



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107862419 A

(43)申请公布日 2018.03.30

(21)申请号 201711292668.8

(22)申请日 2017.12.08

(71)申请人 清华大学

地址 100000 北京市海淀区清华园

(72)发明人 梅生伟 魏韡 李瑞 刘锋

陈来军 方宇娟

(74)专利代理机构 北京高沃律师事务所 11569

代理人 王戈

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

权利要求书4页 说明书12页 附图3页

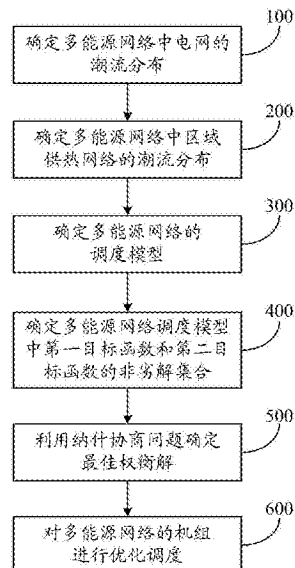
(54)发明名称

一种多能源网络的低碳优化调度方法及系统

(57)摘要

本发明公开一种多能源网络的低碳优化调度方法及系统。该方法包括：采用支路潮流模型描述多能源网络中的电网的潮流分布；采用水力热力耦合模型描述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布；确定多能源网络的低碳调度模型；所述低碳调度模型中包括运行成本最低的第一目标函数和碳排放量最低的第二目标函数，约束条件为所述电网的潮流分布和所述区域供热网络的潮流分布；确定所述低碳调度模型中所述第一目标函数和所述第二目标函数的非劣解集合；根据所述非劣解集合，利用纳什协商问题确定最佳权衡解；根据所述最佳权衡解对所述多能源网络进行调度。本发明的方法及系统供多能源网络运行调度人员使用，优化调度过程考虑成本与碳排放双目标，客观快捷。

CN 107862419 A



1. 一种多能源网络的低碳优化调度方法,其特征在于,所述方法包括:  
 采用支路潮流模型描述所述多能源网络中的电网的潮流分布;  
 采用水力热力耦合模型描述所述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布;  
 确定所述多能源网络的低碳调度模型;所述低碳调度模型中包括运行成本最低的第一目标函数和碳排放量最低的第二目标函数,约束条件为所述电网的潮流分布和所述区域供热网络的潮流分布;  
 确定所述低碳调度模型中所述第一目标函数和所述第二目标函数的非劣解集合;  
 根据所述非劣解集合,利用纳什协商问题确定最佳权衡解;  
 根据所述最佳权衡解对所述多能源网络进行优化调度。
2. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述采用支路潮流模型描述多能源网络中的电网的潮流分布,具体包括:

$$\text{利用模型} \left\{ \begin{array}{l} P_{ij,t} + p_{j,t}^g - r_{ij} I_{ij,t} = \sum_{k \in \pi(j)} P_{jk,t} + p_{j,t}^d, \forall l(i,j), \forall t \\ Q_{ij,t} + q_{j,t}^g - x_{ij} I_{ij,t} = \sum_{k \in \pi(j)} Q_{jk,t} + q_{j,t}^d, \forall l(i,j), \forall t \\ U_{j,t} = U_{i,t} - 2(r_{ij} P_{ij,t} + x_{ij} Q_{ij,t}) + (z_{ij})^2 I_{ij,t}, \forall l(i,j), \forall t \\ I_{ij,t} U_{i,t} = P_{ij,t}^2 + Q_{ij,t}^2, \forall l(i,j), \forall t \\ I_{ij,t} \leq I_{ij}^u, U_i^l \leq U_{i,t} \leq U_i^u, \forall i, l(i,j), \forall t \\ p_i^l \leq p_{i,t}^g \leq p_i^u, q_i^l \leq q_{i,t}^g \leq q_i^u, \forall i, \forall t \end{array} \right. \text{描述多能}$$

源网络中的电网的潮流分布;

其中,t表示调度时刻, $P_{ij,t}$ 为线路传输有功功率, $Q_{ij,t}$ 为线路传输无功功率, $p_{j,t}^d$ 为节点j的有功负荷需求; $q_{j,t}^d$ 为节点j的无功负荷需求; $p_{j,t}^g$ 为电源有功功率出力; $q_{j,t}^g$ 为电源的无功功率出力; $\pi(j)$ 为节点j的子节点集合; $x_{ij}$ 为线路电抗, $r_{ij}$ 为线路电阻, $z_{ij}$ 为线路阻抗, $U_{j,t}$ 为节点电压幅值的平方; $I_{ij,t}$ 为线路电流的平方,上标l表示下界,上标u表示上界。

3. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述采用水力热力耦合模型描述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布,具体包括:

$$\begin{cases}
 h_{i,t}^g = c \dot{m}_{i,t}^g (\tau_{i,t}^S - \tau_{i,t}^R), h_{i,t}^d = c \dot{m}_{i,t}^d (\tau_{i,t}^S - \tau_{i,t}^R), \forall i, t \\
 \sum_{b \in T(i)} (\tau_{b,t}^{S,out} \dot{m}_{b,t}^S) = \tau_{i,t}^S \sum_{b \in T(i)} \dot{m}_{b,t}^S, \forall i, t \\
 \sum_{b \in F(i)} (\tau_{b,t}^{R,out} \dot{m}_{b,t}^R) = \tau_{i,t}^R \sum_{b \in F(i)} \dot{m}_{b,t}^R, \forall i, t \\
 \tau_{b,t}^{S,in} = \tau_{i,t}^S, \tau_{b,t}^{R,in} = \tau_{i,t}^R, \forall i, b, t \\
 \tau_{b,t}^{S,out} = (\tau_{b,t}^{S,in} - \tau_t^{am}) e^{-\frac{\lambda_b L_b}{c \dot{m}_{b,t}^S}} + \tau_t^{am}, \forall b, t \\
 \tau_{b,t}^{R,out} = (\tau_{b,t}^{R,in} - \tau_t^{am}) e^{-\frac{\lambda_b L_b}{c \dot{m}_{b,t}^R}} + \tau_t^{am}, \forall b, t
 \end{cases}$$

描述多能源

网络中的区域供热网络的潮流分布

其中,  $c$  为载热流体的比热容,  $\tau_{b,t}^{S,out}$ ,  $\tau_{b,t}^{S,in}$ ,  $\tau_{b,t}^{R,out}$ ,  $\tau_{b,t}^{R,in}$  分别为供回水管网出口及入口温度,  $b$  为管道索引,  $t$  为调度时刻索引;  $\tau_{i,t}^S$ ,  $\tau_{i,t}^R$  分别为供回水管道节点温度,  $\tau_t^{am}$  为环境温度;  $\dot{m}_{b,t}^S$ ,  $\dot{m}_{b,t}^R$  分别为供回水管网载热流体质量流速;  $\lambda_b$  为管道温度损耗系数,  $L_b$  为管道长度;  $F(i)$  表示以节点  $i$  为首节点的管道集合,  $T(i)$  表示以节点  $i$  为末节点的管道集合;  $h_{i,t}^g$  表示热源供热量,  $h_{i,t}^d$  表示热负荷热需求。

4. 根据权利要求 1 所述的方法, 其特征在于, 所述确定所述多能源网络的低碳调度模型, 具体包括:

$$\text{运行成本: } f_C = \sum_t \left( \sum_i a_i (p_{i,t}^g)^2 + b_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \theta_t p_t^{grid} + \sum_t \left( \sum_j \zeta_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$$

