



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107657333 A

(43)申请公布日 2018.02.02

(21)申请号 201710721137.X

(22)申请日 2017.08.17

(71)申请人 湖北工业大学

地址 430068 湖北省武汉市洪山区南李路
28号(72)发明人 赵楠 刘睿 陈洋 樊鹏飞
范孟林 田超

(74)专利代理机构 武汉帅丞知识产权代理有限公司 42220

代理人 朱必武 刘国斌

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 30/00(2012.01)

G06Q 40/04(2012.01)

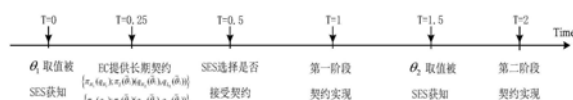
权利要求书2页 说明书5页 附图1页

(54)发明名称

一种智能电网中能源交易的动态激励契约
设计方法

(57)摘要

本发明属于智能电网能源交易技术领域,具体涉及一种智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法。针对智能电网能源交易中小型电能供应商自私性的需求和信息非对称的特点,提出了一种基于契约理论的动态激励机制设计方法。考虑能源交易需求与环境多变的特点,在建立电能消费者和小型电能供应商模型基础上,研究两阶段动态契约激励模型,在满足小型电能供应商激励相容约束和参与约束的前提下,通过甄别小型电能供应商真实的成本信息,激励SES参与长期的能源交易,以避免重新谈判或另选交易对象而产生的额外成本,使电能消费者获得最大的期望效用。



1. 一种智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:

步骤1,通过运用委托代理理论,结合智能电网能源交易特点,建立电能消费者EC模型和小型电能供应商SES模型;

步骤2,针对能源交易需求与环境多变的特点,建立贯穿SES两阶段能源交易的动态契约模型,通过构建SES激励相容约束和参与约束,实现对SES真实成本信息的甄别,以激励SES积极参与能源交易,从而实现能源交易效益优化预测。

2. 根据权利要求1所述的智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法,其特征在于,步骤1中,所述建立电能消费者EC模型实现过程包括:

假设EC支付给SES报酬 π 以购买 q 个单位电能,从中获得收益为 $V(q)$,于是,EC的效用为自身获得的收益减去支付给SES的报酬 π ,即:

$$U = V(q) - \pi。$$

3. 根据权利要求2所述的智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法,其特征在于,步骤1中,所述建立小型电能供应商SES模型实现过程包括:

ES的效用为EC支付的报酬 π 减去自身发电与输电的成本,可表示为:

$$\omega = \pi - \theta q$$

其中, θ 为每单位电量的成本系数,包含着SES的私有成本信息;

假设SES可以分为高效SES与低效SES两种类型,且二者的成本系数分别为 θ_H 和 θ_L ($\theta_H < \theta_L$),高效SES出现的概率为 p ,低效SES出现的概率为 $1-p$,且先验分布 p 已知; θ 越低,代表SES供电效率越高,意味着该SES拥有更好的发电设备与环境。

4. 根据权利要求3所述的智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法,其特征在于,步骤2中,所述建立贯穿SES两阶段能源交易的动态契约模型实现过程包括:

构建两阶段能源交易时序图, $\pi_2(\tilde{\theta}_1) = \{\pi_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \pi_{L_2}(\tilde{\theta}_1)\}$ 表示第二阶段SES可选契约, $\pi_{H_1}, \pi_{L_1}, \pi_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \pi_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别为在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES所获报酬,其中 $\tilde{\theta}_1$ 表示SES第一阶段选择的契约类型, θ_1 和 θ_2 分别为在第一阶段和第二阶段SES的成本系数, $q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}(\tilde{\theta}_1), q_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别为在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES出售给EC的电能;

