应表现评分,具体步骤为:

步骤1031:求解虚拟电厂能量调度模型,获得日前能量调度结果;

步骤1032:根据需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应表现评分。

5. 如权利要求2所述的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,其特征在于,所述S104中确定需求响应参与优先级,具体步骤为:

步骤1041:根据电力用户、负荷聚合商需求响应表现的评分,对电力用户、负荷聚合商按照评分从高到底排序;

步骤1042:当电力用户、负荷聚合商的评分相同时,根据同一需求响应时段所能提供的功率值大小对电力用户、负荷聚合商排序;

步骤1043:根据对电力用户、负荷聚合商的排序,确定需求响应参与优先级。

考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法

技术领域

[0001] 本发明涉及能量调度领域,尤其涉及考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法。

背景技术

[0002] 能量调度是虚拟电厂运行的核心问题,旨在通过合理安排分布式能源资源的发电量、负荷需求和能量储存,实现能量供需的平衡,最大限度地提高能源利用效率和经济性。通过研究和探索调度策略、调度模型,可实现虚拟电厂的高效能量调度,提高能源利用效率和经济性,推动可持续能源的发展和能源系统的转型。但深入研究虚拟电厂能量调度问题,对于能源领域的学术界和工业界来说仍然是一个具有挑战性的课题。

[0003] 现有方法在虚拟电厂能量调度中发挥了重要作用,为实现虚拟电厂的高效、可靠和可持续运行提供了理论和技术支持。然而,在已有虚拟电厂能量调度过程中,灵活性资源的可调度电能仍未得到充分利用。为进一步引导优化用电负荷、缓解电网运行压力,参照2021年制定的《广州市虚拟电厂实施细则》和《广西电力市场化需求响应实施方案》,提出考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法及系统。

发明内容

[0004] 本发明提供了一种考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,实现对虚拟电厂负荷的最优日前调度,便于激励电力用户、负荷聚合商更加积极的参与需求响应,节约能源。

[0005] 为了解决上述技术问题,本发明实施例提供了一种考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,包括以下步骤:

[0006] 步骤101:提出虚拟电厂能量调度目标,建立考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型;

[0007] 步骤102:提出虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分策略;

[0008] 步骤103:求解虚拟电厂能量调度模型,获得日前能量调度结果,并根据需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应评分;

[0009] 步骤104:根据电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分,确定需求响应参与优先级。

[0010] 实施本发明实施例,将虚拟电厂能量调度的目标定义为购售电费用差、需求响应功率未得到满足的惩罚成本、需求响应补偿费用、储能电池与充电桩电池损耗成本、分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本之和最小,集成分布式发电、储能系统、负荷端灵活性资源的模型及其约束和可中断负荷约束、不可控负荷、能量调度目标,建立考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型;当实际需求响应功率小于期望需求响应功率的50%时,评分为0,当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[50%,75%)时,评分为0.5,当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[75%,90%)或不低于120%

时,评分为0.8,当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[90%,120%)时,评分为1;求解虚拟电厂能量调度模型,获得日前能量调度结果,根据需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应表现评分;根据电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分,对电力用户、负荷聚合商按照评分从高到底排序;当电力用户、负荷聚合商的评分相同时,根据同一需求响应时段所能提供的功率值大小对电力用户、负荷聚合商排序;根据对电力用户、负荷聚合商的排序,确定需求响应参与优先级。

[0011] 作为优选方案,提出虚拟电厂能量调度目标,建立考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型,具体为:

[0012] 第一步,将虚拟电厂能量调度的目标定义为购售电费用差、需求响应功率未得到满足的惩罚成本、需求响应补偿费用、储能电池与充电桩电池损耗成本、分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本之和最小。

[0013] 在本实施例中,将目标函数定义为:

$$[0014] \quad \min \sum_{t=1}^T ((\lambda_t^{\text{BUY}} P_t^{\text{BUY}} - \lambda_t^{\text{SEL}} P_t^{\text{SEL}}) + C_t^{\text{curt}}) + C^{\text{DR}} + C^{\text{BATT}} + C^{\text{DG}}$$

[0015] 其中, λ_t^{BUY} 为t时刻的购电电价, λ_t^{SEL} 为t时刻的售电电价, P_t^{BUY} 为虚拟电厂业主在t时刻的购电功率, P_t^{SEL} 为虚拟电厂业主在t时刻的售电功率, C^{DR} 表示需求响应功率未得到满足的惩罚成本, C_t^{curt} 表示t时刻的需求响应补偿费用, C^{BATT} 表示储能电池与充电桩电池损耗成本和 C^{DG} 表示分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本, T为总能量调度时刻数。

[0016] 需求响应功率未得到满足的惩罚成本:

$$[0017] \quad C^{\text{DR}} = \beta^{\text{pile}} \cdot [(P_{\text{low-1}}^{\text{pile}} / P_{\text{low-1}}^{\text{pile, avg}} - 1) + (1 - P_{\text{low-2}}^{\text{pile}} / P_{\text{low-2}}^{\text{pile, avg}} - 1) + (1 - P_{\text{high-1}}^{\text{pile}} / P_{\text{high-1}}^{\text{pile, avg}}) + (1 - P_{\text{high-2}}^{\text{pile}} / P_{\text{high-2}}^{\text{pile, avg}})] + \\ \beta^{\text{buildings}} \cdot [(P_{\text{low-1}}^{\text{buildings}} / P_{\text{low-1}}^{\text{buildings, avg}} - 1) + (P_{\text{low-2}}^{\text{buildings}} / P_{\text{low-2}}^{\text{buildings, avg}} - 1) + (1 - P_{\text{high-1}}^{\text{buildings}} / P_{\text{high-1}}^{\text{buildings, avg}}) + \\ (1 - P_{\text{high-2}}^{\text{buildings}} / P_{\text{high-2}}^{\text{buildings, avg}})] + \beta^{\text{interrupt}} \cdot [(P_{\text{low-1}}^{\text{interrupt}} / P_{\text{low-1}}^{\text{interrupt, avg}} - 1) + (P_{\text{low-2}}^{\text{interrupt}} / P_{\text{low-2}}^{\text{interrupt, avg}} - 1) + \\ (1 - P_{\text{high-1}}^{\text{interrupt}} / P_{\text{high-1}}^{\text{interrupt, avg}}) + (1 - P_{\text{high-2}}^{\text{interrupt}} / P_{\text{high-2}}^{\text{interrupt, avg}})]$$