其中,  $f_C$  为所述多能源网络的运行成本,  $a_i$  与  $b_i$  为电网机组  $i$  的运行成本系数,  $p_{i,t}^g$  为电网机组  $i$  的电源有功功率出力;  $\theta_t$  为上级电网售电电价;  $\zeta_j$  与  $\omega_j$  为热网机组  $j$  的运行成本系数;  $p_{i,t}^{grid}$  为从上级电网的购电量, 满足  $p_t^{grid} = P_{01,t}$ ;  $h_{j,t}^g$  表示热网机组  $j$  的热源供热量;

$$\text{碳排量: } f_E = \sum_t \left( \sum_i \alpha_i (p_{i,t}^g)^2 + \beta_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \left( \sum_j \zeta_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$$

其中,  $f_E$  为所述多能源网络的碳排量,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  分别为电网机组  $i$  的碳排系数;  $\zeta_j$  与  $\omega_j$  为热网机组  $j$  的碳排系数;

将运行成本最低确定为第一目标函数;

将碳排放量最低确定为第二目标函数；

将所述第一目标函数、所述第二目标函数及所述约束条件确定为所述多能源网络的低碳调度模型。

5. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述确定所述低碳调度模型中所述第一目标函数和所述第二目标函数的非劣解集合,具体包括:

利用正交边界交叉法获取均匀分布的帕累托前沿解,获得所述非劣解集合,所述非劣解集合的元素为所述帕累托前沿解。

6. 根据权利要求1所述的方法,其特征在于,所述根据所述非劣解集合,利用纳什协商问题确定最佳权衡解,具体包括:

确定纳什协商问题为第三目标函数  $\max_{x \in X_p} (f_C^d - f_C(x))(f_E^d - f_E(x))$ , 其中  $f_C^d$  为运行

成本最大值,  $f_E^d$  为碳排放量最大值,  $X_p$  为所述非劣解集合中帕累托前沿解对应的决策变量集合,所述决策变量集合包括各热源出力、电源出力、从电网购电量、电网运行状态变量、热网运行状态变量,所述电网运行状态变量包括节点电压、线路传输有功功率和无功功率,所述热网运行状态包括节点供回水温度;

确定所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式为

$$\begin{aligned} & \max_{x \in X_p} t \\ & s.t. \quad t_1 t_2 \geq t^2 \\ & \quad f_C^d - f_C(x) \geq t_1 \\ & \quad f_E^d - f_E(x) \geq t_2; \\ & \quad t_1 \geq 0, t_2 \geq 0 \end{aligned}$$

根据所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式获得纳什协商解;

将所述纳什协商解确定为所述最佳权衡解。

7. 一种多能源网络的低碳优化调度系统,其特征在于,所述系统包括:

电网潮流确定模块,用于采用支路潮流模型描述所述多能源网络中的电网的潮流分布;

区域供热网络潮流确定模块,用于采用水力热力耦合模型描述所述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布;

调度模型确定模块,用于确定所述多能源网络的低碳调度模型,所述低碳调度模型中包括运行成本最低的第一目标函数和碳排放量最低的第二目标函数,约束条件为所述电网的潮流分布和所述区域供热网络的潮流分布;

非劣解集合确定模块,用于确定所述低碳调度模型中所述第一目标函数和所述第二目标函数的非劣解集合;

最佳权衡解确定模块,用于根据所述非劣解集合,利用纳什协商问题确定最佳权衡解;

优化调度模块,用于根据所述最佳权衡解对所述多能源网络进行优化调度。

8. 根据权利要求7所述的系统,其特征在于,所述调度模型确定模块,具体包括:

运行成本确定单元,用于利用模型  $f_C = \sum_i \left( \sum_i a_i (p_{i,t}^g)^2 + b_i p_{i,t}^g \right) + \sum_i \theta_i p_i^{grid} + \sum_j \left( \sum_j \xi_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$  确定所述多能源网络的运行成本;其中,  $f_C$  为所述多能源网络的运行成本,  $a_i$  与  $b_i$  为电网机组  $i$  的运行成本系数,  $p_{i,t}^g$  为电网机组  $i$  的电源有功功率出力;  $\theta_i$  为上级电网售电电价;  $\xi_j$  与  $\omega_j$  为热网机组  $j$  的运行成本系数;  $p_i^{grid}$  为从上级电网的购电量, 满足  $p_i^{grid} = P_{01,t}$ ;  $h_{j,t}^g$  表示热网机组  $j$  的热源供热量;

碳排量确定单元,用于利用  $f_E = \sum_i \left( \sum_i \alpha_i (p_{i,t}^g)^2 + \beta_i p_{i,t}^g \right) + \sum_j \left( \sum_j \zeta_j (h_{j,t}^g)^2 + \bar{\omega}_j h_{j,t}^g \right)$  模型确定所述多能源网络的碳排量;其中,  $f_E$  为所述多能源网络的碳排量,  $\alpha_i, \beta_i$  分别为电网机组  $i$  的碳排系数;  $\zeta_j$  与  $\bar{\omega}_j$  为热网机组  $j$  的碳排系数;

第一目标函数确定单元,用于将运行成本最低确定为第一目标函数;

第二目标函数确定单元,用于将碳排量最低确定为第二目标函数;

调度模型确定单元,用于将所述第一目标函数、所述第二目标函数及所述约束条件确定为所述多能源网络的调度模型。

9. 根据权利要求7所述的系统,其特征在于,所述非劣解集合确定模块利用正交边界交叉法获取均匀分布的帕累托前沿解,获得所述非劣解集合,所述非劣解集合的元素为所述帕累托前沿解。

10. 根据权利要求7所述的系统,其特征在于,所述最佳权衡解确定模块,具体包括:

纳什协商问题确定单元,用于确定纳什协商问题为第三目标函数

$\max_{x \in X_p} (f_C^d - f_C(x))(f_E^d - f_E(x))$ , 其中  $f_C^d$  为运行成本最大值,  $f_E^d$  为碳排量最大值,  $X_p$  为

所述非劣解集合中帕累托前沿解对应的决策变量集合,所述决策变量集合包括各热源出力、电源出力、从电网购电量、电网运行状态变量、热网运行状态变量,所述电网运行状态变量包括节点电压、线路传输有功功率和无功功率,所述热网运行状态包括节点供回水温度;

等效二阶锥形式确定单元,用于确定所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式为

$$\max_{x \in X_p} t$$

$$s.t. \quad t_1 t_2 \geq t^2$$

$$f_C^d - f_C(x) \geq t_1$$

$$f_E^d - f_E(x) \geq t_2$$

$$t_1 \geq 0, t_2 \geq 0$$

纳什协商解获得单元,用于根据所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式获得所述纳什协商解;

最佳权衡解确定单元,用于将所述纳什协商解确定为所述最佳权衡解。

## 一种多能源网络的低碳优化调度方法及系统

### 技术领域

[0001] 本发明涉及多能源网络的运行调控领域,特别是涉及一种多能源网络的低碳优化调度方法及系统。

### 背景技术

[0002] 在当前环境气候挑战不断加剧、节能减排形势日益严峻的背景下,实现能源需求供应的低碳化迫在眉睫。从终端需求来看,热能和电能是最主要的能源需求形式,占终端能源需求的60%以上。一方面,当前终端电能需求主要由区域配电网(Power Distribution Network, PDN)供给,PDN可有效融合主动配电网、微电网等技术,高效接纳分布式可再生能源机组,实现电力供应的清洁化。另一方面,结合热泵、生物质、光热等技术,区域集中式供热系统(District Heating Network, DHN)日渐成为实现热能供应清洁化的主要手段之一。特别地,在能源互联网背景下,随着电气化供热技术的普及与能源网络互联进程的深入,PDN、DHN等能源网络将紧密耦合,形成更具运行灵活性的多能源网络。实现该类多能源网络的节能减排优化调度是发挥其灵活性的必要手段。