假设两个阶段SES的私有成本信息 θ_1 与 θ_2 发生改变,且2个阶段的成本信息分别独立于 $\Theta = \{\theta_H, \theta_L\}$ 的情形,其概率分别为 p 和 $1-p$,于是,高效SES与低效SES在两个阶段获得的总期望效用分别为:

$$\omega_H = \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1) + (1-p)\omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)],$$

$$\omega_L = \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1) + (1-p)\omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)]$$

其中, $\omega_{H_1}, \omega_{L_1}, \omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别表示在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES的效用。

5. 根据权利要求4所述的智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法,其特征在于,步骤2中,所述建立贯穿SES两阶段能源交易的动态契约模型优化实现过程包括:

为了实现对供电效率高低的甄别,需构建激励相容约束,保证SES只有在选择真实信息对应的契约时才会获得最大的效用,谎报私有成本信息所签订契约则会使SES无法获得最

大化效用,整个能源交易过程需要满足如下的激励相容约束条件:

$$\begin{aligned}\omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] &\geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\ \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] &\geq \omega_{H_1} + (\theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{H_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}]\end{aligned}$$

同时,为了激励SES参与长期的能源交易,需要保证所有参加能源交易的SES都能至少获得保留效用,整个交易过程需要满足如下的跨时参与约束条件:

$$\begin{aligned}\omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] &\geq \varpi, \\ \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] &\geq \varpi\end{aligned}$$

其中, ϖ 为SES的保留效用,且 $\varpi \geq 0$;

于是,两个阶段的动态契约优化问题为:在满足上述跨时参与约束与激励相容约束的条件下,EC的期望效用最大化,即

$$\begin{aligned}\max_{\{\pi_{H_1}, \pi_{L_1}, \pi_{H_2}, \pi_{L_2}, q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}, q_{L_2}\}} & pU_{H_1} + (1-p)U_{L_1} + \sigma[pU_{H_2} + (1-p)U_{L_2}] \\ \text{s.t.} \quad & \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\ & \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{H_1} + (\theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{H_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\ & \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi\end{aligned}$$

进一步地,所述两阶段能源交易的动态契约模型求解的实现过程包括:

由于 $\theta_H < \theta_L$,于是在动态契约模型中有

$$\begin{aligned}\omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] &\geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \\ &> \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi\end{aligned}$$

上述不等式恒成立,于是,两阶段动态契约优化问题可以简化为:

$$\begin{aligned}\max_{\{\omega_H, \omega_L, q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}, q_{L_2}\}} & p[V(q_{H_1}) - \theta_H q_{H_1} + \sigma(V(q_{H_2}) - \theta_H q_{H_2})] + (1-p)[V(q_{L_1}) \\ & - \theta_L q_{L_1} + \sigma(V(q_{L_2}) - \theta_L q_{L_2})] - [p\omega_{H_1} + (1-p)\omega_{L_1}] - \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\ \text{s.t.} \quad & \omega_{H_1} - \omega_{L_1} \geq \theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}, \\ & \omega_{L_1} - \omega_{H_1} \geq \theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{H_1}, \\ & \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi\end{aligned}$$

针对两个阶段动态契约优化问题,可借助Kuhn-Tucker最优条件获得其最优解。

一种智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于智能电网能源交易技术领域,具体涉及一种智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法。

背景技术

[0002] 随着智能电网的发展,大量私人家庭作为小型电能供应商 (small-scale electricity supplier, SES),通过搭建小型风力发电平台或太阳能电板,出售自身盈余电能。然而,由于SES和电能消费者 (electricity consumer, EC) 的自私性,双方均希望获得自身效用的最大化。针对上述问题,需要研究有效的能源交易激励机制,以调动双方参与的积极性。在能源交易中,由于SES的发电与输电成本为其私有信息,EC无法保证获知数据的真实性,这种信息非对称成为激励机制设计中必须解决的问题。同时,由于居民用电负荷的变化以及电能高峰期输电成本的不同,SES的私有成本信息会发生变化,这使得激励机制必须更具灵活性。

