



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 112886602 A

(43) 申请公布日 2021.06.01

(21) 申请号 202110051234.9

(22) 申请日 2021.01.14

(71) 申请人 华南理工大学

地址 510640 广东省广州市天河区五山路  
381号

(72) 发明人 朱翰鑫 余涛

(74) 专利代理机构 广州粤高专利商标代理有限  
公司 44102

代理人 何淑珍 江裕强

(51) Int. Cl.

H02J 3/14 (2006.01)

H02J 3/32 (2006.01)

H02J 3/38 (2006.01)

G06N 3/12 (2006.01)

权利要求书3页 说明书7页 附图4页

(54) 发明名称

一种双阶段家庭能量管理系统调度优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,包括以下步骤:S1、构建家庭能量管理系统;S2、根据家庭基本负荷对使用时间是否具有弹性,即负荷使用是否是用户刚性需求将负荷分为可转移类负荷以及不可转移类负荷,以此建立负荷模型,并根据可转移类负荷调控的特性定义用户用电满意度;S3、建立光伏发电模型以及蓄电池模型;S4、建立光伏能量调度优化模型作为第一阶段优化;S5、根据第一阶段优化结果进行第二阶段的多目标优化;S6、处理两阶段优化调度模型的优化问题,获得理想帕累托前沿,并选取平衡各目标优化效果的择中解作为无偏见的最优解;S7、根据所求最优解对家庭能量管理系统进行优化调度。



1. 一种双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1、构建家庭能量管理系统;

步骤S2、根据家庭基本负荷对使用时间是否具有弹性,即负荷使用是否是用户刚性需求将负荷分为可转移类负荷以及不可转移类负荷,以此建立负荷模型,并根据可转移类负荷调控的特性定义用户用电满意度;

步骤S3、建立光伏发电模型以及蓄电池模型;

步骤S4、建立光伏能量调度优化模型作为第一阶段优化;

步骤S5、根据第一阶段优化结果进行第二阶段的多目标优化;

步骤S6、处理两阶段优化调度模型的优化问题,获得理想帕累托前沿,并选取平衡各目标优化效果的择中解作为无偏见的最优解;

步骤S7、根据所求最优解对家庭能量管理系统进行优化调度。

2. 根据权利要求1所述的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,所述家庭能量管理系统充分考虑源、储、荷的相互配合,具体包括分布式分布式电源和储能电源,所述分布式电源包括光伏,储能电源包括蓄电池。

3. 根据权利要求2所述的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,家庭具有源、储、荷完整设备,其中负荷根据其对时间是否具有弹性分为不可转移类负荷以及可转移类负荷,不可转移类负荷对时间不具有弹性,用固定负荷表示,表达式如下:

$$\begin{cases} P^c = x_i^c P^{c, \text{rated}} \\ E^c = P^{c, \text{rated}} d^c \end{cases}$$

其中c为不可转移类负荷, $P^{c, \text{rated}}$ 为负荷额定功率, $x_i^c$ 为工作状态, $d^c$ 为总工作时间, $P^c$ 为实时功率, $E^c$ 为总用电量;

对可转移负荷调控,根据模糊理论建立用户满意度如下:

$$C_s(t) = \begin{cases} \frac{H(t - t_{mi,s})}{h_{e,s} - t_{mi,s}}, t \notin F_s, t < h_{e,s} \\ 1, t \in F_s \\ \frac{H(t - t_{mx,s} + T_s)}{h_{l,s} - t_{mx,s}}, t \notin F_s, t > h_{l,s} - T_s \end{cases}$$

其中, $C_s(t)$ 为用户用户t时刻的满意度, $H(\cdot)$ 为阶梯函数, $F_s$ 为负荷的用户偏好使用区间, $t_{mi,s}$ 、 $t_{mx,s}$ 分别为负荷可参与调控的区间起始值与终止值, $h_{e,s}$ 、 $h_{l,s}$ 分别为用户偏好使用区间的起始值和终止值,t表示时间; $T_s$ 为可转移负荷参与调控的时间。

4. 根据权利要求3所述的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,所述光伏发电模型的参数包括:光伏输出功率、标准情况下光伏发电输出功率最大值、电池板接收太阳光强度、标准条件下电池板接收太阳光的最大强度、光伏系统温度系数、环境温度、标准条件下的环境温度;所述蓄电池模型的参数包括蓄电池充电功率、蓄电池放电功率、蓄电池充电状态、蓄电池放电状态、蓄电池充电效率、蓄电池放电效率。

5. 根据权利要求4所述的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,所述光伏发电模型如下:

$$P_{pv}(k) = P_{pv,src} \frac{K(k)}{K_{src}} \{1 + \varepsilon_{pv} [T(k) - T_{src}]\}$$

$P_{pv}(k)$  为k调度时刻的功率输出值,  $P_{pv,src}$  为标准状态下功率输出最大值,  $K(k)$  为太阳光强度,  $K_{src}$  为标准状态下太阳光最大强度,  $\varepsilon_{pv}$  为系统温度系数,  $T(k)$  为环境温度,  $T_{src}$  为标准状态环境温度;

所述蓄电池模型如下:

$$\begin{cases} P_{Batt}(t) = s_{ch}(t)P_{Batt,ch}(t) - s_{dch}(t)P_{Batt,dch}(t) \\ s_{ch}(t) + s_{dch}(t) \leq 1 \quad s_{ch}(t), s_{dch}(t) \in \{0,1\} \end{cases}$$