[0003] 尽管目前已有涉及区域电网节能减排调度或区域供热管网节能减排优化调度的研究,但对于多能源网络的节能减排优化调度研究还很鲜见。节能减排优化调度是发挥多能源网络低碳环保优势的重要措施,目前常用的加权平均法等手段往往具有较强主观性。特别地,多能源网络运行灵活性更强,网络特性更为复杂,用于区域电网节能减排调度或区域供热管网节能减排优化调度方式不适用于多能源网络节能减排的调度,因此多能源网络的节能减排优化调度更具挑战。

### 发明内容

[0004] 本发明的目的是提供一种多能源网络的低碳优化调度方法及系统,以解决传统调度方法主观性强且不适用于多能源网络的问题。

[0005] 为实现上述目的,本发明提供了如下方案:

[0006] 一种多能源网络的低碳优化调度方法,所述方法包括:

[0007] 采用支路潮流模型描述所述多能源网络中的电网的潮流分布;

[0008] 采用水力热力耦合模型描述所述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布;

[0009] 确定所述多能源网络的低碳调度模型;所述低碳调度模型中包括运行成本最低的第一目标函数和碳排放量最低的第二目标函数,约束条件为所述电网的潮流分布和所述区域供热网络的潮流分布;

[0010] 确定所述低碳调度模型中所述第一目标函数和所述第二目标函数的非劣解集合;

[0011] 根据所述非劣解集合,利用纳什协商问题确定最佳权衡解;

[0012] 根据所述最佳权衡解对所述多能源网络进行优化调度。

[0013] 可选的,所述采用支路潮流模型描述多能源网络中的电网的潮流分布,具体包括:

$$\begin{cases}
 P_{ij,t} + p_{j,t}^g - r_{ij} I_{ij,t} = \sum_{k \in \pi(j)} P_{jk,t} + p_{j,t}^d, \forall l(i,j), \forall t \\
 Q_{ij,t} + q_{j,t}^g - x_{ij} I_{ij,t} = \sum_{k \in \pi(j)} Q_{jk,t} + q_{j,t}^d, \forall l(i,j), \forall t \\
 U_{j,t} = U_{i,t} - 2(r_{ij} P_{ij,t} + x_{ij} Q_{ij,t}) + (z_{ij})^2 I_{ij,t}, \forall l(i,j), \forall t \\
 I_{ij,t} U_{i,t} = P_{ij,t}^2 + Q_{ij,t}^2, \forall l(i,j), \forall t \\
 I_{ij,t} \leq I_{ij}^u, U_i^l \leq U_{i,t} \leq U_i^u, \forall i, l(i,j), \forall t \\
 p_i^l \leq p_{i,t}^g \leq p_i^u, q_i^l \leq q_{i,t}^g \leq q_i^u, \forall i, \forall t
 \end{cases}$$

[0014] 利用模型

多能源网络中的电网的潮流分布;

[0015] 其中,t表示调度时刻, $P_{ij,t}$ 为线路传输有功功率, $Q_{ij,t}$ 为线路传输无功功率, $p_{j,t}^d$ 为节点j的有功负荷需求; $q_{j,t}^d$ 为节点j的无功负荷需求; $p_{j,t}^g$ 为电源有功功率出力; $q_{j,t}^g$ 为电源的无功功率出力; $\pi(j)$ 为节点j的子节点集合; $x_{ij}$ 为线路电抗, $r_{ij}$ 为线路电阻, $z_{ij}$ 为线路阻抗, $U_{j,t}$ 为节点电压幅值的平方; $I_{ij,t}$ 为线路电流的平方,上标l表示下界,上标u表示上界。

[0016] 可选的,所述采用水力热力耦合模型描述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布,具体包括:

$$\begin{cases}
 h_{i,t}^g = c \dot{m}_{i,t}^g (\tau_{i,t}^S - \tau_{i,t}^R), h_{i,t}^d = c \dot{m}_{i,t}^d (\tau_{i,t}^S - \tau_{i,t}^R), \forall i, t \\
 \sum_{b \in T(i)} (\tau_{b,t}^{S,out} \dot{m}_{b,t}^S) = \tau_{i,t}^S \sum_{b \in T(i)} \dot{m}_{b,t}^S, \forall i, t \\
 \sum_{b \in F(i)} (\tau_{b,t}^{R,out} \dot{m}_{b,t}^R) = \tau_{i,t}^R \sum_{b \in F(i)} \dot{m}_{b,t}^R, \forall i, t \\
 \tau_{b,t}^{S,in} = \tau_{i,t}^S, \tau_{b,t}^{R,in} = \tau_{i,t}^R, \forall i, b, t \\
 \tau_{b,t}^{S,out} = (\tau_{b,t}^{S,in} - \tau_t^{am}) e^{-\frac{\lambda_b L_b}{c \dot{m}_{b,t}^S}} + \tau_t^{am}, \forall b, t \\
 \tau_{b,t}^{R,out} = (\tau_{b,t}^{R,in} - \tau_t^{am}) e^{-\frac{\lambda_b L_b}{c \dot{m}_{b,t}^R}} + \tau_t^{am}, \forall b, t
 \end{cases}$$

[0017] 利用模型

能源网络中的区域供热网络的潮流分布

[0018] 其中,c为载热流体的比热容, $\tau_{b,t}^{S,out}$ ,  $\tau_{b,t}^{S,in}$ ,  $\tau_{b,t}^{R,out}$ ,  $\tau_{b,t}^{R,in}$ 分别为供回水管网出口及入口温度,b为管道索引,t为调度时刻索引; $\tau_{i,t}^S$ ,  $\tau_{i,t}^R$ 分别为供回水管道

节点温度,  $\tau_t^{am}$  为环境温度;  $\dot{m}_{b,t}^S$ ,  $\dot{m}_{b,t}^R$  分别为供回水管网载热流体质量流速;  $\lambda_b$  为管道温度损耗系数,  $L_b$  为管道长度;  $F(i)$  表示以节点  $i$  为首节点的管道集合,  $T(i)$  表示以节点  $i$  为末节点的管道集合;  $h_{i,t}^g$  表示热源供热量,  $h_{i,t}^d$  表示热负荷热需求。

[0019] 可选的, 所述确定所述多能源网络的低碳调度模型, 具体包括:

$$[0020] \quad \text{运行成本: } f_C = \sum_t \left( \sum_i a_i (p_{i,t}^g)^2 + b_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \theta_t p_t^{grid} + \sum_t \left( \sum_j \xi_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$$

[0021] 其中,  $f_C$  为所述多能源网络的运行成本,  $a_i$  与  $b_i$  为电网机组  $i$  的运行成本系数,  $p_{i,t}^g$  为电网机组  $i$  的电源有功功率出力;  $\theta_t$  为上级电网售电电价;  $\xi_j$  与  $\omega_j$  为热网机组  $j$  的运行成本系数;  $p_t^{grid}$  为从上级电网的购电量, 满足  $p_t^{grid} = P_{0,t}$ ;  $h_{j,t}^g$  表示热网机组  $j$  的热源供热量;

$$[0022] \quad \text{碳排量: } f_E = \sum_t \left( \sum_i \alpha_i (p_{i,t}^g)^2 + \beta_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \left( \sum_j \zeta_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$$