[0018] 其中, C^{DR} 是需求响应功率未得到满足的惩罚成本, β^{pile} 、 $\beta^{\text{buildings}}$ 和 $\beta^{\text{interrupt}}$ 表示对充电桩、空调系统和可中断负荷的响应功率未满足需求的惩罚系数; $P_{\text{low-1}}^{\text{pile}}$ 、 $P_{\text{low-1}}^{\text{buildings}}$ 和 $P_{\text{low-1}}^{\text{interrupt}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第一个用电低谷期的实际平均功率, $P_{\text{low-1}}^{\text{pile, avg}}$ 、 $P_{\text{low-1}}^{\text{buildings, avg}}$ 和 $P_{\text{low-1}}^{\text{interrupt, avg}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第一个用电低谷期的基准平均功率; $P_{\text{low-2}}^{\text{pile}}$ 、 $P_{\text{low-2}}^{\text{buildings}}$ 和 $P_{\text{low-2}}^{\text{interrupt}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第二个用电低谷期的实际平均功率, $P_{\text{low-2}}^{\text{pile, avg}}$ 、 $P_{\text{low-2}}^{\text{buildings, avg}}$ 和 $P_{\text{low-2}}^{\text{interrupt, avg}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第二个用电低谷期的基准平均功率。 $P_{\text{high-1}}^{\text{pile}}$ 、 $P_{\text{high-1}}^{\text{buildings}}$ 和 $P_{\text{high-1}}^{\text{interrupt}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第一个用电高峰期的实际平均功率, $P_{\text{high-1}}^{\text{pile, avg}}$ 、 $P_{\text{high-1}}^{\text{buildings, avg}}$ 和 $P_{\text{high-1}}^{\text{interrupt, avg}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第一个用电高峰期的基准平均功率; $P_{\text{high-2}}^{\text{pile}}$ 、 $P_{\text{high-2}}^{\text{buildings}}$ 和 $P_{\text{high-2}}^{\text{interrupt}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第二个用电高峰期的实际平均功率, $P_{\text{high-2}}^{\text{pile, avg}}$ 、 $P_{\text{high-2}}^{\text{buildings, avg}}$ 和 $P_{\text{high-2}}^{\text{interrupt, avg}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第二个用电高峰期的基准平均功率。

[0019] 以 C_t^{curt} 表示t时刻虚拟电厂业主在削减负荷需求时支付给用户的总补偿费用。不同程度的负荷削减对用户有不同的影响；因此，根据实际负荷削减的程度对用户进行负荷削减补偿。所述 C_t^{curt} 表示为：

$$[0020] \quad C_t^{\text{curt}} = \sum_{m=1}^{l_m} (\xi_m^{\text{curt}} P_{m,t}^{\text{curt}})$$

[0021] 其中， $l_m \in \{1, 2, 3\}$ 是负荷削减的等级， ξ_m^{curt} 是第m级负荷削减的单位功率补偿价格， $P_{m,t}^{\text{curt}}$ 是t时刻第m级负荷削减的功率幅值。

[0022] 储能电池和充电桩电池损耗成本 C^{BATT} ：

$$[0023] \quad C^{\text{BATT}} = \sum_{i=1}^{n_v^{\text{ESS}}} N_i^{\text{ESS}} \cdot C_i^{\text{ESS}} + \sum_{j=1}^{n_v^{\text{C}}} N_j^{\text{C}} \cdot C_j^{\text{C}}$$

[0024] 其中， n_v^{ESS} 为电池储能系统数量， C_i^{ESS} 为第i个电池储能系统的单次放电的平均损耗成本， N_i^{ESS} 为电网运行调度周期内电池储能系统的放电次数； n_v^{C} 为充电桩数量， C_j^{C} 为第j个充电桩内电池的单个放电平均损耗成本， N_j^{C} 为电网运行调度周期内第j个充电桩内电池的放电次数。

[0025] 分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本 C^{DG} ：

$$[0026] \quad C^{\text{DG}} = \beta^{\text{DG}} \cdot \sum_{t=1}^T (P_t^{\text{DG}} - \alpha_t^{\text{DG}} \cdot P_t^{\text{DG}})$$

[0027] 其中， β^{DG} 表示分布式发电功率未能充分利用的惩罚系数； P_t^{DG} 为t时刻的分布式发电功率， α_t^{DG} 为t时刻分布式发电功率衰减因子；在 α_t^{DG} 满足：

$$[0028] \quad 0 \leq \alpha_t^{\text{DG}} \leq 1$$

[0029] 第二步，建立虚拟电厂聚合单元约束。

[0030] 空调系统约束：

[0031] 用户的舒适要求可使用平均投票指数 ε_{PMV} 来确定，为确保人体舒适度在可接受的范围内，将以下对的平均投票指数 ε_{PMV} 约束应用于空调系统的用能调节和控制过程：

$$[0032] \quad -0.5 \leq \varepsilon_{\text{PMV}} \leq 0.5$$

[0033] 平均投票指数 ε_{PMV} 与室内温度 θ_t^{in} 之间的关系满足：

$$[0034] \quad \varepsilon_{\text{PMV}} = \begin{cases} \sigma_1 \times (\theta_t^{\text{in}} - 26), & \theta_t^{\text{in}} \geq 26 \\ \sigma_2 \times (-\theta_t^{\text{in}} + 26), & \theta_t^{\text{in}} < 26 \end{cases}$$

[0035] 其中， σ_1 是满足 $\theta_t^{\text{in}} \geq 26$ 时的投票系数， σ_2 为满足 $\theta_t^{\text{in}} < 26$ 时的投票系数， θ_t^{in} 满足以下时变方程：

$$[0036] \quad \theta_t^{\text{in}} = e^{-\frac{\beta}{\alpha} \Delta t} T_{t-1}^{\text{in}} + \left(1 - e^{-\frac{\beta}{\alpha} \Delta t}\right) \left(\frac{\lambda_t}{\beta} - \frac{Q_t}{\beta}\right)$$

[0037] 参数 λ_t 满足

$$[0038] \quad \lambda_t = \sum K_{\text{wall}} A_{\text{wall}} (\theta_{\text{cl}} + \theta_d) + \sum G_{\text{win}} A_{\text{win}} K_d K_s K_{\text{cl}} + \sum K_{\text{win}} A_{\text{win}} \theta_t^{\text{out}} + 1000k_1 k_2 k_3 P_{\text{he}} + 1000k_4 k_5 k_6 k_7 P_{\text{le}} + F_{\text{cl}} n \phi G_{\text{sh}} + n K_{\text{user}} G_{\text{lh}} + 1.01 G^n \theta_t^{\text{out}} + 38.5 G^n$$

[0039] 参数 α 满足

$$[0040] \quad \beta = \sum K_{\text{wall}} A_{\text{wall}} + \sum K_{\text{win}} A_{\text{win}} + 1.01 G^n$$

[0041] 参数 β 满足

$$[0042] \quad \alpha = C_a V \rho_a + K_h A_{\text{in}}$$

[0043] 其中, Q_t 是t时刻空调系统提供的总冷能。 K_{wall} 为楼宇外墙和屋顶的传热系数、 A_{wall} 为楼宇外墙和屋顶的总面积、 θ_{cl} 为楼宇外墙和屋顶的冷空气温度、 θ_d 是对 θ_{cl} 的校正温度。 G_{win} 为楼宇窗户的最大太阳热增益、 A_{win} 为楼宇窗户的总面积、 K_d 为楼宇窗户基于玻璃类型的校正系数、 K_s 为楼宇窗户与内遮阳措施相关的遮阳系数、 K_{cl} 为楼宇窗户的冷却负荷系数、 K_{win} 为楼宇窗户的传热系数、 θ_t^{out} 为t时刻室外温度。 k_1 为电热设备的装机系数、 k_2 为电热设备的负荷系数、 k_3 为电热设备的同时利用率、 P_{he} 为电热设备的装机功率。 k_4 为照明设备的同时使用率、 k_5 为照明设备的蓄热系数、 k_6 为照明设备的整流器耗电系数、 k_7 为照明设备的安装系数、 P_{le} 为照明设备的装机功率。 F_{cl} 是反映人体显热增益的冷负荷系数、 n 是楼宇中总人数、 K_{user} 是用户聚集系数、 G_{sh} 是每个成年男性的显热增益、 G_{lh} 是每个成年男性的潜热增益,所有女性和儿童的显热增益、潜热增益都被等值转换为成年男性的显热增益、潜热增益。 G^n 是楼宇内的新风量、 C_a 是空气在恒定压力下的比热容、 V 是楼宇制冷空间体积、 ρ_a 是空气密度、 K_h 是内墙的蓄热系数、 A_{in} 是内墙的总面积。