其中  $P_{Batt,ch}(t)$  为电池充电功率,  $P_{Batt,dch}(t)$  为电池放电功率,  $s_{ch}(t)$ 、 $s_{dch}(t)$  分别是电池的充放电状态,  $P_{Batt}(t)$  为t时刻蓄电池的功率。

6. 根据权利要求5所述的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,第一阶段优化蓄电池不参与调控,获得光伏优化得到家庭负荷的分布情况;

第一阶段优化目标包括家庭能量效益最大、光伏消纳率最大、保证用户满意度;

家庭能量效益如下:

$$\begin{cases} f_{all} = \left\{ \sum_{k=1}^n [P_{pv}^k p_{pv}^k + \eta^k P_e^k p_e^k + \mu^k (P_r^k - P_{load}^k) p_r^k] \times \Delta t \right\} \\ P_{load}^k = P_c^k + P_s^k \end{cases}$$

式中:  $P_{pv}^k$  为的光伏功率输出值;  $p_{pv}^k$  为光伏发电补偿价格;  $P_e^k$ 、 $p_e^k$  分别为光伏馈电功率值和补偿价格;  $P_r^k$ 、 $p_r^k$  分别为光伏消纳功率及电网电价;  $P_{load}^k$  为负荷总功率;  $\eta^k$ 、 $\mu^k$  分别为馈电状态和购电状态,  $f_{all}$  为家庭能量总收益;  $\Delta t$  为最小时间段;  $P_c^k$ 、 $P_s^k$  分别为不可转移负荷及可转移负荷的功率值;  $n$  为光伏个数;

光伏消纳率表征的是系统负荷消纳光伏发电量的能力:

$$U_{pv} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{pv}^k}{\sum_{k=1}^n P_{pv}^k \Delta t}$$

$U_{pv}^k$  为k调度时刻光伏发电被消纳的电量,  $U_{pv}$  为光伏消纳率;

用户满意度用下式表示:

$$S_{load} = \sum_{s=1}^m C_s(t)$$

即每个可转移负荷的满意度构成总体用户满意度,  $C_s(t)$  为用户t时刻的满意度,  $m$  为可转移负荷的个数;

多目标模型目标函数为:

$$\max \{f_{all}, U_{pv}, S_{load}\}$$

第一阶段优化目标函数满足常规约束,即家庭能量系统有功功率平衡约束。

7. 根据权利要求6所述的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,所述第二阶段采用蓄电池能量调度优化模型进行优化;第二阶段的优化目标为家庭能量效益最大和光伏消纳率;

在第二阶段优化调度中,蓄电池的使用成本因其参与调度频繁开关必须考虑在内,则家庭能量收益模型如下:

$$\begin{cases} F_s = \frac{F_B (SOC_{\max} - SOC_{\min})}{C_B} \\ f_B = \sum_{k=1}^{n_B} ((1 - x_B^k) P_{B,dch}^k P_B^k - x_B^k P_{B,ch}^k P_{B,ch}^k) - n_B F_s \\ P_{B,ch}^k = \begin{cases} p_r^k & \Delta P_{PV}^k < 0 \\ p_e^k & \Delta P_{PV}^k > 0 \end{cases} \end{cases}$$

其中, $F_s$ 为每次切换蓄电池状态的耗损成本, $F_B$ 为蓄电池使用寿命耗尽的更换成本, $C_B$ 为蓄电池额定切换状态次数, $f_B$ 为蓄电池参与调度获得的收益; $x_B^k$ 为0-1变量,代表蓄电池的充放电状态, $P_{B,ch}^k$ 、 $P_{B,dch}^k$ 分别为蓄电池充放电功率值, $P_B^k$ 、 $P_{B,ch}^k$ 分别为蓄电池放电补偿电价及充电电价, $SOC_{\max}$ 、 $SOC_{\min}$ 分别为蓄电池最大、最小荷电量; $n_B$ 为调度周期内蓄电池充放电切换次数; $\Delta P_{PV}^k$ 表示电池放电量;

多目标模型为:

$$\max \{f_B, U_{PV}\}$$

第二阶段优化模型除了满足家庭能量系统有功功率平衡约束外,还应满足蓄电池调度周期内的充放电平衡约束,即调度周期初始蓄电池状态与调度周期结束后蓄电池状态相同。

8. 根据权利要求7所述的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,每阶段优化模型均为多目标模型,采用基于精英策略的非支配排序遗传算法得到理想帕累托前沿,为了平衡各优化目标优化效果,选取最优择中解作为无偏见的最优解。

9. 根据权利要求8所述的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,其特征在于,根据所求最优解对家庭能量管理系统进行优化调度,包括对光伏以及蓄电池的优化调度。

## 一种双阶段家庭能量管理系统调度优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及家庭能量管理领域,特别是涉及一种双阶段家庭能量管理系统调度优化方法。

### 背景技术

[0002] 随着现代社会对节能可持续发展的要求越来越高,家庭能量管理系统的研究也日益深入。发展完善家庭能量管理系统,不仅为智能用电技术提供实践配合载体,也为电力需求侧管理提供重要手段。家庭能量管理系统可实现用户侧分布式电源,储能设备以及负荷的优化调度配合,节约家庭耗用能源,有利于实现对家庭电能的科学管理。