[0003] 最常见的能源交易激励方法为博弈论,但该方法存在着计算复杂、纳什均衡解过多时无从选择等问题。于是,基于契约理论的激励机制进入了研究者的视野。然而,现阶段智能电网所采用的契约理论主要围绕着静态模型进行研究,针对动态契约机制的设计很少,而在实际电网能源交易中,居民用电负荷以及电能高峰时段输电成本随时间进行变化,静态契约机制在智能电网能源交易中显得缺乏弹性。针对上述问题,EC需设计一个长期承诺的动态契约来避免重新谈判或另选交易对象产生额外交易成本,从而降低预期能源交易效益的损失。

发明内容

[0004] 为了克服上述现有技术存在的不足,本发明的目的在于提出一种智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法。

[0005] 为了达到上述目的,本发明所采用的技术方案是:一种智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法,其特征在于,所述方法包括如下步骤:

[0006] 步骤1,通过运用委托代理理论,结合智能电网能源交易特点,建立电能消费者EC模型和小型电能供应商SES模型;

[0007] 步骤2,针对智能电网中能源交易需求与环境多变的特点,建立贯穿SES两阶段能源交易的动态契约模型,通过构建SES激励相容约束和参与约束,实现对SES真实成本信息的甄别,以激励SES积极参与能源交易,从而实现能源交易效益优化预测。

[0008] 进一步地,步骤1中,所述建立电能消费者EC模型实现过程包括:

[0009] 假设EC支付给SES报酬 π 以购买 q 个单位电能,从中获得收益为 $V(q)$,

[0010] 于是,EC的效用为自身获得的收益减去支付给SES的报酬 π ,即:

[0011] $U = V(q) - \pi$ 。

[0012] 进一步地,步骤1中,所述建立小型电能供应商SES模型实现过程包括:

[0013] ES的效用为EC支付的报酬 π 减去自身发电与输电的成本,可表示为:

$$[0014] \quad \omega = \pi - \theta q,$$

[0015] 其中, θ 为每单位电量的成本系数,包含着SES的私有成本信息;

[0016] 假设SES可以分为高效SES与低效SES两种类型,且二者的成本系数分别为 θ_H 和 θ_L ($\theta_H < \theta_L$),高效SES出现的概率为 p ,低效SES出现的概率为 $1-p$,且先验分布 p 已知; θ 越低,代表SES供电效率越高,意味着该SES拥有更好的发电设备(高效发电与储能)与环境(输电环境)。

[0017] 进一步地,步骤2中,所述建立贯穿SES两阶段能源交易的动态契约模型实现过程包括:

[0018] 构建两阶段能源交易时序图, $\pi_2(\tilde{\theta}_1) = \{\pi_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \pi_{L_2}(\tilde{\theta}_1)\}$ 表示第二阶段SES可选契约, $\pi_{H_1}, \pi_{L_1}, \pi_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \pi_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别为在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES所获报酬,其中 $\tilde{\theta}_1$ 表示SES第一阶段选择的契约类型, θ_1 和 θ_2 分别为在第一阶段和第二阶段SES的成本系数, $q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}(\tilde{\theta}_1), q_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别为在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES出售给EC的电能;

[0019] 假设两个阶段SES的私有成本信息 θ_1 与 θ_2 发生改变,且2个阶段的成本信息分别独立于 $\Theta = \{\theta_H, \theta_L\}$ 的情形,其概率分别为 p 和 $1-p$,于是,高效SES与低效SES在两个阶段获得的总期望效用分别为:

$$[0020] \quad \omega_H = \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1) + (1-p)\omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)],$$

$$[0021] \quad \omega_L = \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1) + (1-p)\omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)]$$

[0022] 其中, $\omega_{H_1}, \omega_{L_1}, \omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别表示在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES的效用;