[0044] 在t时刻,空调系统的总冷能 Q_t 满足:

$$[0045] \quad Q_t = Q_t^{\text{ch}} - Q_t^{\text{st}} + Q_t^{\text{re}}$$

[0046] 其中, Q_t^{ch} 表示t时刻制冷机的制冷能量、 Q_t^{st} 表示t时刻制冷机的冷凝器储存、 Q_t^{re} 表示t时刻制冷机的释放的冷能量。

[0047] 空调系统的其他约束:

$$[0048] \quad 0 \leq Q_t^{\text{ch}} \leq Q^{\text{ch,max}}$$

$$[0049] \quad 0 \leq Q_t^{\text{st}} \leq Q^{\text{st,max}}$$

$$[0050] \quad 0 \leq Q_t^{\text{re}} \leq Q^{\text{re,max}}$$

$$[0051] \quad 0 \leq S_t^{\text{c}} \leq S^{\text{c,max}}$$

$$[0052] \quad S_t^{\text{c}} = S_{t-1}^{\text{c}} + (Q_t^{\text{st}} \mu_{\text{st}} - Q_t^{\text{re}} / \mu_{\text{re}}) \Delta t$$

[0053] 其中, $Q^{\text{ch,max}}$ 为制冷机产生的最大冷量、 $Q^{\text{st,max}}$ 为冷凝器储存的最大冷量、 $Q^{\text{re,max}}$ 为冷凝器释放的最大冷量、 S_t^{c} 为空调系统在t时刻的冷能量、 $S^{\text{c,max}}$ 为空调系统冷凝器的冷能容量、 μ_{st} 为冷凝器储存冷能的效率、 μ_{re} 为冷凝器释放冷能的效率。空调系统t时刻的总耗电量 P_t^{cold} 主要是制冷机耗电量和冷凝器冷能蓄放过程的函数,可表示为

$$[0054] \quad P_t^{\text{cold}} = Q_t^{\text{ch}} / \eta_{\text{ch}} + Q_t^{\text{st}} \eta_{\text{st}} + Q_t^{\text{re}} \eta_{\text{re}}$$

[0055] 其中, η_{ch} 为制冷机的制冷能量转换效率、 η_{st} 为冷凝器存储冷能量的转换效率、 η_{re} 为冷凝器释放冷能量的转换效率;

[0056] 储能系统约束:

$$[0057] \quad S_t^{\text{ESS}} = S_{t-1}^{\text{ESS}} + \eta_{\text{esc}} g_t^{\text{esc}} - g_t^{\text{esd}} / \eta_{\text{esd}}$$

$$[0058] \quad S^{\text{ESS}, \min} \leq S_t^{\text{ESS}} \leq S^{\text{ESS}, \max}$$

$$[0059] \quad 0 \leq g_t^{\text{esc}} \leq g^{\text{esc}, \max}$$

$$[0060] \quad 0 \leq g_t^{\text{esd}} \leq g^{\text{esd}, \max}$$

[0061] 其中, S_t^{BESS} 为t时刻储能系统存储的电能量, η_{esc} 为储能系统的充电效率, η_{esd} 为储能系统的放电效率, g_t^{esc} 为t时刻储能系统的充电功率, g_t^{esd} 为t时刻储能系统的放电功率, $S^{\text{BESS}, \max}$ 为储能系统允许存储的最大电能量, $S^{\text{BESS}, \min}$ 为储能系统允许存储的最小电能量, $g^{\text{esc}, \max}$ 为储能系统的最大充电功率, $g^{\text{esd}, \max}$ 为储能系统的最大放电功率。

[0062] 充电桩功率约束:

$$[0063] \quad S_t^{\text{C}} = S_{t-1}^{\text{C}} + \eta_{\text{C, esc}} g_t^{\text{C, esc}} - g_t^{\text{C, esd}} / \eta_{\text{C, esd}}$$

$$[0064] \quad S^{\text{C}, \min} \leq S_t^{\text{C}} \leq S^{\text{C}, \max}$$

$$[0065] \quad 0 \leq g_t^{\text{C, esc}} \leq g^{\text{C, esc}, \max}$$

$$[0066] \quad 0 \leq g_t^{\text{C, esd}} \leq g^{\text{C, esd}, \max}$$

$$[0067] \quad g_t^{\text{C, esc}} \leq g_t^{\text{C}} \leq g^{\text{C}, \max}$$

[0068] 其中, S_t^{C} 为t时刻充电桩内电池存储的电能, $\eta_{\text{C, esc}}$ 为充电桩内电池的充电效率, $\eta_{\text{C, esd}}$ 为充电桩内电池的放电效率, $g_t^{\text{C, esc}}$ 为t时刻充电桩内电池的充电功率, $g_t^{\text{C, esd}}$ 为t时刻充电桩内电池的放电功率, $S^{\text{C}, \max}$ 为充电桩内电池中允许存储的最大电能, $S^{\text{C}, \min}$ 为充电桩内电池中允许存储的最小电能, $g^{\text{C, esc}, \max}$ 为充电桩内电池的最大充电功率, $g^{\text{C, esd}, \max}$ 为充电桩内电池的最大放电功率, g_t^{C} 为充电桩在t时刻的放电功率, $g^{\text{C}, \max}$ 为充电桩的最大放电功率。

[0069] 可中断负荷约束:

$$[0070] \quad 0 \leq P_{m,t}^{\text{curt}} \leq k_m^{\text{curt}} P_t^{\text{load}}$$

$$[0071] \quad P_t^{\text{curt}} = \sum_{m=1}^{I_m} P_{m,t}^{\text{curt}}$$

$$[0072] \quad P_{t-1}^{\text{curt}} + P_t^{\text{curt}} \leq P^{\text{curt}, \max}$$

[0073] 其中, k_m^{curt} 为第m级负荷的功率削减系数, P_t^{load} 为t时刻的不可控负荷和可中断负荷之和, I_m^{curt} 为t时刻的负荷功率削减幅度, $A^{\text{curt}, \max}$ 为连续时间内的最大负荷功率削减幅度; $P_{t-1}^{\text{curt}} + P_t^{\text{curt}} \leq P^{\text{curt}, \max}$ 用于避免连续时间内因减载幅度过大而导致用户满意度下降。

[0074] 向电网出售和购买电能的功率限制:

$$[0075] \quad 0 \leq P_t^{\text{BUY}} \leq P^{\text{BUY}, \max}$$

$$[0076] \quad 0 \leq P_t^{\text{SEL}} \leq P^{\text{SEL}, \max}$$

[0077] 式中, $P^{\text{SEL}, \max}$ 是销售给电网的最大电功率, $P^{\text{BUY}, \max}$ 是从电网购买的最大电功率。