[0003] 而在实际家庭用户日常用电中,实时电价因其具有更合理电价分布以及对需求侧响应的潜力的灵活挖掘已被欧美国家逐步采用。现有家庭能量管理系统多未考虑实时电价,且多忽略源、储、荷的相互协调配合,满足不了用户对减少用能成本,提高用电收益的期望。同时现有优化策略多只考虑用能成本,忽略了部分负荷的调度对用户造成的影响,因此除考虑用户用能成本外,还应考虑用户舒适度,将单目标模型改进为多目标模型,在此基础上进行优化,实现更科学的家庭用电,也顺应了电力需求侧管理的要求。

[0004] 因此,如何基于实时电价的基础,充分开发源、储、荷之间的协调配合能力,构建更完善的家庭管理系统模型并完善其优化调度策略,成为了一个不可回避亟需解决的问题。

### 发明内容

[0005] 为了解决上述问题,本发明提出一种双阶段家庭能量管理系统调度优化方法。

[0006] 本发明至少通过如下技术方案之一实现。

[0007] 一种双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,包括以下步骤:

[0008] 步骤S1、构建家庭能量管理系统;

[0009] 步骤S2、根据家庭基本负荷对使用时间是否具有弹性,即负荷使用是否是用户刚性需求将负荷分为可转移类负荷以及不可转移类负荷,以此建立负荷模型,并根据可转移类负荷调控的特性定义用户用电满意度;

[0010] 步骤S3、建立光伏发电模型以及蓄电池模型;

[0011] 步骤S4、建立光伏能量调度优化模型作为第一阶段优化;

[0012] 步骤S5、根据第一阶段优化结果进行第二阶段的多目标优化;

[0013] 步骤S6、处理两阶段优化调度模型的优化问题,获得理想帕累托前沿,并选取平衡各目标优化效果的择中解作为无偏见的最优解;

[0014] 步骤S7、根据所求最优解对家庭能量管理系统进行优化调度。

[0015] 优选的,所述家庭能量管理系统充分考虑源、储、荷的相互配合,具体包括分布式分布式电源和储能电源,所述分布式电源包括光伏,储能电源包括蓄电池。

[0016] 优选的,家庭具有源、储、荷完整设备,其中负荷根据其时间是否具有弹性分为不可转移类负荷以及可转移类负荷,不可转移类负荷对时间不具有弹性,用固定负荷表示,

表达式如下：

$$[0017] \quad \begin{cases} P^c = x_i^c P^{c, \text{rated}} \\ E^c = P^{c, \text{rated}} d^c \end{cases}$$

[0018] 其中c为不可转移类负荷,  $P^{c, \text{rated}}$ 为负荷额定功率,  $x_i^c$ 为工作状态,  $d^c$ 为总工作时间,  $P^c$ 为实时功率,  $E^c$ 为总用电量;

[0019] 对可转移负荷调控,根据模糊理论建立用户满意度如下:

$$[0020] \quad C_s(t) \begin{cases} \frac{H(t-t_{mi,s})}{h_{e,s}-t_{mi,s}}, t \notin F_s, t < h_{e,s} \\ 1, t \in F_s \\ \frac{H(t-t_{mx,s}+T_s)}{h_{l,s}-t_{mx,s}}, t \notin F_s, t > h_{l,s}-T_s \end{cases}$$

[0021] 其中,  $C_s(t)$ 为用户用户t时刻的满意度,  $H(\cdot)$ 为阶梯函数,  $F_s$ 为负荷的用户偏好使用区间,  $t_{mi,s}$ 、 $t_{mx,s}$ 分别为负荷可参与调控的区间起始值与终止值,  $h_{e,s}$ 、 $h_{l,s}$ 分别为用户偏好使用区间的起始值和终止值,  $t$ 表示时间;  $T_s$ 为可转移负荷参与调控的时间。

[0022] 优选的,所述光伏发电模型的参数包括:光伏输出功率、标准情况下光伏发电输出功率最大值、电池板接收太阳光强度、标准条件下电池板接收太阳光的最大强度、光伏系统温度系数、环境温度、标准条件下的环境温度;所述蓄电池模型的参数包括蓄电池充电功率、蓄电池放电功率、蓄电池充电状态、蓄电池放电状态、蓄电池充电效率、蓄电池放电效率。

[0023] 优选的,所述光伏发电模型如下:

$$[0024] \quad P_{pv}(k) = P_{pv,src} \frac{K(k)}{K_{src}} \left\{ 1 + \varepsilon_{pv} [T(k) - T_{src}] \right\}$$

[0025]  $P_{pv}(k)$ 为k调度时刻的功率输出值,  $P_{pv,src}$ 为标准状态下功率输出最大值,  $K(k)$ 为太阳光强度,  $K_{src}$ 为标准状态下太阳光最大强度,  $\varepsilon_{pv}$ 为系统温度系数,  $T(k)$ 为环境温度,  $T_{src}$ 为标准状态环境温度;

[0026] 所述蓄电池模型如下:

$$[0027] \quad \begin{cases} P_{Batt}(t) = s_{ch}(t)P_{Batt,ch}(t) - s_{dch}(t)P_{Batt,dch}(t) \\ s_{ch}(t) + s_{dch}(t) \leq 1 \quad s_{ch}(t), s_{dch}(t) \in \{0, 1\} \end{cases}$$

[0028] 其中 $P_{Batt,ch}(t)$ 为电池充电功率,  $P_{Batt,dch}(t)$ 为电池放电功率,  $s_{ch}(t)$ 、 $s_{dch}(t)$ 分别是电池的充放电状态,  $P_{Batt}(t)$ 为t时刻蓄电池的功率。