[0023] 其中,  $f_E$  为所述多能源网络的碳排量,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  分别为电网机组  $i$  的碳排系数;  $\zeta_j$  与  $\omega_j$  为热网机组  $j$  的碳排系数;

[0024] 将运行成本最低确定为第一目标函数;

[0025] 将碳排量最低确定为第二目标函数;

[0026] 将所述第一目标函数、所述第二目标函数及所述约束条件确定为所述多能源网络的低碳调度模型。

[0027] 可选的, 所述确定所述低碳调度模型中所述第一目标函数和所述第二目标函数的非劣解集合, 具体包括:

[0028] 利用正交边界交叉法获取均匀分布的帕累托前沿解, 获得所述非劣解集合, 所述非劣解集合的元素为所述帕累托前沿解。

[0029] 可选的, 所述根据所述非劣解集合, 利用纳什协商问题确定最佳权衡解, 具体包括:

[0030] 确定纳什协商问题为第三目标函数  $\max_{x \in X_p} (f_C^d - f_C(x))(f_E^d - f_E(x))$ , 其中  $f_C^d$  为

运行成本最大值,  $f_E^d$  为碳排量最大值,  $X_p$  为所述非劣解集合中帕累托前沿解对应的决策变量集合, 所述决策变量集合包括各热源出力、电源出力、从电网购电量、电网运行状态变量、热网运行状态变量, 所述电网运行状态变量包括节点电压、线路传输有功功率和无功功率, 所述热网运行状态包括节点供回水温度;

[0031] 确定所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式为



$$\max_{x \in X_P} t$$

$$s.t. t_1 t_2 \geq t^2$$

$$\begin{aligned} [0032] \quad & f_C^d - f_C(x) \geq t_1 \\ & f_E^d - f_E(x) \geq t_2; \\ & t_1 \geq 0, t_2 \geq 0 \end{aligned}$$

[0033] 根据所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式获得纳什协商解；

[0034] 将所述纳什协商解确定为所述最佳权衡解。

[0035] 一种多能源网络的低碳优化调度系统,所述系统包括:

[0036] 电网潮流确定模块,用于采用支路潮流模型描述所述多能源网络中的电网的潮流分布;

[0037] 区域供热网络潮流确定模块,用于采用水力热力耦合模型描述所述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布;

[0038] 调度模型确定模块,用于确定所述多能源网络的低碳调度模型,所述低碳调度模型中包括运行成本最低的第一目标函数和碳排放量最低的第二目标函数,约束条件为所述电网的潮流分布和所述区域供热网络的潮流分布;

[0039] 非劣解集合确定模块,用于确定所述低碳调度模型中所述第一目标函数和所述第二目标函数的非劣解集合;

[0040] 最佳权衡解确定模块,用于根据所述非劣解集合,利用纳什协商问题确定最佳权衡解;

[0041] 优化调度模块,用于根据所述最佳权衡解对所述多能源网络进行优化调度。

[0042] 可选的,所述调度模型确定模块,具体包括:

$$[0043] \quad \text{运行成本确定单元,用于利用模型 } f_C = \sum_t \left( \sum_i a_i (p_{i,t}^g)^2 + b_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \theta_t p_t^{grid} + \sum_t \left( \sum_j \xi_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$$

确定所述多能源网络的运行成本;其中, $f_C$ 为所述多能源网络的运行成本, $a_i$ 与 $b_i$ 为电网机组 $i$ 的运行成本系数, $p_{i,t}^g$ 为电网机组 $i$ 的电源有功功率出力; $\theta_t$ 为上级电网售电电价; $\xi_j$ 与 $\omega_j$ 为热网机组 $j$ 的运行成本系数; $p_t^{grid}$ 为从上级电网的购电量,满足 $p_t^{grid} = P_{01,t}$ ;  $h_{j,t}^g$ 表示热网机组 $j$ 的热源供热量;

$$[0044] \quad \text{碳排放量确定单元,用于利用 } f_E = \sum_t \left( \sum_i \alpha_i (p_{i,t}^g)^2 + \beta_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \left( \sum_j \zeta_j (h_{j,t}^g)^2 + \bar{\omega}_j h_{j,t}^g \right)$$

模型确定所述多能源网络的碳排放量;其中, $f_E$ 为所述多能源网络的碳排放量, $\alpha_i$ , $\beta_i$ 分别为电网机组 $i$ 的碳排系数; $\zeta_j$ 与 $\bar{\omega}_j$ 为热网机组 $j$ 的碳排系数;

[0045] 第一目标函数确定单元,用于将运行成本最低确定为第一目标函数;

[0046] 第二目标函数确定单元,用于将碳排放量最低确定为第二目标函数;

[0047] 调度模型确定单元,用于将所述第一目标函数、所述第二目标函数及所述约束条件确定为所述多能源网络的调度模型。

[0048] 可选的,所述非劣解集合确定模块利用正交边界交叉法获取均匀分布的帕累托前沿解,获得所述非劣解集合,所述非劣解集合的元素为所述帕累托前沿解。

[0049] 可选的,所述最佳权衡解确定模块,具体包括:

[0050] 纳什协商问题确定单元,用于确定纳什协商问题为第三目标函数

$$\max_{x \in X_p} (f_C^d - f_C(x))(f_E^d - f_E(x)), \text{ 其中 } f_C^d \text{ 为运行成本最大值, } f_E^d \text{ 为碳排量最大值, } X_p \text{ 为}$$

所述非劣解集合中帕累托前沿解对应的决策变量集合,所述决策变量集合包括各热源出力、电源出力、从电网购电量、电网运行状态变量、热网运行状态变量,所述电网运行状态变量包括节点电压、线路传输有功功率和无功功率,所述热网运行状态包括节点供回水温度;

[0051] 等效二阶锥形式确定单元,用于确定所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式为

$$\begin{aligned} & \max_{x \in X_p} t \\ & \text{s.t. } t_1 t_2 \geq t^2 \\ & \quad f_C^d - f_C(x) \geq t_1; \\ & \quad f_E^d - f_E(x) \geq t_2; \\ & \quad t_1 \geq 0, t_2 \geq 0 \end{aligned}$$

[0052] 纳什协商解获得单元,用于根据所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式获得所述纳什协商解;

[0053] 最佳权衡解确定单元,用于将所述纳什协商解确定为所述最佳权衡解。。

[0054] 根据本发明提供的具体实施例,本发明公开了以下技术效果:

[0055] 计及多能源网络多能流损耗,采用支路潮流模型描述电网潮流分布,采用水力热力耦合模型描述区域供热网络潮流分布,具有运行成本最小与碳排最小两个目标。采用正交边界交叉法获得均匀分布的帕累托前沿,为进一步获取最佳权衡解,基于合作博弈思想,将双目标转化为纳什协商问题,并采用二阶锥松弛规划方法求解纳什协商解,从而实现基于合作博弈的成本与碳排双目标间的最佳权衡,供多能源网络运行调度人员使用,优化调度过程客观快捷。

## 附图说明

[0056] 为了更清楚地说明本发明实施例或现有技术中的技术方案,下面将对实施例中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本发明的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0057] 图1为本发明多能源网络的低碳优化调度方法的流程示意图;

[0058] 图2为本发明多能源网络的低碳优化调度系统的结构示意图;

[0059] 图3为本发明具体实施方式的流程示意图。

## 具体实施方式

[0060] 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做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。

[0061] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂,下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步详细的说明。

[0062] 图1为本发明多能源网络的低碳优化调度方法的流程示意图。如图1所示,所述方法包括:

[0063] 步骤100:确定多能源网络中电网的潮流分布。采用支路潮流模型确定多能源网络中的电网的潮流分布,具体包括:

$$[0064] \begin{cases} P_{ij,t} + p_{j,t}^g - r_{ij} I_{ij,t} = \sum_{k \in \pi(j)} P_{jk,t} + p_{j,t}^d, \forall l(i, j), \forall t \\ Q_{ij,t} + q_{j,t}^g - x_{ij} I_{ij,t} = \sum_{k \in \pi(j)} Q_{jk,t} + q_{j,t}^d, \forall l(i, j), \forall t \\ U_{j,t} = U_{i,t} - 2(r_{ij} P_{ij,t} + x_{ij} Q_{ij,t}) + (z_{ij})^2 I_{ij,t}, \forall l(i, j), \forall t \\ I_{ij,t} U_{i,t} = P_{ij,t}^2 + Q_{ij,t}^2, \forall l(i, j), \forall t \\ I_{ij,t} \leq I_{ij}^u, U_i^l \leq U_{i,t} \leq U_i^u, \forall i, l(i, j), \forall t \\ p_i^l \leq p_{i,t}^g \leq p_i^u, q_i^l \leq q_{i,t}^g \leq q_i^u, \forall i, \forall t \end{cases}$$

[0065] 其中,t表示调度时刻, $P_{ij,t}$ 为线路传输有功功率, $Q_{ij,t}$ 为线路传输无功功率, $p_{j,t}^d$ 为节点j的有功负荷需求; $q_{j,t}^d$ 为节点j的无功负荷需求; $p_{j,t}^g$ 为电源有功功率出力; $q_{j,t}^g$ 为电源的无功功率出力; $\pi(j)$ 为节点j的子节点集合; $x_{ij}$ 为线路电抗, $r_{ij}$ 为线路电阻, $z_{ij}$ 为线路阻抗, $U_{j,t}$ 为节点电压幅值的平方; $I_{ij,t}$ 为线路电流的平方,上标l表示下界,上标u表示上界。

[0066] 步骤200:确定多能源网络中的区域供热网络的潮流分布。采用水力热力耦合模型确定所述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布,具体包括:

$$\begin{cases}
h_{i,t}^g = c \dot{m}_{i,t}^g (\tau_{i,t}^S - \tau_{i,t}^R), h_{i,t}^d = c \dot{m}_{i,t}^d (\tau_{i,t}^S - \tau_{i,t}^R), \forall i, t \\
\sum_{b \in T(i)} (\tau_{b,t}^{S,out} \dot{m}_{b,t}^S) = \tau_{i,t}^S \sum_{b \in T(i)} \dot{m}_{b,t}^S, \forall i, t \\
\sum_{b \in F(i)} (\tau_{b,t}^{R,out} \dot{m}_{b,t}^R) = \tau_{i,t}^R \sum_{b \in F(i)} \dot{m}_{b,t}^R, \forall i, t \\
\tau_{b,t}^{S,in} = \tau_{i,t}^S, \tau_{b,t}^{R,in} = \tau_{i,t}^R, \forall i, b, t \\
\tau_{b,t}^{S,out} = (\tau_{b,t}^{S,in} - \tau_t^{am}) e^{-\frac{\lambda_b L_b}{cm_{b,t}^S}} + \tau_t^{am}, \forall b, t \\
\tau_{b,t}^{R,out} = (\tau_{b,t}^{R,in} - \tau_t^{am}) e^{-\frac{\lambda_b L_b}{cm_{b,t}^R}} + \tau_t^{am}, \forall b, t
\end{cases}
\quad [0067]$$

[0068] 其中,  $c$  为载热流体的比热容,  $\tau_{b,t}^{S,out}$ ,  $\tau_{b,t}^{S,in}$ ,  $\tau_{b,t}^{R,out}$ ,  $\tau_{b,t}^{R,in}$  分别为供回水管网出口及入口温度,  $b$  为管道索引,  $t$  为调度时刻索引;  $\tau_{i,t}^S$ ,  $\tau_{i,t}^R$  分别为供回水管道节点温度,  $\tau_t^{am}$  为环境温度;  $\dot{m}_{b,t}^S$ ,  $\dot{m}_{b,t}^R$  分别为供回水管网载热流体质量流速;  $\lambda_b$  为管道温度损耗系数,  $L_b$  为管道长度;  $F(i)$  表示以节点  $i$  为首节点的管道集合,  $T(i)$  表示以节点  $i$  为末节点的管道集合;  $h_{i,t}^g$  表示热源供热量,  $h_{i,t}^d$  表示热负荷热需求。

[0069] 步骤300: 确定多能源网络的调度模型。多能源网络节能减排优化调度具有最小化运行成本与最小化碳排两个目标, 因此, 所述调度模型中包括运行成本最低的第一目标函数和碳排量最低的第二目标函数, 约束条件为所述电网的潮流分布和所述区域供热网络的潮流分布。确定多能源网络的调度模型具体包括:

[0070] 利用模型  $f_C = \sum_t \left( \sum_i a_i (p_{i,t}^g)^2 + b_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \theta_t p_t^{grid} + \sum_t \left( \sum_j \xi_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$  确定所述多能源网络的运行成本; 其中,  $a_i$  与  $b_i$  为电网机组  $i$  的运行成本系数;  $\theta_t$  为上级电网售电价;  $\xi_j$  与  $\omega_j$  为热网机组  $j$  的运行成本系数;  $p_{i,t}^{grid}$  为从上级电网的购电量, 满足  $p_t^{grid} = P_{01,t}$ ;

[0071] 利用模型  $f_E = \sum_t \left( \sum_i \alpha_i (p_{i,t}^g)^2 + \beta_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \left( \sum_j \zeta_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$  确定所述多能源网络的碳排量; 其中,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  分别为电网机组  $i$  的碳排系数;  $\zeta_j$  与  $\omega_j$  为热网机组  $j$  的碳排系数,  $h_{j,t}^g$  表示热网机组  $j$  的热源供热量;

[0072] 将运行成本最低确定为第一目标函数, 即第一目标函数为  $\min f_C$ ;

[0073] 将碳排量最低确定为第二目标函数, 即第二目标函数为  $\min f_E$ ;

[0074] 将所述第一目标函数、所述第二目标函数及所述的区域电网与供热网络的潮流分

布为所述多能源网络的调度模型,约束条件为步骤100和步骤200确定的潮流分布。

[0075] 步骤400:确定多能源网络调度模型中第一目标函数和第二目标函数的非劣解集合。采用正交边界交叉法获取均匀分布的帕累托前沿解。非劣解集合的元素为所述帕累托前沿解。

[0076] 步骤500:利用纳什协商问题确定最佳权衡解。基于合作博弈思想,将节能减排优化调度模型转为纳什协商问题,并采用二阶锥松弛规划方法进行求解。具体如下:

[0077] 确定纳什协商问题为第三目标函数  $\max_{x \in X_p} (f_C^d - f_C(x))(f_E^d - f_E(x))$ ,其中  $f_C^d$  为

运行成本最大值,  $f_E^d$  为碳排放量最大值,  $X_p$  为所述非劣解集合中帕累托前沿解对应的决策变量集合,所述决策变量集合包括各热源出力、电源出力、从电网购电量、电网运行状态变量、热网运行状态变量,所述热源包括热电联产机组,所述电源包括燃气轮机,所述电网运行状态变量包括节点电压、线路传输有功功率和无功功率,所述热网运行状态包括节点供回水温度;