[0078] 能量平衡约束:

$$[0079] \quad P_t^{\text{SEL}} + g_t^{\text{esc}} + g_t^{\text{C}} + P_t^{\text{load}} - P_t^{\text{curt}} + P_t^{\text{cold}} = P_t^{\text{BUY}} + \alpha_t^{\text{PV}} \cdot P_t^{\text{DG}} + g_t^{\text{esd}} + g_t^{\text{C, esd}}$$

- [0080] 其中, P_t^{DG} 是在 t 时刻的分布式发电功率。
- [0081] 作为优选方案, 提出虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分策略, 具体为:
- [0082] 当实际需求响应功率小于期望需求响应功率的 50% 时, 评分为 0;
- [0083] 当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间 [50%, 75%) 时, 评分为 0.5;
- [0084] 当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间 [75%, 90%) 或不低于 120% 时, 评分为 0.8;
- [0085] 当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间 [90%, 120%) 时, 评分为 1。
- [0086] 作为优选方案, 对电力用户、负荷聚合商进行需求响应评分, 具体为:
- [0087] 求解虚拟电厂能量调度模型, 获得日前能量调度结果;
- [0088] 根据需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应表现评分。
- [0089] 作为优选方案, 确定需求响应参与优先级, 具体为:
- [0090] 根据电力用户、负荷聚合商需求响应表现的评分, 对电力用户、负荷聚合商按照评分从高到底排序;
- [0091] 当电力用户、负荷聚合商的评分相同时, 根据同一需求响应时段所能提供的功率值大小对电力用户、负荷聚合商排序;
- [0092] 根据对电力用户、负荷聚合商的排序, 确定需求响应参与优先级。
- [0093] 有益效果: 本发明克服的难题: 1) 对需求响应高度变化性的高效应对问题; 2) 多源能量的高效协调优化问题; 3) 系统在实时监测市场价格、电价预测和需求的前提下, 如何在多个变量之间做出最佳决策并获得最大经济效益问题。本发明通过采用前述方案步骤, 有效解决以上难题, 实现以下目的和效益: 1) 高效能量利用: 虚拟电厂能够根据实际需求和能源供应情况进行精确调度, 实现能量的最优分配, 从而提高能源利用效率。2) 电网稳定性: 通过有效的能量调度和多能源协调, 能够平衡电网负荷, 减少峰谷差距, 降低电网的压力, 提高电网的稳定性和可靠性。3) 需求响应和弹性: 能够快速适应能源市场的变化和用户需求的波动, 实现灵活的能量调度, 支持需求响应和电网的弹性运行。4) 环境友好: 通过优化可再生能源的利用, 可以减少对传统化石燃料的依赖, 降低温室气体排放, 从而减少环境影响。5) 经济效益: 通过参与能源市场, 可以根据市场需求和电价波动来优化能量调度, 最大限度地提高经济效益。

附图说明

- [0094] 图1: 为本发明提供的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法的一种实施例的流程示意图;
- [0095] 图2: 为考虑需求响应表现评分的虚拟电厂能量调度模型的求解流程。
- [0096] 图3: 为本发明提供的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度装置的一种实施例的结构示意图。

具体实施方式

[0097] 下面将结合本发明实施例中的附图,对本发明实施例中的技术方案进行清楚、完整地描述,显然,所描述的实施例仅仅是本发明一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有作出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本发明保护的范围。

[0098] 实施例一

[0099] 请参照图1,为本发明实施例提供的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法的流程示意图,其中,考虑需求响应表现评分的虚拟电厂能量调度模型的求解流程,如图2所示。本实施例的虚拟电厂能量调度方法适用于包含分布式发电、储能系统和丰富的负荷端灵活性资源的虚拟电厂系统中,本实施例通过对需求响应有效评估,实现对虚拟电厂电负荷的最优日前调度,便于激励电力用户、负荷聚合商更加积极的参与需求响应,节约能源。

[0100] 该考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法包括步骤101至步骤104,各步骤具体如下:

[0101] 步骤101:提出虚拟电厂能量调度目标,建立考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型。

[0102] 在本实施例中,可选的,考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型搭建过程具体包括步骤S1011-S1012,具体如下

[0103] 步骤1011:将虚拟电厂能量调度的目标定义为购售电费用差、需求响应功率未得到满足的惩罚成本、需求响应补偿费用、储能电池与充电桩电池损耗成本、分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本之和最小。

[0104] 在本实施例中,将目标函数定义为:

$$[0105] \quad \min \sum_{t=1}^T ((\lambda_t^{\text{BUY}} P_t^{\text{BUY}} - \lambda_t^{\text{SEL}} P_t^{\text{SEL}}) + C_t^{\text{curt}}) + C^{\text{DR}} + C^{\text{BATT}} + C^{\text{DG}}$$

[0106] 其中, λ_t^{BUY} 为t时刻的购电电价, λ_t^{SEL} 为t时刻的售电电价, P_t^{BUY} 为虚拟电厂业主在t时刻的购电功率, P_t^{SEL} 为虚拟电厂业主在t时刻的售电功率, C^{DR} 表示需求响应功率未得到满足的惩罚成本, C_t^{curt} 表示t时刻的需求响应补偿费用, C^{BATT} 表示储能电池与充电桩电池损耗成本和 C^{DG} 表示分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本, T为总能量调度时刻数。

[0107] 需求响应功率未得到满足的惩罚成本:

$$[0108] \quad C^{\text{DR}} = \beta^{\text{pile}} \cdot [(P_{\text{low-1}}^{\text{pile}} / P_{\text{low-1}}^{\text{pile, avg}} - 1) + (1 - P_{\text{low-2}}^{\text{pile}} / P_{\text{low-2}}^{\text{pile, avg}} - 1) + (1 - P_{\text{high-1}}^{\text{pile}} / P_{\text{high-1}}^{\text{pile, avg}}) + (1 - P_{\text{high-2}}^{\text{pile}} / P_{\text{high-2}}^{\text{pile, avg}})] + \\ \beta^{\text{buildings}} \cdot [(P_{\text{low-1}}^{\text{buildings}} / P_{\text{low-1}}^{\text{buildings, avg}} - 1) + (P_{\text{low-2}}^{\text{buildings}} / P_{\text{low-2}}^{\text{buildings, avg}} - 1) + (1 - P_{\text{high-1}}^{\text{buildings}} / P_{\text{high-1}}^{\text{buildings, avg}}) + \\ (1 - P_{\text{high-2}}^{\text{buildings}} / P_{\text{high-2}}^{\text{buildings, avg}})] + \beta^{\text{Interrupt}} \cdot [(P_{\text{low-1}}^{\text{Interrupt}} / P_{\text{low-1}}^{\text{Interrupt, avg}} - 1) + (P_{\text{low-2}}^{\text{Interrupt}} / P_{\text{low-2}}^{\text{Interrupt, avg}} - 1) + \\ (1 - P_{\text{high-1}}^{\text{Interrupt}} / P_{\text{high-1}}^{\text{Interrupt, avg}}) + (1 - P_{\text{high-2}}^{\text{Interrupt}} / P_{\text{high-2}}^{\text{Interrupt, avg}})]$$