[0029] 优选的,第一阶段优化蓄电池不参与调控,获得光伏优化得到家庭负荷的分布情况;

[0030] 第一阶段优化目标包括家庭能量效益最大、光伏消纳率最大、保证用户满意度;

[0031] 家庭能量效益如下:

$$[0032] \quad \begin{cases} f_{\text{all}} = \left\{ \sum_{k=1}^n [P_{\text{PV}}^k p_{\text{PV}}^k + \eta^k P_e^k p_c^k + \mu^k (P_r^k - P_{\text{load}}^k) p_r^k] \times \Delta t \right\} \\ P_{\text{load}}^k = P_c^k + P_s^k \end{cases}$$

[0033] 式中： $P_{\text{PV}}^k$ 为的光伏功率输出值； $p_{\text{PV}}^k$ 为光伏发电补偿价格； $P_e^k$ 、 $p_c^k$ 分别为光伏馈电功率值和补偿价格； $P_r^k$ 、 $p_r^k$ 分别为光伏消纳功率及电网电价； $P_{\text{load}}^k$ 为负荷总功率； $\eta^k$ 、 $\mu^k$ 分别为馈电状态和购电状态， $f_{\text{all}}$ 为家庭能量总收益； $\Delta t$ 为最小时间段； $P_c^k$ 、 $P_s^k$ 分别为不可转移负荷及可转移负荷的功率值； $n$ 为光伏个数；

[0034] 光伏消纳率表征的是系统负荷消纳光伏发电量的能力：

$$[0035] \quad U_{\text{PV}} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{\text{PV}}^k}{\sum_{k=1}^n P_{\text{PV}}^k \Delta t}$$

[0036]  $U_{\text{PV}}^k$ 为 $k$ 调度时刻光伏发电被消纳的电量， $U_{\text{PV}}$ 为光伏消纳率；

[0037] 用户满意度用下式表示：

$$[0038] \quad S_{\text{load}} = \sum_{s=1}^m C_s(t)$$

[0039] 即每个可转移负荷的满意度构成总体用户满意度， $C_s(t)$ 为用户 $t$ 时刻的满意度， $m$ 为可转移负荷的个数；

[0040] 多目标模型目标函数为：

$$[0041] \quad \max \{f_{\text{all}}, U_{\text{PV}}, S_{\text{load}}\}$$

[0042] 第一阶段优化目标函数满足常规约束，即家庭能量系统有功功率平衡约束。

[0043] 优选的，所述第二阶段采用蓄电池能量调度优化模型进行优化；第二阶段的优化目标为家庭能量效益最大和光伏消纳率；

[0044] 在第二阶段优化调度中，蓄电池的使用成本因其参与调度频繁开关必须考虑在内，则家庭能量收益模型如下：

$$[0045] \quad \begin{cases} F_s = \frac{F_B (SOC_{\text{max}} - SOC_{\text{min}})}{C_B} \\ f_B = \sum_{k=1}^{n_B} ((1 - x_B^k) P_{B,dch}^k p_B^k - x_B^k P_{B,ch}^k p_{B,ch}^k) - n_B F_s \\ p_{B,ch}^k = \begin{cases} p_r^k & \Delta P_{\text{PV}}^k < 0 \\ p_e^k & \Delta P_{\text{PV}}^k > 0 \end{cases} \end{cases}$$

[0046] 其中， $F_s$ 为每次切换蓄电池状态的耗损成本， $F_B$ 为蓄电池使用寿命耗尽的更换成本， $C_B$ 为蓄电池额定切换状态次数， $f_B$ 为蓄电池参与调度获得的收益； $x_B^k$ 为0-1变量，代表蓄电池的充放电状态， $P_{B,ch}^k$ 、 $P_{B,dch}^k$ 分别为蓄电池充放电功率值， $p_B^k$ 、 $p_{B,ch}^k$ 分别为蓄电池放电补偿电价及充电电价， $SOC_{\text{max}}$ 、 $SOC_{\text{min}}$ 分别为蓄电池最大、最小荷电量； $n_B$ 为调度周期内蓄电池充放电切换次数； $\Delta P_{\text{PV}}^k$ 表示电池放电量；

[0047] 多目标模型为：

[0048]  $\max \{f_B, U_{PV}\}$

[0049] 第二阶段优化模型除了满足家庭能量系统有功功率平衡约束外,还应满足蓄电池调度周期内的充放电平衡约束,即调度周期初始蓄电池状态与调度周期结束后蓄电池状态相同。

[0050] 优选的,每阶段优化模型均为多目标模型,采用基于精英策略的非支配排序遗传算法得到理想帕累托前沿,为了平衡各优化目标优化效果,选取最优择中解作为无偏见的最优解。

[0051] 优选的,根据所求最优解对家庭能量管理系统进行优化调度,包括对光伏以及蓄电池的优化调度。

[0052] 上述双阶段家庭能量管理系统调度优化方法通过采用基于精英策略的非支配排序遗传算法(NSGA-II)来对新构建的双阶段家庭能量管理系统进行优化调度。首先根据模糊理论定义了家庭用户满意度指标,然后根据家庭能量调度优化的多个目标,包括家庭能量收益最大,光伏消纳率最大,用户满意度最大等构建多目标优化模型。根据蓄电池储能优化调控需要预先获得光伏优化后的家庭负荷分布情况这一问题,利用模型优化的手段将该多目标家庭能量管理系统模型割分为双阶段优化模型,首先第一阶段不考虑蓄电池参与优化光伏参与负荷分布过程,第二阶段在第一阶段负荷分布基础上对蓄电池储能进行优化。采用算法NSGA-II处理该多目标优化问题得到帕累托(Parato)解集,并用最优择中解选取最优解,使得最优解平衡各优化目标的优化效果。所得结果可作为家庭能源管理系统优化调度的理论依据,包括指导制定光伏及蓄电池的调度方案。