[0078] 确定所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式为

$$\max_{x \in X_p} t$$

$$s.t. t_1 t_2 \geq t^2$$

$$\begin{aligned} [0079] \quad & f_C^d - f_C(x) \geq t_1; \\ & f_E^d - f_E(x) \geq t_2; \\ & t_1 \geq 0, t_2 \geq 0 \end{aligned}$$

[0080] 根据所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式获得纳什协商解;

[0081] 将所述纳什协商解确定为所述最佳权衡解。

[0082] 步骤600:对多能源网络的机组出力进行优化调度。步骤500中获得最佳权衡解,最佳权衡解包括运行成本和碳排放量的具体值,即最佳的成本与碳排放权衡解。每个数值对应调度模型中的决策变量的参数。决策变量包括:各热源出力、电源出力、配电网从电网购电量、电网运行状态变量(节点电压、线路传输有功无功等)、热网运行状态变量(节点供回水温度等)。从而根据最佳权衡解对调度模型中的决策变量的参数进行优化调度。

[0083] 图2为本发明多能源网络的低碳优化调度系统的结构示意图。如图2所示,所述系统包括:

[0084] 电网潮流确定模块201,用于采用支路潮流模型确定多能源网络中的电网的潮流分布。

[0085] 区域供热网络潮流确定模块202,用于采用水力热力耦合模型确定所述多能源网络中的区域供热网络的潮流分布。

[0086] 调度模型确定模块203,用于确定所述多能源网络的调度模型,所述调度模型中包括运行成本最低的第一目标函数和碳排放量最低的第二目标函数,约束条件为所述电网的潮流分布和所述区域供热网络的潮流分布。

[0087] 调度模型确定模块203,具体包括:

[0088] 运行成本确定单元,用于利用模型  $f_C = \sum_t \left( \sum_i a_i (p_{i,t}^g)^2 + b_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \theta_t p_t^{grid} + \sum_t \left( \sum_j \xi_j (h_{j,t}^g)^2 + \omega_j h_{j,t}^g \right)$  确定所述多能源网络的运行成本;其中,  $a_i$  与  $b_i$  为电网机组  $i$  的运行成本系数;  $\theta_t$  为上级电网售电电价;  $\xi_j$  与  $\omega_j$  为热网机组  $j$  的运行成本系数;  $p_{i,t}^{grid}$  为从上级电网的购电量,满足  $p_t^{grid} = P_{01,t}$ ;

[0089] 碳排量确定单元,用于利用  $f_E = \sum_t \left( \sum_i \alpha_i (p_{i,t}^g)^2 + \beta_i p_{i,t}^g \right) + \sum_t \left( \sum_j \zeta_j (h_{j,t}^g)^2 + \varpi_j h_{j,t}^g \right)$  模型确定所述多能源网络的碳排量;其中,  $\alpha_i$ ,  $\beta_i$  分别为电网机组  $i$  的碳排系数;  $\zeta_j$  与  $\varpi_j$  为热网机组  $j$  的碳排系数;

[0090] 第一目标函数确定单元,用于将运行成本最低确定为第一目标函数;

[0091] 第二目标函数确定单元,用于将碳排量最低确定为第二目标函数;

[0092] 调度模型确定单元,用于将所述第一目标函数、所述第二目标函数及所述电网潮流分布与所述热网潮流分布确定为所述多能源网络的调度模型。

[0093] 非劣解集合确定模块204,用于确定所述调度模型中所述第一目标函数和所述第二目标函数的非劣解集合。

[0094] 最佳权衡解确定模块205,用于根据所述非劣解集合,利用纳什协商问题确定最佳权衡解。

[0095] 最佳权衡解确定模块205,具体包括:

[0096] 纳什协商问题确定单元,用于确定纳什协商问题为第三目标函数

$\max_{x \in X_p} (f_C^d - f_C(x))(f_E^d - f_E(x))$ , 其中  $f_C^d$  为运行成本最大值,  $f_E^d$  为碳排量最大值,  $X_p$  为

所述非劣解集合中帕累托前沿解对应的决策变量集合,所述决策变量集合包括各热源出力、电源出力、从电网购电量、电网运行状态变量、热网运行状态变量,所述电网运行状态变量包括节点电压、线路传输有功功率和无功功率,所述热网运行状态包括节点供回水温度;

[0097] 等效二阶锥形式确定单元,用于确定所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式为

$$\begin{aligned} & \max_{x \in X_p} t \\ & s.t. \quad t_1 t_2 \geq t^2 \\ & \quad f_C^d - f_C(x) \geq t_1; \\ & \quad f_E^d - f_E(x) \geq t_2 \\ & \quad t_1 \geq 0, t_2 \geq 0 \end{aligned}$$

[0098] 纳什协商解获得单元,用于根据所述纳什协商问题的等效二阶锥松弛形式获得所述纳什协商解;

[0099] 最佳权衡解确定单元,用于将所述纳什协商解确定为所述最佳权衡解。

[0100] 优化调度模块206,用于根据所述最佳权衡解对所述多能源网络的机组出力进行优化调度。

[0101] 图3为本发明具体实施方式的流程示意图。如图3所示,具体实施时,针对热电多能

流网络,采用支路潮流法描述配电网潮流,采用水力热力耦合模型描述区域供热网络潮流,计及多能源网络多能流损耗,构建基于运行成本最小与碳排最小的多能源网络节能减排优化调度方法。采用正交边界交叉法获得均匀分布的帕雷托前沿,为进一步获取成本与碳排最佳权衡解,基于合作博弈思想,将双目标转化为纳什协商问题,并采用二阶锥松弛规划方法获取纳什协商最优解,从而实现成本与碳排双目标间的最佳权衡,供多能源网络运行调度人员使用。包括以下内容:

[0102] (1) 计及多能源网络损耗,采用支路潮流描述电网潮流,采用水力热力耦合模型描述区域供热管网潮流。同时也是后续调度模型的约束条件。

[0103] 采用支路潮流模型描述热电多能源网络中配电网潮流分布,其优势在于可监测区域电网的节点电压、线路无功等,同时该模型可被线性化或采用二阶锥松弛进行高效求解;

[0104] 支路潮流模型如下所示:

$$[0105] \begin{cases} P_{ij,t} + p_{j,t}^g - r_{ij} I_{ij,t} = \sum_{k \in \pi(j)} P_{jk,t} + p_{j,v}^d, \forall l(i, j), \forall t \\ Q_{ij,t} + q_{j,t}^g - x_{ij} I_{ij,t} = \sum_{k \in \pi(j)} Q_{jk,t} + q_{j,v}^d, \forall l(i, j), \forall t \\ U_{j,t} = U_{i,t} - 2(r_{ij} P_{ij,t} + x_{ij} Q_{ij,t}) + (z_{ij})^2 I_{ij,t}, \forall l(i, j), \forall t \\ I_{ij,t} U_{i,t} = P_{ij,t}^2 + Q_{ij,t}^2, \forall l(i, j), \forall t \\ I_{ij,t} \leq I_{ij}^u, U_i^l \leq U_{i,t} \leq U_i^u, \forall i, l(i, j), \forall t \\ p_i^l \leq p_{i,t}^g \leq p_i^u, q_i^l \leq q_{i,t}^g \leq q_i^u, \forall i, \forall t \end{cases}$$