[0023] 为了实现对供电效率高低的甄别,需构建激励相容约束,保证SES只有在选择真实信息对应的契约时才会获得最大的效用,谎报私有成本信息所签订契约则会使SES无法获得最大化效用,整个能源交易过程需要满足如下的激励相容约束条件:

$$[0024] \quad \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}],$$

$$[0025] \quad \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{H_1} + (\theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{H_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}]$$

[0026] 同时,为了激励SES参与长期的能源交易,需要保证所有参加能源交易的SES都能至少获得保留效用,整个交易过程需要满足如下的跨时参与约束条件:

$$[0027] \quad \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi,$$

$$[0028] \quad \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi$$

[0029] 其中, ϖ 为SES的保留效用,且 $\varpi \geq 0$;

[0030] 于是,两个阶段的动态契约优化问题为:在满足上述跨时参与约束与激励相容约束的条件下,EC的期望效用最大化,即

$$\begin{aligned}
& \max_{\{\pi_{H_1}, \pi_{L_1}, \pi_{H_2}, \pi_{L_2}, q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}, q_{L_2}\}} pU_{H_1} + (1-p)U_{L_1} + \sigma[pU_{H_2} + (1-p)U_{L_2}] \\
[0031] \quad s.t. \quad & \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{H_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\
& \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{H_1} + (\theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{L_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\
& \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi
\end{aligned}$$

[0032] 进一步地,所述建立贯穿SES两阶段能源交易的动态契约模型的实现过程包括:

[0033] 由于 $\theta_H < \theta_L$,于是在动态契约模型中有

$$\begin{aligned}
[0034] \quad & \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{H_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \\
& > \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi,
\end{aligned}$$

[0035] 上述不等式恒成立,于是,两阶段动态契约优化问题可以简化为:

$$\begin{aligned}
& \max_{\{\omega_H, \omega_L, q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}, q_{L_2}\}} p[V(q_{H_1}) - \theta_H q_{H_1} + \sigma(V(q_{H_2}) - \theta_H q_{H_2})] + (1-p)[V(q_{L_1}) \\
& - \theta_L q_{L_1} + \sigma(V(q_{L_2}) - \theta_L q_{L_2})] - [p\omega_{H_1} + (1-p)\omega_{L_1}] - \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\
[0036] \quad s.t. \quad & \omega_{H_1} - \omega_{L_1} \geq \theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{H_1}, \\
& \omega_{L_1} - \omega_{H_1} \geq \theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{L_1}, \\
& \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi
\end{aligned}$$

[0037] 针对两个阶段动态契约优化问题,可借助Kuhn-Tucker最优条件获得其最优解。

[0038] 与现有技术相比,本发明的有益效果是:本发明运用委托代理理论,提出一种智能电网中能源交易的动态激励契约设计方法。针对智能电网中能源交易需求与环境多变的特点,设计贯穿SES两阶段能源交易的动态契约模型,通过构建SES激励相容约束和参与约束,实现对SES真实成本信息的甄别,激励SES参与长期的能源交易,以避免重新谈判或另选交易对象而产生的额外成本,从而获得更多的预估效益。

[0039] 说明书附图

[0040] 图1为本发明的两阶段能源交易时序图。

具体实施方式

[0041] 为了便于本领域普通技术人员理解和实施本发明,下面结合实施例对本发明作进一步的详细描述,应当理解,此处所描述的实施例仅用于说明和解释本发明,并不用于限定本发明。

[0042] 本实施示例环境为智能电网能源交易市场。其中,电能消费者(electricity consumer, EC)是雇主,小型电能供应商(small-scale electricity supplier, SES)是雇员,可提供供电服务。EC作为主动缔约方,向SES提供由一系列合约条款组成的动态契约,契约条款包括其报酬和所提供电量。

[0043] 具体过程如下:

[0044] (1) SES获知 θ_1 的取值;

[0045] (2) EC提供一个长期契约 $\{\pi_1(q_1); \pi_2(q_1, q_2)\}$;