[0053] 本发明相对于现有技术具有如下的优点及效果:

[0054] (1) 本发明的双阶段家庭能量管理系统充分考虑源、储、荷之间的协调配合,并且模型建立基于实时电价,相比其他模型更加符合实际发展趋势。

[0055] (2) 本发明的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,除考虑传统的用能费用最低以外,还考虑了用户满意度,光伏消纳率等指标。其中用户满意度的定义基于模糊理论,结合模型对负荷分类,用户满意度较完整描述了用户对负荷调控的接受程度。

[0056] (3) 本发明的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法,双阶段模型均为多目标模型,采用NSGA-II算法来进行处理,对比其他算法可较快获得该模型较为理想的帕累托前沿,同时考虑平衡多目标优化效果,选取最优择中解作为无偏见的最优解。

## 附图说明

[0057] 图1为本实施例的双阶段家庭能量管理系统调度优化方法的具体流程图;

[0058] 图2为本实施例家庭能量管理系统架构图;

[0059] 图3为本实施例实时电价示意图;

[0060] 图4为本实施例双阶段家庭能量管理系统优化调度模型求解流程图。

## 具体实施方式

[0061] 为使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚、明确,以下结合附图并举实施例对本发明作进一步详细描述。

[0062] 如图1、图2、图3、图4,本发明的一个实施方式提供一种双阶段家庭能量管理系统



调度优化方法。该实施方式主要以家庭中光伏电源、蓄电池以及用电负荷为研究对象,对各对象进行分类建模,通过对光伏电源、蓄电池与用电负荷的协调配合进行家庭能量管理。该双阶段家庭能量管理系统调度优化方法包括以下步骤:

[0063] 步骤S110、构建用户侧家庭能量管理系统如图2,分布式能源以光伏发电为代表,储能设备以蓄电池为代表。光伏发电可给家庭用户负荷功能,蓄电池能对多余电能进行存储。

[0064] 步骤S120、根据家庭负荷对时间是否有弹性性质进行分类,构造家庭负荷用电模型,并基于模糊理论对弹性负荷进行用户满意度定义。家庭负荷可分为不可转移类负荷和可转移类负荷。不可转移类负荷对时间不具有弹性,一般为固定负荷,表达式如下:

$$[0065] \quad \begin{cases} P^c = x_i^c P^{c, \text{rated}} \\ E^c = P^{c, \text{rated}} d^c \end{cases}$$

[0066] 其中c为不可转移类负荷, $P^{c, \text{rated}}$ 为负荷额定功率, $x_i^c$ 为工作状态, $d^c$ 为总工作时间, $P^c$ 为实时功率, $E^c$ 为总用电量;

[0067] 对可转移负荷调控考虑其用户满意度,根据模糊理论建立用户满意度如下:

$$[0068] \quad C_s(t) \begin{cases} \frac{H(t-t_{mi,s})}{h_{e,s}-t_{mi,s}}, t \notin F_s, t < h_{e,s} \\ 1, t \in F_s \\ \frac{H(t-t_{max,s}+T_s)}{h_{l,s}-t_{mx,s}}, t \notin F_s, t > h_{l,s}-T_s \end{cases}$$

[0069]  $H(\cdot)$ 为阶梯函数, $F_s$ 为负荷的用户偏好使用区间, $t_{mi,s}$ 、 $t_{mx,s}$ 分别为负荷可参与调控的区间起始值与终止值, $h_{e,s}$ 、 $h_{l,s}$ 分别为用户偏好使用区间的起始值和终止值, $t$ 表示时间; $T_s$ 为可转移负荷参与调控的时间。

[0070] 步骤S130、构建光伏发电模型以及蓄电池储模型。基于实用性考虑,忽略次要因素,构建光伏发电模型如下:

$$[0071] \quad P_{pv}(k) = P_{pv,src} \frac{K(k)}{K_{src}} \left\{ 1 + \varepsilon_{pv} [T(k) - T_{src}] \right\}$$

[0072]  $P_{pv}(k)$ 为功率输出值, $P_{pv,src}$ 为标准状态下功率输出最大值, $K(k)$ 为太阳光强度, $K_{src}$ 为标准状态下太阳光最大强度, $\varepsilon_{pv}$ 为系统温度系数, $T(k)$ 为环境温度, $T_{src}$ 为标准状态环境温度。

[0073] 构建的蓄电池模型如下:

$$[0074] \quad \begin{cases} P_{Batt}(t) = s_{ch}(t)P_{Batt,ch}(t) - s_{dch}(t)P_{Batt,dch}(t) \\ s_{ch}(t) + s_{dch}(t) \leq 1 \quad s_{ch}(t), s_{dch}(t) \in \{0, 1\} \end{cases}$$