[0109] 其中, C^{DR} 是需求响应功率未得到满足的惩罚成本, β^{pile} 、 $\beta^{\text{buildings}}$ 和 $\beta^{\text{Interrupt}}$ 表示对充电桩、空调系统和可中断负荷的响应功率未满足需求的惩罚系数。 $P_{\text{low-1}}^{\text{pile}}$ 、 $P_{\text{low-1}}^{\text{buildings}}$ 和 $P_{\text{low-1}}^{\text{Interrupt}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第一个用电低谷期的实际平均功率, $P_{\text{low-1}}^{\text{pile, avg}}$ 、 $P_{\text{low-1}}^{\text{buildings, avg}}$ 和 $P_{\text{low-1}}^{\text{Interrupt, avg}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第一个用电低谷期

的基准平均功率。 $P_{\text{low-2}}^{\text{pile}}$ 、 $P_{\text{low-2}}^{\text{buildings}}$ 和 $P_{\text{low-2}}^{\text{Interrupt}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第二个用电低谷期的实际平均功率, $P_{\text{low-2}}^{\text{pile, avg}}$ 、 $P_{\text{low-2}}^{\text{buildings, avg}}$ 和 $P_{\text{low-2}}^{\text{Interrupt, avg}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第二个用电低谷期的基准平均功率。 $P_{\text{high-1}}^{\text{pile}}$ 、 $P_{\text{high-1}}^{\text{buildings}}$ 和 $P_{\text{high-1}}^{\text{Interrupt}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第一个用电高峰期的实际平均功率, $P_{\text{high-1}}^{\text{pile, avg}}$ 、 $P_{\text{high-1}}^{\text{buildings, avg}}$ 和 $P_{\text{high-1}}^{\text{Interrupt, avg}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第一个用电高峰期的基准平均功率。 $P_{\text{high-2}}^{\text{pile}}$ 、 $P_{\text{high-2}}^{\text{buildings}}$ 和 $P_{\text{high-2}}^{\text{Interrupt}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第二个用电高峰期的实际平均功率, $P_{\text{high-2}}^{\text{pile, avg}}$ 、 $P_{\text{high-2}}^{\text{buildings, avg}}$ 和 $P_{\text{high-2}}^{\text{Interrupt, avg}}$ 分别为充电桩、空调系统和可中断负荷在第二个用电高峰期的基准平均功率。

[0110] 以 C_t^{curt} 表示t时刻虚拟电厂业主在削减负荷需求时支付给用户的总补偿费用。不同程度的负荷削减对用户有不同的影响;因此,根据实际负荷削减的程度对用户进行负荷削减补偿。所述 C_t^{curt} 表示为:

$$[0111] \quad C_t^{\text{curt}} = \sum_{m=1}^{l_m} (\xi_m^{\text{curt}} P_{m,t}^{\text{curt}})$$

[0112] 其中, $l_m \in \{1, 2, 3\}$ 是负荷削减的等级, ξ_m^{curt} 是第m级负荷削减的单位功率补偿价格, $P_{m,t}^{\text{curt}}$ 是t时刻第m级负荷削减的功率幅值。

[0113] 储能电池和充电桩电池损耗成本 C^{BATT} :

$$[0114] \quad C^{\text{BATT}} = \sum_{i=1}^{n_v^{\text{ESS}}} N_i^{\text{ESS}} \cdot C_i^{\text{ESS}} + \sum_{j=1}^{n_v^{\text{C}}} N_j^{\text{C}} \cdot C_j^{\text{C}}$$

[0115] 其中, n_v^{ESS} 为电池储能系统数量, C_i^{ESS} 为第i个电池储能系统的单次放电的平均损耗成本, N_i^{ESS} 为电网运行调度周期内电池储能系统的放电次数; n_v^{C} 为充电桩数量, C_j^{C} 为第j个充电桩内电池的单个放电平均损耗成本, N_j^{C} 为电网运行调度周期内第j个充电桩内电池的放电次数。

[0116] 分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本 C^{DG} :

$$[0117] \quad C^{\text{DG}} = \beta^{\text{DG}} \cdot \sum_{t=1}^T (P_t^{\text{DG}} - \alpha_t^{\text{DG}} \cdot P_t^{\text{DG}})$$

[0118] 其中, β^{DG} 表示分布式发电功率未能充分利用的惩罚系数; P_t^{DG} 为t时刻的分布式发电功率, α_t^{DG} 为t时刻分布式发电功率衰减因子;在 α_t^{DG} 满足:

$$[0119] \quad 0 \leq \alpha_t^{\text{DG}} \leq 1$$

[0120] 步骤1012:建立虚拟电厂聚合单元约束。

[0121] 空调系统约束:

[0122] 用户的舒适要求可使用平均投票指数 ε_{PMV} 来确定,为确保人体舒适度在可接受的范围内,将以下对的 ε_{PMV} 约束应用于空调系统的用能调节和控制过程:

$$[0123] \quad -0.5 \leq \varepsilon_{\text{PMV}} \leq 0.5$$

[0124] ε_{PMV} 与室内温度 θ_t^{in} 之间的关系满足:

$$[0125] \quad \varepsilon_{\text{PMV}} = \begin{cases} \sigma_1 \times (\theta_t^{\text{in}} - 26), & \theta_t^{\text{in}} \geq 26 \\ \sigma_2 \times (-\theta_t^{\text{in}} + 26), & \theta_t^{\text{in}} < 26 \end{cases}$$

[0126] 其中, σ_1 是满足 $\theta_t^{\text{in}} \geq 26$ 时的投票系数, σ_2 为满足 $\theta_t^{\text{in}} < 26$ 时的投票系数, θ_t^{in} 满足以下时变方程:

$$[0127] \quad \theta_t^{\text{in}} = e^{-\frac{\beta}{\alpha} \Delta t} T_{t-1}^{\text{in}} + \left(1 - e^{-\frac{\beta}{\alpha} \Delta t}\right) \left(\frac{\lambda_t}{\beta} - \frac{Q_t}{\beta}\right)$$

[0128] 参数 λ_t 满足

$$[0129] \quad \lambda_t = \sum K_{\text{wall}} A_{\text{wall}} (\theta_{\text{cl}} + \theta_d) + \sum G_{\text{win}} A_{\text{win}} K_d K_s K_{\text{cl}} + \sum K_{\text{win}} A_{\text{win}} \theta_t^{\text{out}} + 1000k_1 k_2 k_3 P_{\text{he}} + 1000k_4 k_5 k_6 k_7 P_{\text{le}} + F_{\text{cl}} n \phi G_{\text{sh}} + n K_{\text{user}} G_{\text{lh}} + 1.01 G^n \theta_t^{\text{out}} + 38.5 G^n$$

[0130] 参数 α 满足

$$[0131] \quad \beta = \sum K_{\text{wall}} A_{\text{wall}} + \sum K_{\text{win}} A_{\text{win}} + 1.01 G^n$$