[0046] (3) SES选择接受或拒绝契约;

[0047] (4) 第1阶段电量交易 q_1 和报酬支付 π_1 实现；

[0048] (5) SES获知 θ_2 的取值；

[0049] (6) 第2阶段工作量 q_2 和报酬支付 π_2 实现。

[0050] 在智能电网能源交易中，一方面，EC需要SES低价提供其所需的电能，另一方面，SES则希望从EC处获得更多的报酬。为了解决EC与SES之间的上述矛盾，本发明借助委托代理理论，EC作为委托方，向代理方SES提供交易契约，通过双方签订关于供电与报酬的契约，以激励SES高效地参与到能源交易中，从而获更多的预估效益。在双方签订契约后，由于信息的非对称性和SES的自私性，SES有可能故意隐瞒自身私有成本信息，以期获取更多的效用。针对上述问题，本发明通过设计激励相容约束条件，实现SES私有成本信息的甄别。

[0051] (1)、电能消费者EC模型。

[0052] 假设EC支付给SES报酬 π 以购买 q 个单位电能，从中获得收益为 $V(q)$ 。

[0053] 于是，EC的效用为自身获得的收益减去支付给SES的报酬 π ，即：

[0054] $U = V(q) - \pi$ 。

[0055] (2)、小型电能供应商SES模型。

[0056] ES的效用为EC支付的报酬 π 减去自身发电与输电的成本，可表示为：

[0057] $\omega = \pi - \theta q$ ，

[0058] 其中， θ 为每单位电量的成本系数，包含着SES的私有成本信息。

[0059] 假设SES可以分为高效SES与低效SES两种类型，且二者的成本系数分别为 θ_H 和 θ_L ($\theta_H < \theta_L$)，高效SES出现的概率为 p ，低效SES出现的概率为 $1-p$ ，且先验分布 p 已知。 θ 越低，代表SES供电效率越高，意味着该SES拥有更好的发电设备(高效发电与储能)与环境(输电环境)。

[0060] (3)、贯穿SES两阶段能源交易的动态契约模型。

[0061] 构建两阶段能源交易时序图，如图1所示。在本发明中，假设 $\pi_2(\tilde{\theta}_1) = \{\pi_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \pi_{L_2}(\tilde{\theta}_1)\}$ 表示第二阶段SES可选契约， $\pi_{H_1}, \pi_{L_1}, \pi_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \pi_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别为在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES所获报酬，其中 $\tilde{\theta}_1$ 表示SES第一阶段选择的契约类型， θ_1 和 θ_2 分别为在第一阶段和第二阶段SES的成本系数， $q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}(\tilde{\theta}_1), q_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别为在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES出售给EC的电能。

[0062] 假设两个阶段SES的私有成本信息 θ_1 与 θ_2 发生改变，且2个阶段的成本信息分别独立于 $\Theta = \{\theta_H, \theta_L\}$ 的情形，其概率分别为 p 和 $1-p$ 。于是，高效SES与低效SES在两个阶段获得的总期望效用分别为：

[0063] $\omega_H = \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1) + (1-p)\omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)]$ ，

[0064] $\omega_L = \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1) + (1-p)\omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)]$ 。

[0065] 其中， $\omega_{H_1}, \omega_{L_1}, \omega_{H_2}(\tilde{\theta}_1), \omega_{L_2}(\tilde{\theta}_1)$ 分别表示在第一阶段和第二阶段高效SES与低效SES的效用。

[0066] 为了实现对供电效率高低的甄别，需构建激励相容约束，保证SES只有在选择真实信息对应的契约时才会获得最大的效用，谎报私有成本信息所签订契约则会使SES无法获得最大化效用。整个能源交易过程需要满足如下的激励相容约束条件：

$$[0067] \quad \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}],$$

$$[0068] \quad \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{H_1} + (\theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{H_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}].$$