[0075] 其中 $P_{Batt,ch}(t)$ 为电池充电功率, $P_{Batt,dch}(t)$ 为电池放电功率, $s_{ch}(t)$ 、 $s_{dch}(t)$ 分别是电池的充放电状态, $P_{Batt}(t)$ 为t时刻蓄电池的功率。

[0076] 步骤S140、根据蓄电池是否参与调度将构建的家庭能量管理系统调度模型划分为光伏能量调度优化模型和有蓄电池参与的能量调度优化模型,确定第一阶段目标函数。蓄电池参与调度需要提前获知光伏优化后的负荷分布情况,因此,第一阶段只考虑光伏发电参与调度。第一阶段优化目标函数为:家庭能量效益最大、光伏消纳率最大、保证用户满意度。

[0077] 家庭能量效益如下:

$$[0078] \quad \begin{cases} f_{\text{all}} = \left\{ \sum_{k=1}^n [P_{\text{PV}}^k p_{\text{PV}}^k + \eta^k P_e^k p_e^k + \mu^k (P_r^k - P_{\text{load}}^k) p_r^k] \times \Delta t \right\} \\ P_{\text{load}}^k = P_c^k + P_s^k \end{cases}$$

[0079] 式中:  $P_{\text{PV}}^k$  为的光伏功率输出值;  $p_{\text{PV}}^k$  为光伏发电补偿价格;  $P_e^k$ 、 $p_e^k$  分别为光伏馈电功率值和补偿价格;  $P_r^k$ 、 $p_r^k$  分别为光伏消纳功率及电网电价;  $P_{\text{load}}^k$  为负荷总功率;  $\eta^k$ 、 $\mu^k$  分别为馈电状态和购电状态,  $f_{\text{all}}$  为家庭能量总收益;  $\Delta t$  为最小时间段;  $P_c^k$ 、 $P_s^k$  分别为不可转移负荷及可转移负荷的功率值;  $n$  为光伏个数;

[0080] 光伏消纳率表征的是系统负荷消纳光伏发电量的能力:

$$[0081] \quad U_{\text{PV}} = \frac{\sum_{k=1}^n U_{\text{PV}}^k}{\sum_{k=1}^n P_{\text{PV}}^k \Delta t}$$

[0082]  $U_{\text{PV}}^k$  为  $k$  调度时刻光伏发电被消纳的电量,  $U_{\text{PV}}$  为光伏消纳率。

[0083] 用户满意度用下式表示:

$$[0084] \quad S_{\text{load}} = \sum_{s=1}^m C_s(t)$$

[0085] 即每个可转移负荷的满意度构成总体用户满意度,  $C_s(t)$  为用户满意度,  $m$  为可转移负荷的个数;

[0086] 多目标模型目标函数为:

$$[0087] \quad \max \{f_{\text{all}}, U_{\text{PV}}, S_{\text{load}}\}$$

[0088] 第一阶段优化目标函数满足常规约束,即家庭能量系统有功功率平衡约束。

[0089] 步骤S150、在第一阶段优化基础上进行第二阶段优化,确定有蓄电池参与的能量调度优化模型目标函数。第一阶段优化得到光伏发电优化后用户负荷的分布情况,在此基础上联动蓄电池,调动储能潜力进行进一步的能量调度优化。第二阶段模型优化目标为:家庭能量效益最大、光伏消纳率。

[0090] 在第二阶段优化调度中,蓄电池的使用成本因其参与调度频繁开关必须考虑在内,则家庭能量收益模型修改如下:

$$[0091] \quad \begin{cases} F_s = \frac{F_B (SOC_{\max} - SOC_{\min})}{C_B} \\ f_B = \sum_{k=1}^{n_B} ((1-x_B^k)P_{B,dch}^k P_B^k - x_B^k P_{B,ch}^k P_{B,ch}^k) - n_B F_s \\ P_{B,ch}^k = \begin{cases} p_r^k & \Delta P_{PV}^k < 0 \\ p_e^k & \Delta P_{PV}^k > 0 \end{cases} \end{cases}$$

[0092]  $F_s$ 为每次切换蓄电池状态的耗损成本, $F_B$ 为蓄电池使用寿命耗尽的更换成本, $C_B$ 为蓄电池额定切换状态次数, $f_B$ 为蓄电池参与调度获得的收益; $x_B^k$ 为0-1变量,代表蓄电池的充放电状态, $P_{B,ch}^k$ 、 $P_{B,dch}^k$ 分别为蓄电池充放电功率值, $p_B^k$ 、 $p_{B,ch}^k$ 分别为蓄电池放电补偿电价及充电电价, $SOC_{\max}$ 、 $SOC_{\min}$ 分别为蓄电池最大、最小荷电量; $n_B$ 为调度周期内蓄电池充放电切换次数; $\Delta P_{PV}^k$ 表示电池放电量;

[0093] 多目标模型为:

$$[0094] \quad \max \{f_B, U_{PV}\}$$

[0095] 第二阶段优化模型除了满足家庭能量系统有功功率平衡约束外,还应满足蓄电池调度周期内的充放电平衡约束,即调度周期初始蓄电池状态与调度周期结束后蓄电池状态相同。

[0096] 步骤S160、采用NSGA-II算法处理双阶段模型优化问题,获得理想帕累托前沿,并选取平衡各目标优化效果的择中解作为无偏见的最优解。

[0097] 步骤S170、根据所求最优解对家庭能量管理系统进行优化调度。

[0098] 本方法构建的两阶段优化模型每一阶段都为多目标模型,因此使用基于精英策略的非支配排序算法处理该模型可得到理想的帕累托前沿,然后为了平衡各优化目标的优化效果,选择最优择中解作为模型理论最优解,得到完整的决策方案。具体算法求解流程如图4所示。