[0132] 参数 β 满足

$$[0133] \quad \alpha = C_a V \rho_a + K_h A_{\text{in}}$$

[0134] 其中, K_{wall} 为楼宇外墙和屋顶的传热系数、 A_{wall} 为楼宇外墙和屋顶的总面积、 θ_{cl} 为楼宇外墙和屋顶的冷空气温度、 θ_d 是对 θ_{cl} 的校正温度。 G_{win} 为楼宇窗户的最大太阳热增益、 A_{win} 为楼宇窗户的总面积、 K_d 为楼宇窗户基于玻璃类型的校正系数、 K_s 为楼宇窗户与内遮阳措施相关的遮阳系数、 K_{cl} 为楼宇窗户的冷却负荷系数、 K_{win} 为楼宇窗户的传热系数、 θ_t^{out} 为t时刻室外温度。 k_1 为电热设备的装机系数、 k_2 为电热设备的负荷系数、 k_3 为电热设备的同时利用率、 P_{he} 为电热设备的装机功率。 k_4 为照明设备的同时使用率、 k_5 为照明设备的蓄热系数、 k_6 为照明设备的整流器耗电系数、 k_7 为照明设备的安装系数、 P_{le} 为照明设备的装机功率。 F_{cl} 是反映人体显热增益的冷负荷系数、 n 是楼宇中总人数、 K_{user} 是用户聚集系数; G_{sh} 是每个成年男性的显热增益、 G_{lh} 是每个成年男性的潜热增益,所有女性和儿童的显热增益、潜热增益都被等值转换为成年男性的显热增益、潜热增益。 G^n 是楼宇内的新风量、 C_a 是空气在恒定压力下的比热容、 V 是楼宇制冷空间体积、 ρ_a 是空气密度、 K_h 是内墙的蓄热系数、 A_{in} 是内墙的总面积。

[0135] 在t时刻,空调系统的总冷能 Q_t 满足:

$$[0136] \quad Q_t = Q_t^{\text{ch}} - Q_t^{\text{st}} + Q_t^{\text{re}}$$

[0137] 其中, Q_t^{ch} 表示t时刻制冷机的制冷能量、 Q_t^{st} 表示t时刻制冷机的冷凝器储存、 Q_t^{re} 表示t时刻制冷机的释放的冷能量。

[0138] 空调系统的其他约束:

$$[0139] \quad 0 \leq Q_t^{\text{ch}} \leq Q^{\text{ch,max}}$$

$$[0140] \quad 0 \leq Q_t^{\text{st}} \leq Q^{\text{st,max}}$$

$$[0141] \quad 0 \leq Q_t^{\text{re}} \leq Q^{\text{re,max}}$$

$$[0142] \quad 0 \leq S_t^c \leq S^{\text{c,max}}$$

$$[0143] \quad S_t^C = S_{t-1}^C + (Q_t^{\text{st}} \mu_{\text{st}} - Q_t^{\text{re}} / \mu_{\text{re}}) \Delta t$$

[0144] 其中, $Q^{\text{ch}, \max}$ 为制冷机产生的最大冷量, $Q^{\text{st}, \max}$ 为冷凝器储存的最大冷量, $Q^{\text{re}, \max}$ 为冷凝器释放的最大冷量, S_t^C 为空调系统在 t 时刻的冷能量, $S^{\text{C}, \max}$ 为空调系统冷凝器的冷能容量, μ_{st} 为冷凝器储存冷能的效率, μ_{re} 为冷凝器释放冷能的效率。空调系统 t 时刻的总耗电量 P_t^{cold} 主要是制冷机耗电量和冷凝器冷能蓄放过程的函数, 可表示为

$$[0145] \quad P_t^{\text{cold}} = Q_t^{\text{ch}} / \eta_{\text{ch}} + Q_t^{\text{st}} \eta_{\text{st}} + Q_t^{\text{re}} \eta_{\text{re}}$$

[0146] 其中, η_{ch} 为制冷机的制冷能量转换效率, η_{st} 为冷凝器存储冷能量的转换效率, η_{re} 为冷凝器释放冷能量的转换效率;

[0147] 储能系统约束:

$$[0148] \quad S_t^{\text{ESS}} = S_{t-1}^{\text{ESS}} + \eta_{\text{esc}} g_t^{\text{esc}} - g_t^{\text{esd}} / \eta_{\text{esd}}$$

$$[0149] \quad S^{\text{ESS}, \min} \leq S_t^{\text{ESS}} \leq S^{\text{ESS}, \max}$$

$$[0150] \quad 0 \leq g_t^{\text{esc}} \leq g^{\text{esc}, \max}$$

$$[0151] \quad 0 \leq g_t^{\text{esd}} \leq g^{\text{esd}, \max}$$

[0152] 其中, S_t^{BESS} 为 t 时刻储能系统存储的电能量, η_{esc} 为储能系统的充电效率, η_{esd} 为储能系统的放电效率, g_t^{esc} 为 t 时刻储能系统的充电功率, g_t^{esd} 为 t 时刻储能系统的放电功率, $S^{\text{BESS}, \max}$ 为储能系统允许存储的最大电能量, $S^{\text{BESS}, \min}$ 为储能系统允许存储的最小电能量, $g^{\text{esc}, \max}$ 为储能系统的最大充电功率, $g^{\text{esd}, \max}$ 为储能系统的最大放电功率。

[0153] 充电桩功率约束:

$$[0154] \quad S_t^C = S_{t-1}^C + \eta_{\text{C, esc}} g_t^{\text{C, esc}} - g_t^{\text{C, esd}} / \eta_{\text{C, esd}}$$

$$[0155] \quad S^{\text{C}, \min} \leq S_t^C \leq S^{\text{C}, \max}$$

$$[0156] \quad 0 \leq g_t^{\text{C, esc}} \leq g^{\text{C, esc}, \max}$$

$$[0157] \quad 0 \leq g_t^{\text{C, esd}} \leq g^{\text{C, esd}, \max}$$

$$[0158] \quad g_t^{\text{C, esc}} \leq g_t^C \leq g^{\text{C}, \max}$$

[0159] 其中, S_t^C 为 t 时刻充电桩内电池存储的电能, $\eta_{\text{C, esc}}$ 为充电桩内电池的充电效率, $\eta_{\text{C, esd}}$ 为充电桩内电池的放电效率, $g_t^{\text{C, esc}}$ 为 t 时刻充电桩内电池的充电功率, $g_t^{\text{C, esd}}$ 为 t 时刻充电桩内电池的放电功率, $S^{\text{C}, \max}$ 为充电桩内电池中允许存储的最大电能, $S^{\text{C}, \min}$ 为充电桩内电池中允许存储的最小电能, $g^{\text{C, esc}, \max}$ 为充电桩内电池的最大充电功率, $g^{\text{C, esd}, \max}$ 为充电桩内电池的最大放电功率, g_t^C 为充电桩在 t 时刻的放电功率, $g^{\text{C}, \max}$ 为充电桩的最大放电功率。

[0160] 可中断负荷约束:

$$[0161] \quad 0 \leq P_{m,t}^{\text{curt}} \leq k_m^{\text{curt}} P_t^{\text{load}}$$

$$[0162] \quad P_t^{\text{curt}} = \sum_{m=1}^{l_m} P_{m,t}^{\text{curt}}$$

$$[0163] \quad P_{t-1}^{\text{curt}} + P_t^{\text{curt}} \leq P^{\text{curt}, \max}$$

[0164] 其中, k_m^{curt} 为第m级负荷的功率削减系数, P_t^{load} 为t时刻的不可控负荷和可中断负荷之和, $I_{m,t}^{\text{curt}}$ 为t时刻的负荷功率削减幅度, $A^{\text{curt}, \text{max}}$ 为连续时间内的最大负荷功率削减幅度; $P_{t-1}^{\text{curt}} + P_t^{\text{curt}} \leq P^{\text{curt}, \text{max}}$ 用于避免连续时间内因减载幅度过大而导致用户满意度下降。