[0106] 其中,t表示调度时刻, $P_{ij,t}$ 为线路传输有功功率, $Q_{ij,t}$ 为线路传输无功功率, $p_{j,t}^d$ 为节点j的有功负荷需求; $q_{j,t}^d$ 为节点j的无功负荷需求; $p_{j,t}^g$ 为电源有功功率出力; $q_{j,t}^g$ 为电源的无功功率出力; $\pi(j)$ 为节点j的子节点集合; $x_{ij}$ 为线路电抗, $r_{ij}$ 为线路电阻, $z_{ij}$ 为线路阻抗, $U_{j,t}$ 为节点电压幅值的平方; $I_{ij,t}$ 为线路电流的平方,上标l表示下界,上标u表示上界。

[0107] 采用水力热力耦合模型描述热电多能源网络中区域供热网络的潮流分布,如下所示:

$$\begin{cases}
 h_{i,t}^g = c \dot{m}_{i,t}^g (\tau_{i,t}^S - \tau_{i,t}^R), h_{i,t}^d = c \dot{m}_{i,t}^d (\tau_{i,t}^S - \tau_{i,t}^R), \forall i,t \\
 \sum_{b \in T(i)} (\tau_{b,t}^{S,out} \dot{m}_{b,t}^S) = \tau_{i,t}^S \sum_{b \in T(i)} \dot{m}_{b,t}^S, \forall i,t \\
 \sum_{b \in F(i)} (\tau_{b,t}^{R,out} \dot{m}_{b,t}^R) = \tau_{i,t}^R \sum_{b \in F(i)} \dot{m}_{b,t}^R, \forall i,t \\
 \tau_{b,t}^{S,in} = \tau_{i,t}^S, \tau_{b,t}^{R,in} = \tau_{i,t}^R, \forall i,b,t \\
 \tau_{b,t}^{S,out} = (\tau_{b,t}^{S,in} - \tau_t^{am}) e^{-\frac{\lambda_b L_b}{cm_{b,t}^S}} + \tau_t^{am}, \forall b,t \\
 \tau_{b,t}^{R,out} = (\tau_{b,t}^{R,in} - \tau_t^{am}) e^{-\frac{\lambda_b L_b}{cm_{b,t}^R}} + \tau_t^{am}, \forall b,t
 \end{cases}
 \quad [0108]$$

[0109] 其中,  $c$  为载热流体的比热容,  $\tau_{b,t}^{S,out}$ ,  $\tau_{b,t}^{S,in}$ ,  $\tau_{b,t}^{R,out}$ ,  $\tau_{b,t}^{R,in}$  分别为供回水管网出口及入口温度,  $b$  为管道索引,  $t$  为调度时刻索引;  $\tau_{i,t}^S$ ,  $\tau_{i,t}^R$  分别为供回水管道节点温度,  $\tau_t^{am}$  为环境温度;  $\dot{m}_{b,t}^S$ ,  $\dot{m}_{b,t}^R$  分别为供回水管网载热流体质量流速;  $\lambda_b$  为管道温度损耗系数,  $L_b$  为管道长度;  $F(i)$  表示以节点  $i$  为首节点的管道集合,  $T(i)$  表示以节点  $i$  为末节点的管道集合;  $h_{i,t}^g$  表示热源供热量,  $h_{i,t}^d$  表示热负荷热需求。

[0110] (2) 多能源网络节能减排优化调度具有最小化运行成本与最小化碳排两个目标。决策变量主要包括各热源出力、电源出力、配电网从电网购电量、电网运行状态变量(节点电压、线路传输有功无功等)、热网运行状态变量(节点供回水温度等)。

[0111] (3) 多能源网络节能减排优化调度模型求解方法:

[0112] 运行成本与碳排量两个目标一般无法同时达到最小值, 实际热电多能源网络中运行调度人员需要两种调度策略, 一是一系列非劣解集合(帕累托前沿); 二是在帕累托前沿上获取一个最佳权衡解。

[0113] 针对第一种情况, 采用正交边界交叉法获取均匀分布的帕累托前沿前沿解。此时, 调度人员根据工作要求可以从非劣解集合中选取一个帕累托前沿前沿解进行调度。

[0114] 对于第二种情况, 在得到非劣解集合的基础上, 综合考虑各种因素, 确定一个最佳权衡解, 座位调度的策略。基于合作博弈思想, 将节能减排优化调度模型转为 Nash 协商问题

$$\max_{x \in X_p} (f_C^d - f_C(x))(f_E^d - f_E(x)), \text{ 并采用二阶锥松弛规划方法进行求解。}$$

[0115] 本具体实施方式的优点是: 计及多能源网络多能流损耗, 采用支路潮流模型描述配电网潮流分布, 采用水力热力耦合模型描述区域集中供热网络潮流分布, 具有运行成本最小与碳排最小两个目标。采用正交边界交叉法获得均匀分布的帕累托前沿, 为进一步获取最佳权衡解, 基于合作博弈思想, 将双目标转化为纳什协商问题, 并采用二阶锥松弛规划方法求解纳什协商解, 从而实现基于合作博弈的成本与碳排双目标间的最佳权衡, 供多能



源网络运行调度人员使用。

[0116] 对于实施例公开的系统而言,由于其与实施例公开的方法相对应,所以描述的比较简单,相关之处参见方法部分说明即可。

[0117] 本文中应用了具体个例对本发明的原理及实施方式进行了阐述,以上实施例的说明只是用于帮助理解本发明的方法及其核心思想;同时,对于本领域的一般技术人员,依据本发明的思想,在具体实施方式及应用范围上均会有改变之处。综上所述,本说明书内容不应理解为对本发明的限制。