[0099] 通过以上步骤就可以得到一组符合用户利益以及满意度的家庭能量管理系统源荷储的调度计划,通过该计划的实施,能够达到家庭能量管理系统高光伏消纳率,高用户舒适度以及低用电费用的目标。

[0100] 以上所述实施例仅表达了本发明的一种实施方式,并未对本发明作任何形式上的限制。本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,做出若干简单修改、等同变化或修饰,均属于本发明的保护范围。

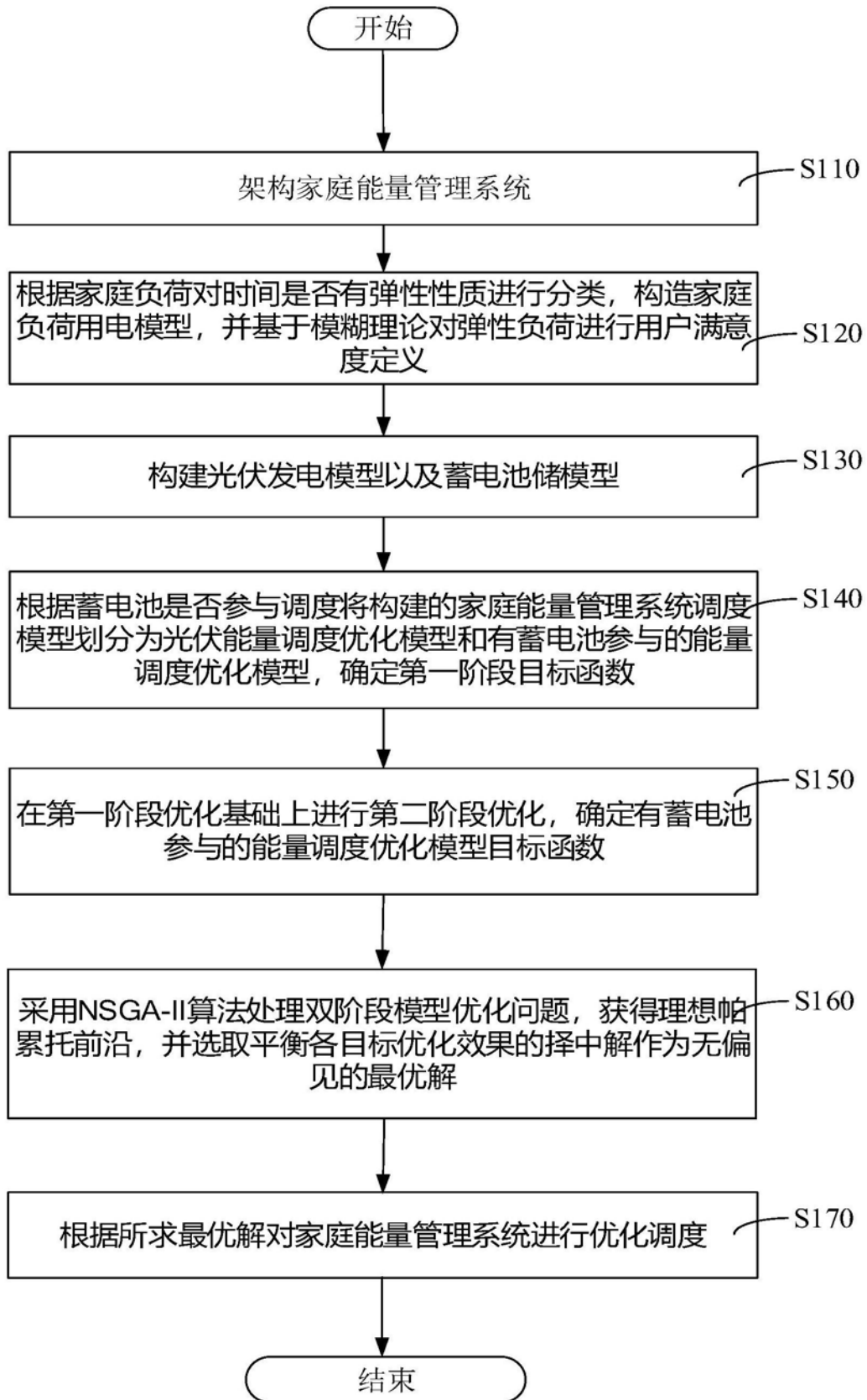


图1

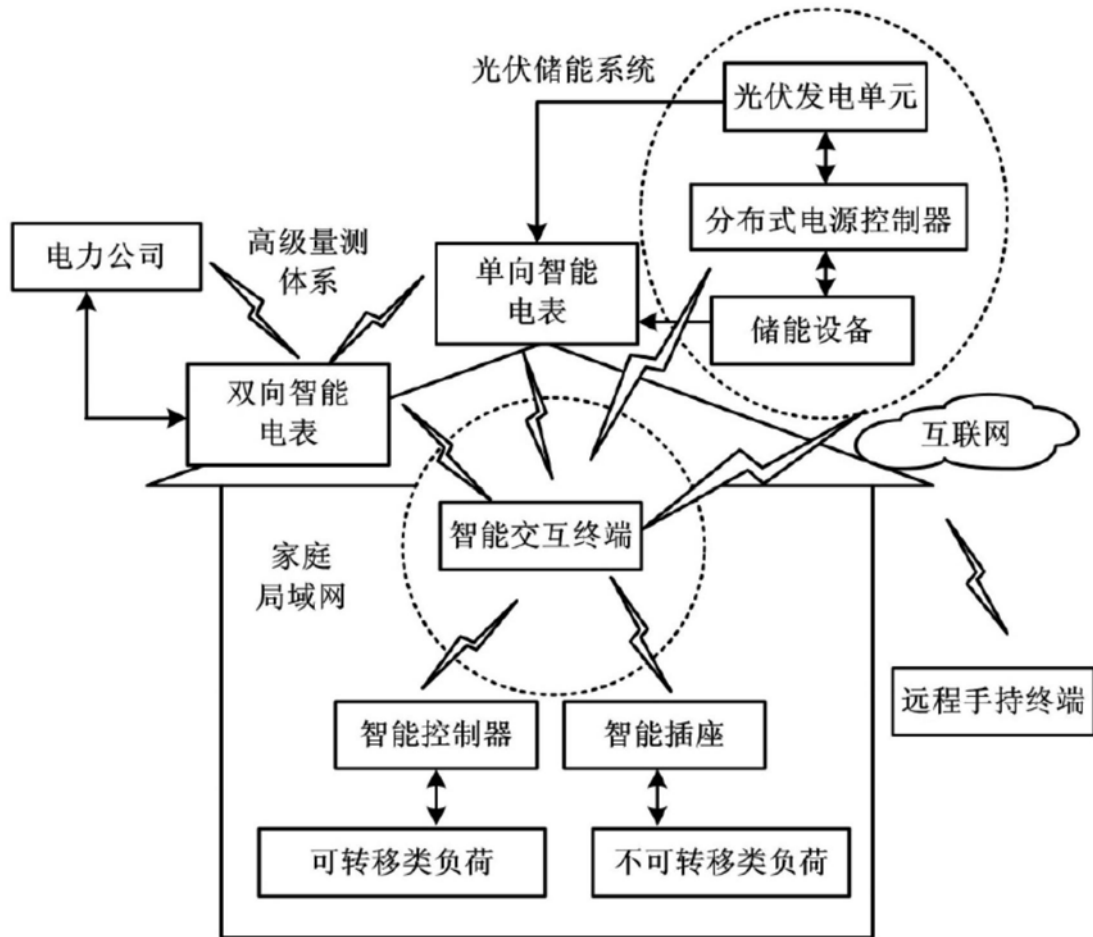


图2

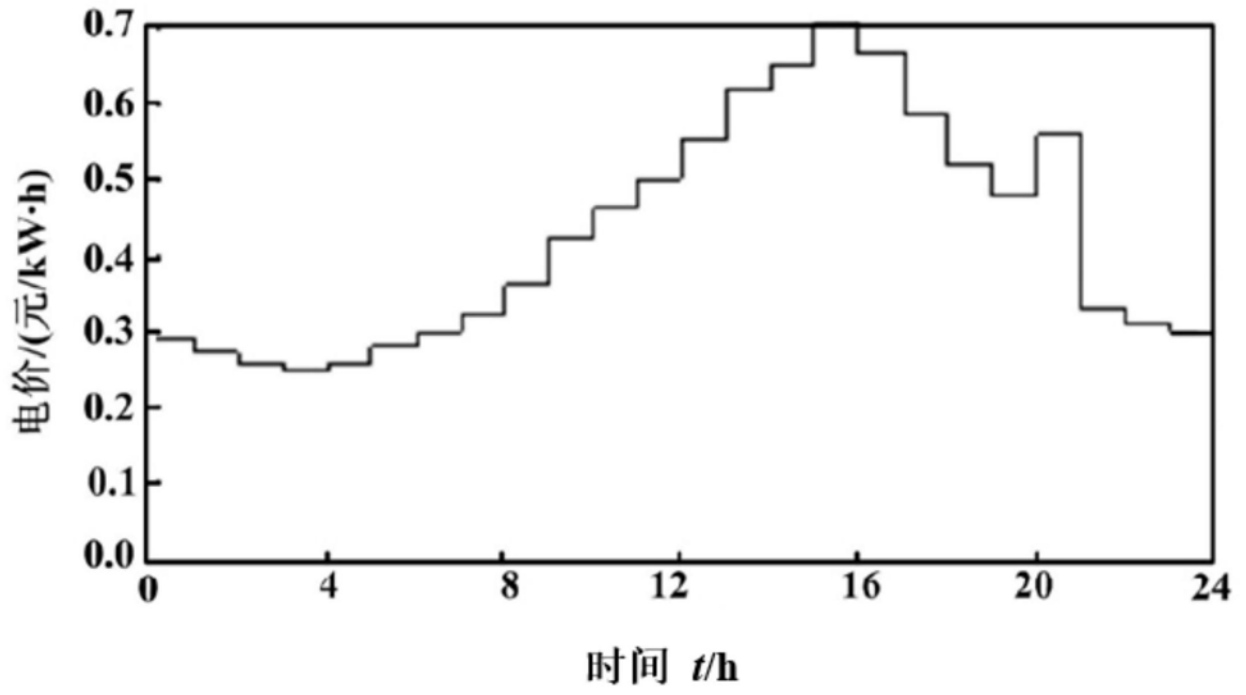


图3



图4