[0165] 向电网出售和购买电能的功率限制:

$$[0166] \quad 0 \leq P_t^{\text{BUY}} \leq P^{\text{BUY}, \text{max}}$$

$$[0167] \quad 0 \leq P_t^{\text{SEL}} \leq P^{\text{SEL}, \text{max}}$$

[0168] 式中, $P^{\text{SEL}, \text{max}}$ 是销售给电网的最大电功率, $P^{\text{BUY}, \text{max}}$ 是从电网购买的最大电功率。

[0169] 能量平衡约束:

$$[0170] \quad P_t^{\text{SEL}} + g_t^{\text{esc}} + g_t^{\text{C}} + P_t^{\text{load}} - P_t^{\text{curt}} + P_t^{\text{cold}} = P_t^{\text{BUY}} + \alpha_t^{\text{PV}} \cdot P_t^{\text{DG}} + g_t^{\text{esd}} + g_t^{\text{C, esd}}$$

[0171] 其中, P_t^{DG} 是在t时刻的分布式发电功率。

[0172] 步骤102:提出虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分策略。

[0173] 在本实施例中,可选的,参照2021年制定的《广州市虚拟电厂实施细则》和《广西电力市场化需求响应实施方案》,提出虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商需求响应表现评分策略,具体如下:

[0174] 当实际需求响应功率小于期望需求响应功率的50%时,评分为0;

[0175] 当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[50%, 75%)时,评分为0.5;

[0176] 当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[75%, 90%)或不低于120%时,评分为0.8;

[0177] 当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[90%, 120%)时,评分为1。

[0178] 步骤103:对电力用户、负荷聚合商进行需求响应表现评分,包括步骤S1031-S1032,具体如下:

[0179] 步骤S1031:求解虚拟电厂能量调度模型,如图2所示,获得日前能量调度结果;

[0180] 步骤S1032:根据需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应表现评分。

[0181] 步骤104:确定参与需求响应参与优先级。

[0182] 在本实施例中,可选的,步骤104具体包括步骤1041至步骤1043,各步骤如下:

[0183] 步骤1041:根据对电力用户、负荷聚合商需求响应表现的评分,对电力用户、负荷聚合商按照评分从高到底排序;

[0184] 步骤1042:当电力用户、负荷聚合商的评分相同时,根据同一需求响应时段所能提供的功率值大小对电力用户、负荷聚合商排序;

[0185] 步骤1043:根据对电力用户、负荷聚合商的排序,确定需求响应参与优先级。

[0186] 实施本发明实施例,对需求响应有效评估,实现对虚拟电厂负荷的最优日前调度,便于激励电力用户、负荷聚合商更加积极的参与需求响应,节约能源。

[0187] 实施本发明实施例,将虚拟电厂能量调度的目标定义为购售电费用差、需求响应功率未得到满足的惩罚成本、需求响应补偿费用、储能电池与充电桩电池损耗成本、分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本之和最小,集成分布式发电、储能系统、负荷端灵活性资

源的模型及其约束和可中断负荷约束、不可控负荷、能量调度目标,建立考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型;当实际需求响应功率小于期望需求响应功率的50%时,评分为0,当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[50%,75%)时,评分为0.5,当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[75%,90%)或不低于120%时,评分为0.8,当实际需求响应功率与期望需求响应功率之比位于区间[90%,120%)时,评分为1;求解虚拟电厂能量调度模型,获得日前能量调度结果,根据需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应表现评分;根据电力用户、负荷聚合商需求响应表现的评分,对电力用户、负荷聚合商按照评分从高到底排序;当电力用户、负荷聚合商的评分相同时,根据同一需求响应时段所能提供的功率值大小对电力用户、负荷聚合商排序;根据对电力用户、负荷聚合商的排序,确定需求响应参与优先级。

[0188] 实施例二

[0189] 相应地,参见图3,图3是本发明提供的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度装置的实施例二的结构示意图。如图3所示,装置用于实现考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法,包括:能量调度建模模块301、能量调度模块302、需求响应表现评分模块303和需求响应参与优先级确定模块304;

[0190] 其中,能量调度建模301搭建考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度模型,将虚拟电厂能量调度的目标定义为购售电费用差、需求响应功率未得到满足的惩罚成本、需求响应补偿费用、储能电池与充电桩电池损耗成本、分布式发电功率未能充分利用的惩罚成本之和最小;

[0191] 能量调度模块302求解虚拟电厂能量调度模型,获得日前能量调度结果;

[0192] 需求响应表现评分模块303根据日前能量调度结果和需求响应评分策略对虚拟电厂的电力用户、负荷聚合商进行需求响应表现评分;

[0193] 需求响应参与优先级确定模块304根据电力用户、负荷聚合商需求响应表现的评分,确定需求响应参与优先级。

[0194] 本发明实施例所构建考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度装置,有助于提升灵活性资源的可调度电能的利用效率,且可进一步引导优化用电负荷、缓解电网运行压力。

[0195] 上述的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度装置可实施上述方法实施例的考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法。上述方法实施例中的可选项也适用于本实施例,这里不再详述。本申请实施例的其余内容可参照上述方法实施例的内容,在本实施例中,不再进行赘述。

[0196] 本发明克服的难题:1)对需求响应高度变化性的高效应对问题;2)多源能量的高效协调优化问题;3)系统在实时监测市场价格、电价预测和需求的前提下,如何在多个变量之间做出最佳决策并获得最大经济效益问题。

[0197] 本发明通过采用前述方案步骤,有效解决以上难题,实现以下目的和效益:1)高效能量利用:虚拟电厂能够根据实际需求和能源供应情况进行精确调度,实现能量的最优分配,从而提高能源利用效率。2)电网稳定性:通过有效的能量调度和多能源协调,能够平衡电网负荷,减少峰谷差距,降低电网的压力,提高电网的稳定性和可靠性。3)需求响应和弹性:能够快速适应能源市场的变化和用户需求的波动,实现灵活的能量调度,支持需求响应

和电网的弹性运行。4) 环境友好:通过优化可再生能源的利用,可以减少对传统化石燃料的依赖,降低温室气体排放,从而减少环境影响。5) 经济效益:通过参与能源市场,可以根据市场需求和电价波动来优化能量调度,最大限度地提高经济效益。

[0198] 综上所述,考虑需求响应有效评估的虚拟电厂能量调度方法及系统通过解决多样化的能源调度难题,实现了高效的能量分配、电网稳定性、环境友好性和经济效益,为可持续能源未来的发展提供有力的支持。

[0199] 以上的具体实施例,对本发明的目的、技术方案和有益效果进行了进一步的详细说明,应当理解,以上仅为本发明的具体实施例,并不用于限定本发明保护范围。特别指出,对于本领域技术人员来说,凡在本发明的精神和原则之内,所做的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