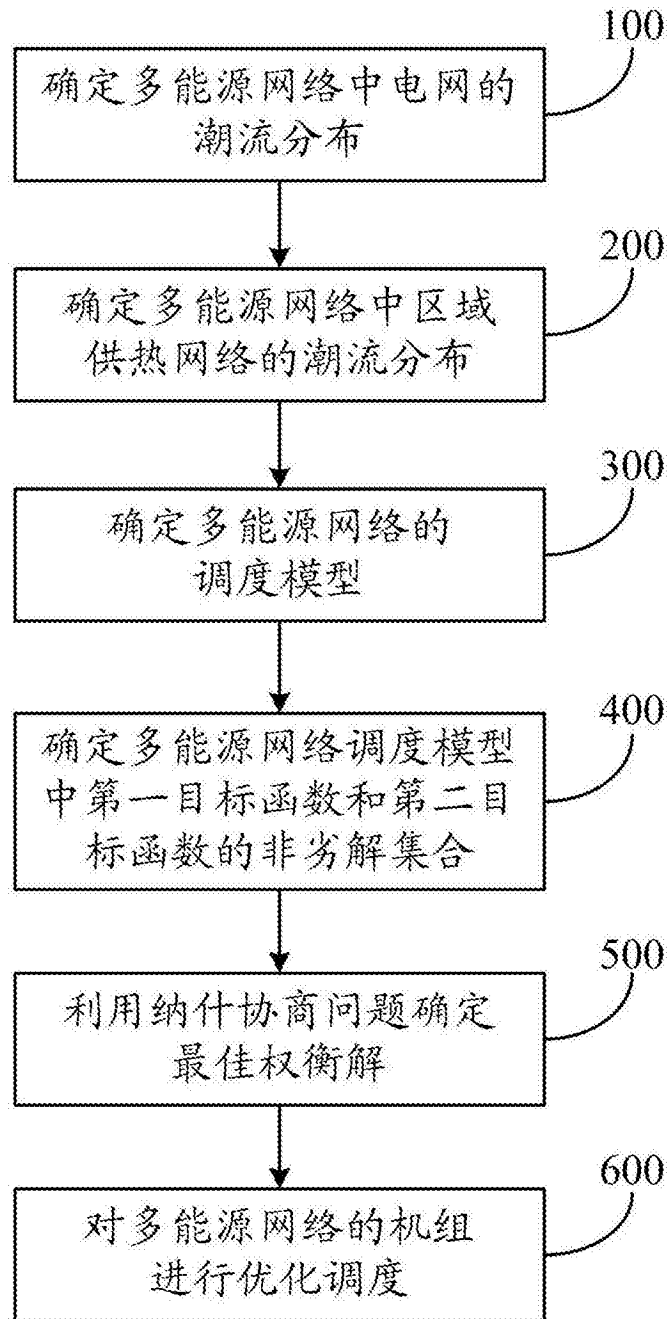


图1

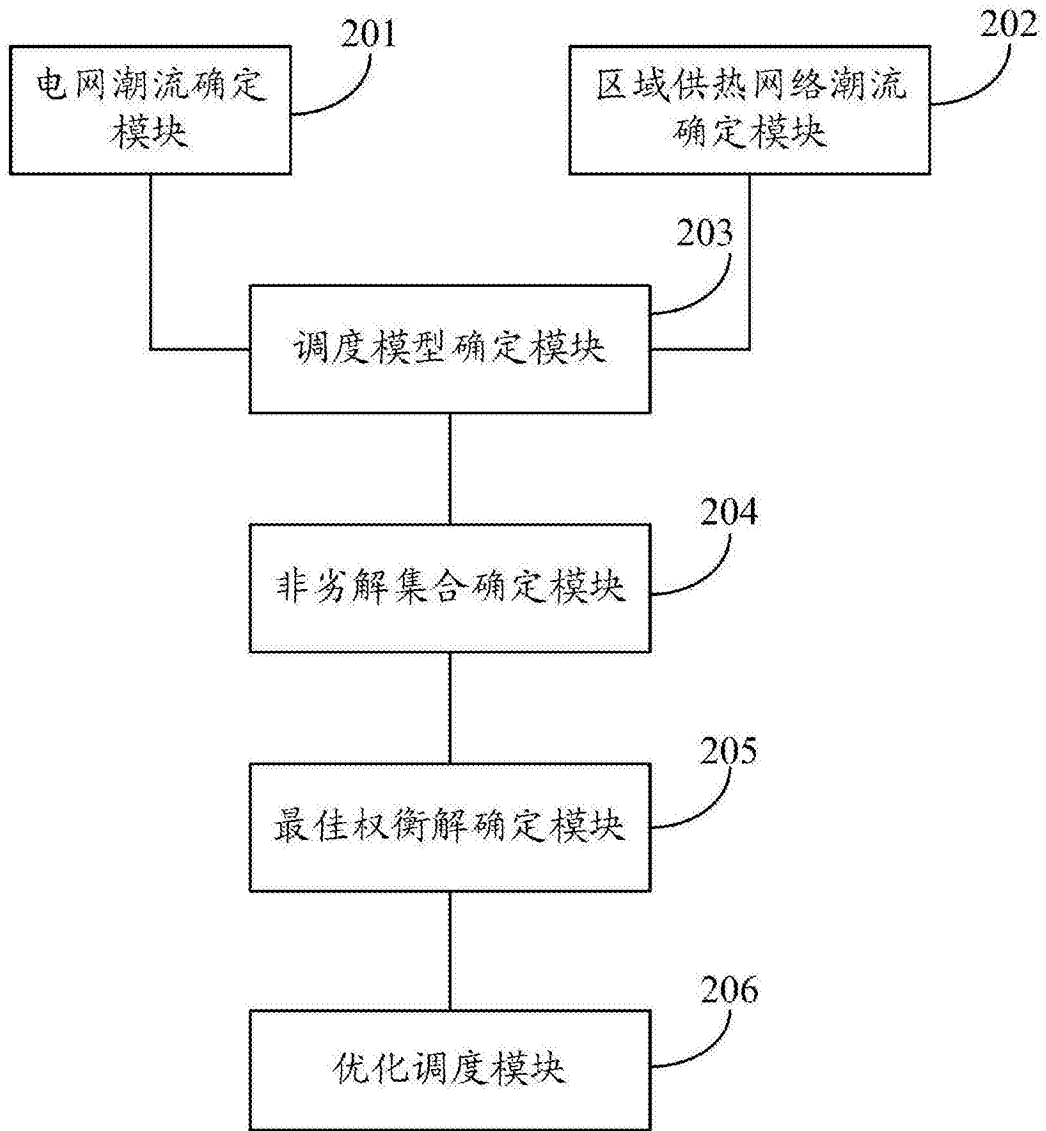


图2

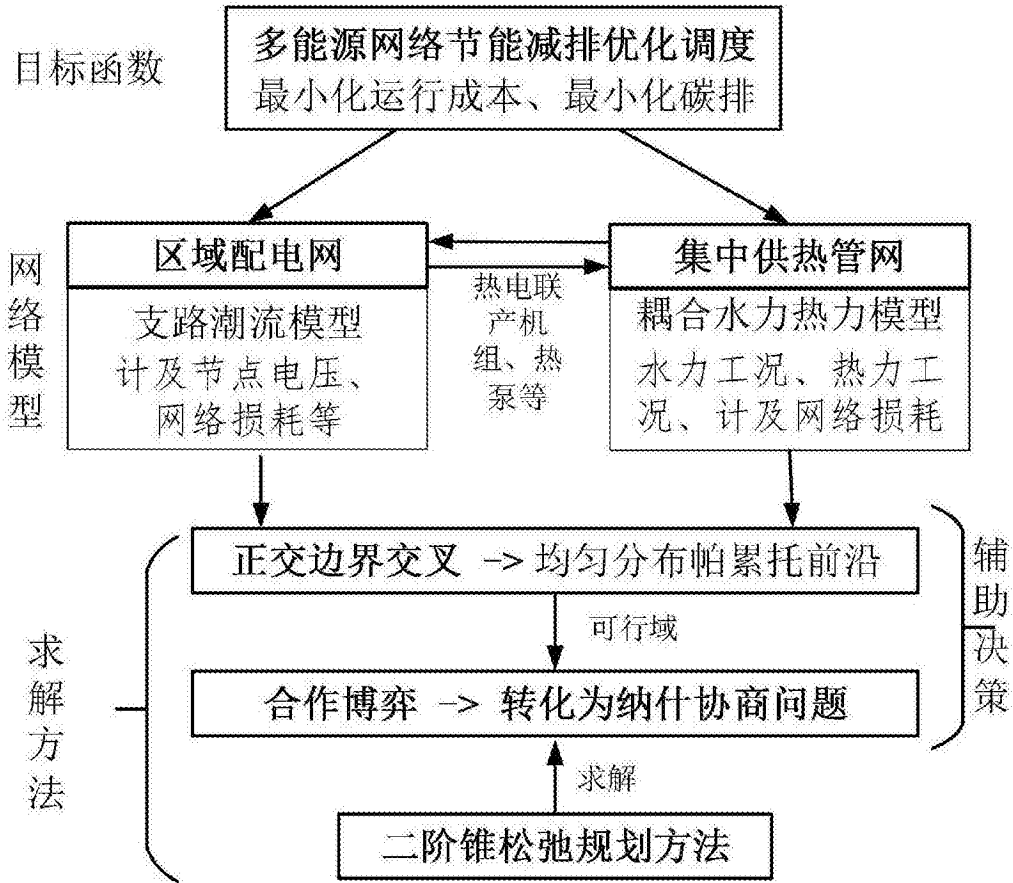


图3