[0069] 同时,为了激励SES参与长期的能源交易,需要保证所有参加能源交易的SES都能至少获得保留效用。整个交易过程需要满足如下的跨时参与约束条件:

$$[0070] \quad \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi,$$

$$[0071] \quad \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi。$$

[0072] 其中, ϖ 为SES的保留效用,且 $\varpi \geq 0$ 。

[0073] 于是,两个阶段的动态契约优化问题为:在满足上述跨时参与约束与激励相容约束的条件下,EC的期望效用最大化,即

$$[0074] \quad \begin{aligned} & \max_{\{\pi_{H_1}, \pi_{L_1}, \pi_{H_2}, \pi_{L_2}, q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}, q_{L_2}\}} pU_{H_1} + (1-p)U_{L_1} + \sigma[pU_{H_2} + (1-p)U_{L_2}] \\ & s.t. \quad \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\ & \quad \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{H_1} + (\theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{H_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\ & \quad \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi \end{aligned}$$

[0075] 进一步地,所述两阶段能源交易的动态契约模型求解的实现过程包括:

[0076] 由于 $\theta_H < \theta_L$,于是在动态契约模型中有

$$[0077] \quad \begin{aligned} & \omega_{H_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \omega_{L_1} + (\theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}) + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \\ & > \omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi \end{aligned}$$

[0078] 上述不等式恒成立,于是,两阶段动态契约优化问题可以简化为:

$$[0079] \quad \begin{aligned} & \max_{\{\omega_H, \omega_L, q_{H_1}, q_{L_1}, q_{H_2}, q_{L_2}\}} p[V(q_{H_1}) - \theta_H q_{H_1} + \sigma(V(q_{H_2}) - \theta_H q_{H_2})] + (1-p)[V(q_{L_1}) \\ & - \theta_L q_{L_1} + \sigma(V(q_{L_2}) - \theta_L q_{L_2})] - [p\omega_{H_1} + (1-p)\omega_{L_1}] - \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}], \\ & s.t. \quad \omega_{H_1} - \omega_{L_1} \geq \theta_L q_{L_1} - \theta_H q_{L_1}, \end{aligned}$$

$$\omega_{L_1} - \omega_{H_1} \geq \theta_H q_{H_1} - \theta_L q_{H_1},$$

$$\omega_{L_1} + \sigma[p\omega_{H_2} + (1-p)\omega_{L_2}] \geq \varpi.$$

[0080] 针对两个阶段动态契约优化问题,可借助Kuhn-Tucker最优条件获得其最优解。

[0081] 应当理解的是,本说明书未详细阐述的部分均属于现有技术。

[0082] 应当理解的是,上述针对较佳实施例的描述较为详细,并不能因此而认为是对本发明专利保护范围的限制,本领域的普通技术人员在本发明的启示下,在不脱离本发明权利要求所保护的范围情况下,还可以做出替换或变形,均落入本发明的保护范围之内,本发明的请求保护范围应以所附权利要求为准。

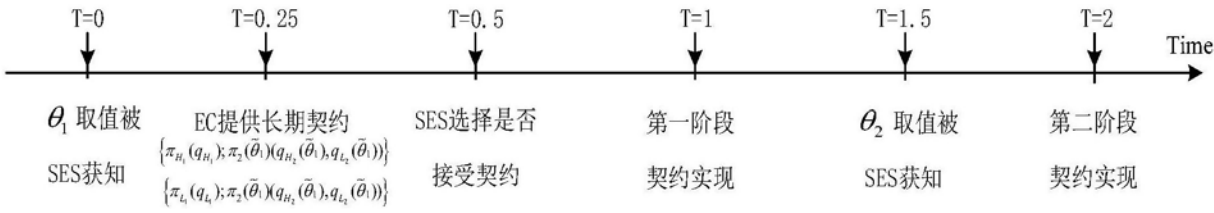


图1