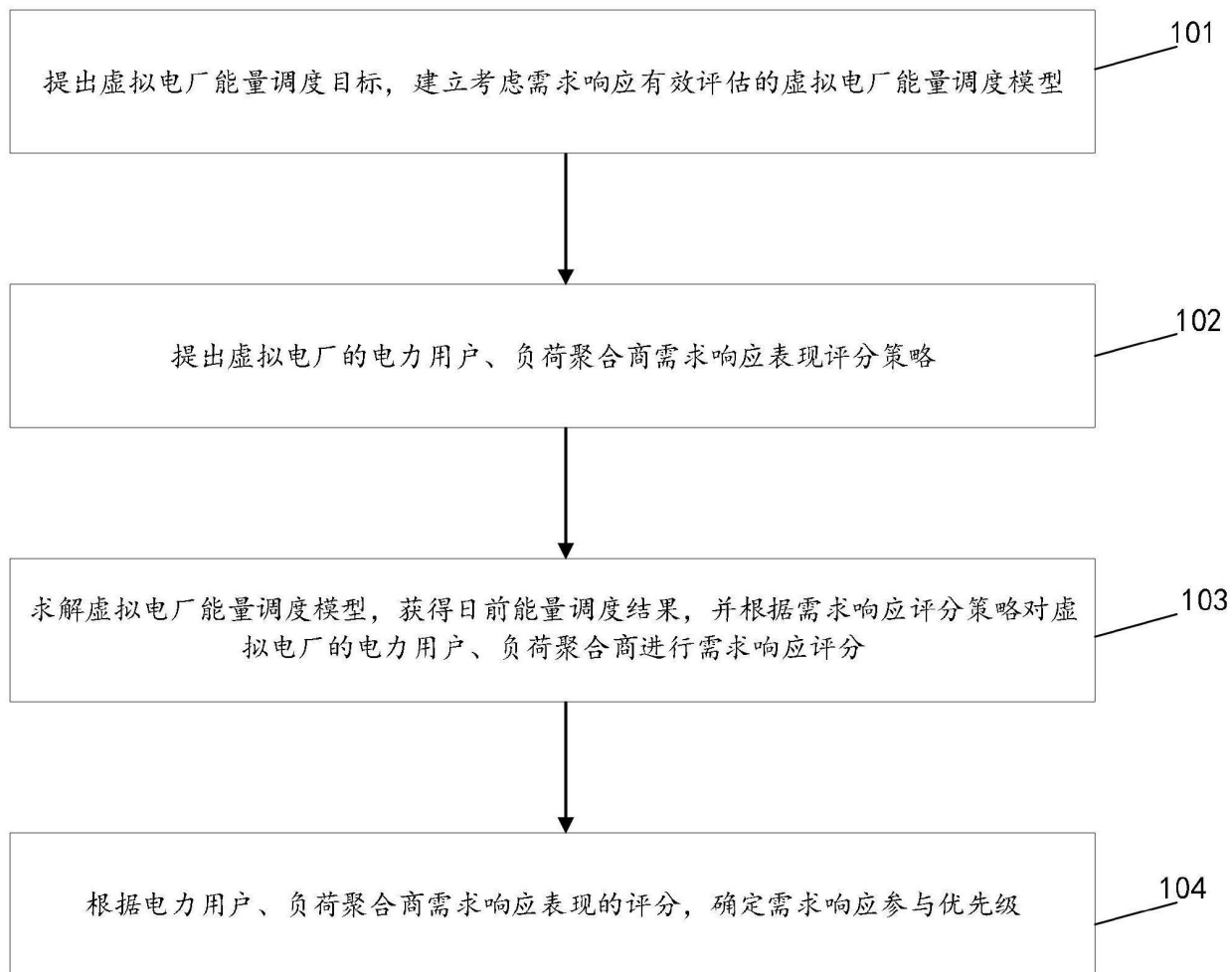


图1

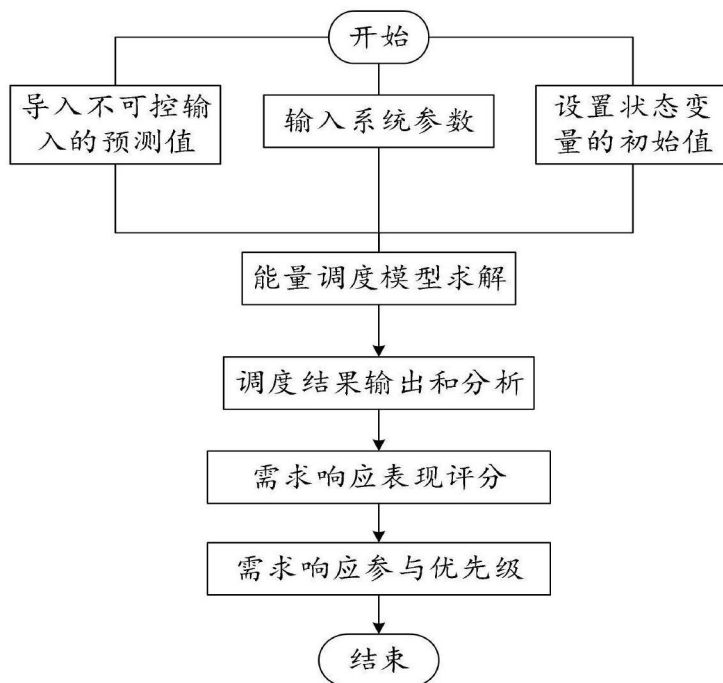


图2

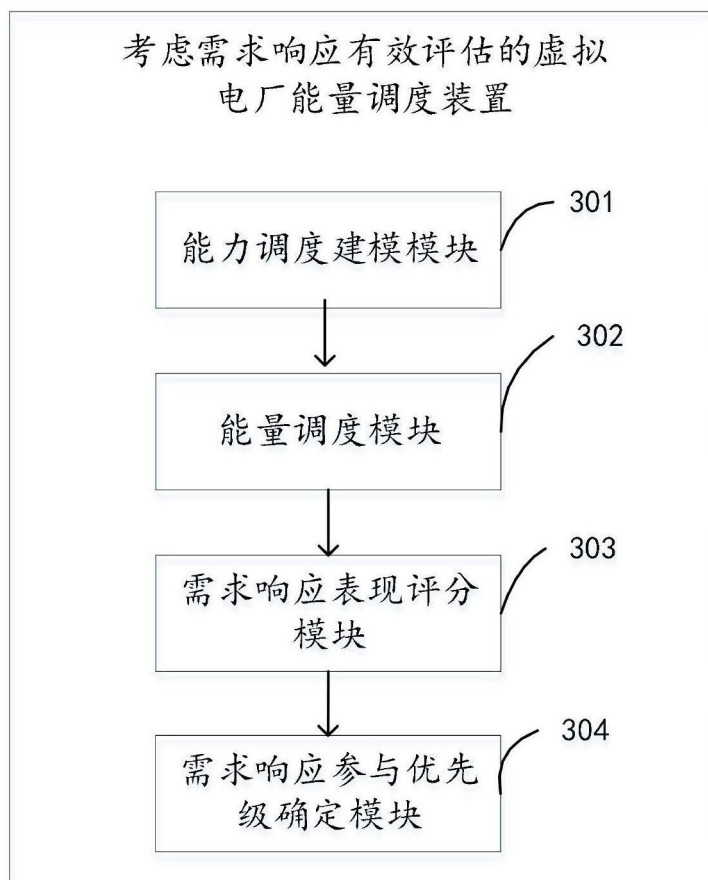


图3