



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 107726538 B

(45) 授权公告日 2020.12.22

(21) 申请号 201610654302.X

(22) 申请日 2016.08.10

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 107726538 A

(43) 申请公布日 2018.02.23

(73) 专利权人 国家电网公司
地址 100031 北京市西城区西长安街86号
专利权人 中国电力科学研究院
国网江苏省电力公司

(72) 发明人 石坤 李德智 杨斌 阮文骏
刘尧 卜凡鹏 潘明明 陈宋宋
董明宇 易永仙 崔高颖

(74) 专利代理机构 北京安博达知识产权代理有
限公司 11271
代理人 徐国文

(51) Int.Cl.

F24F 11/46 (2018.01)

F24F 11/64 (2018.01)

F24F 11/88 (2018.01)

F24F 110/10 (2018.01)

(56) 对比文件

US 2010211443 A1, 2010.08.19

EP 0892231 A2, 1999.01.20

审查员 丁斐

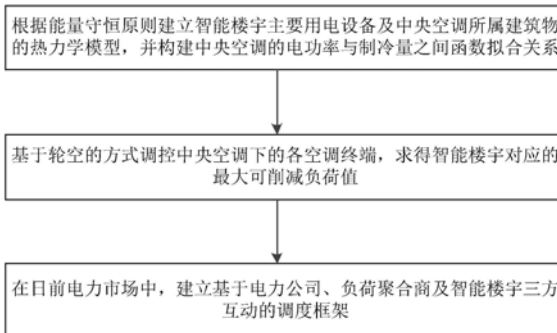
权利要求书3页 说明书11页 附图3页

(54) 发明名称

一种智能楼宇用电调控方法

(57) 摘要

本发明提供一种智能楼宇用电调控方法,根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备及中央空调所属建筑物的热力学模型,并构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系;基于轮控的方式调控中央空调下的各空调终端,求得智能楼宇对应的最大可削减负荷值;在日前电力市场中,建立基于电力公司、负荷聚合商及智能楼宇三方互动的调度框架。本发明提出的方法为负荷聚合商参与日前电力市场进行投标提供依据;在电力公司层面和负荷聚合商层面根据节能效果最大化进行优化调度,在充分挖掘智能楼宇需求响应潜力的同时保障了相关调度部门和用户的节能效果,进而保证了智能楼宇用电稳定而可靠的运行。



1. 一种智能楼宇用电调控方法,其特征在于,所述方法基于三方互动的方式对智能楼宇用电进行调控,所述三方包括电力公司、负荷聚合商及所述智能楼宇;

所述方法包括如下步骤:

步骤1. 根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备及中央空调所属建筑物的热力学模型,并构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系;

步骤2. 基于轮控的方式调控所述中央空调下的各空调终端,求得所述智能楼宇对应的最大可削减负荷值;

步骤3. 在日前电力市场中,建立基于所述电力公司、负荷聚合商及智能楼宇三方互动的调度框架;

所述步骤3包括:

在日前电力市场中,建立基于所述电力公司、负荷聚合商及智能楼宇三方互动的调度框架,且所述调度框架包括电力公司层面、负荷聚合商层面及智能楼宇层面;

其中,在所述电力公司层面,所述电力公司根据各个所述负荷聚合商的投标情况,以第二日削减时段的总花费最小为目标函数制定次日调度计划,实现负荷削减量指标在各个所述负荷聚合商之间的优化分配;

在所述负荷聚合商层面,所述负荷聚合商对中央空调实施轮控技术,优化中央空调的运行占空比;

若次日所述负荷聚合商的实际削减量少于所述调度计划,则所述负荷聚合商按减少的负荷削减量支付相应欠款至所述电力公司;

若次日所述负荷聚合商的实际削减量大于所述调度计划,则所述电力公司按照所述调度计划支付欠款至所述负荷聚合商;

在所述智能楼宇层面,若次日所述负荷聚合商的实际削减量大于所述调度计划,所述智能楼宇收取所述负荷聚合商支付的调度费用;

所述电力公司的目标函数为:

$$\begin{cases} \min F_{\text{cost}} = \sum_{t=1}^N \sum_{k=1}^M p(k,t)Q(k,t) \\ 0 \leq Q(k,t) \leq Q_{\max}(k,t) \\ \sum_{k=1}^M Q(k,t) \geq Q_f(t) \end{cases} \quad (5)$$

式(5)中, $p(k,t)$ 表示第k个负荷聚合商在时段t的报价,单位为元/MW; $Q(k,t)$ 表示第k个负荷聚合商在t时段的实际负荷削减量,单位为MW; $Q_{\max}(k,t)$ 表示第k个负荷聚合商在t时段的投标量,单位为MW; $Q_f(t)$ 表示t时段电力公司需要削减的负荷量,单位为MW; N 表示调度时段; M 表示负荷聚合商的数量。

2. 如权利要求1所述的方法,其特征在于,所述步骤1包括:

1-1. 根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备及中央空调所属建筑物的热力学模型;

1-2. 根据所述热力学模型,获取所述建筑物的房间内温度随时间的变化关系;

1-3. 根据空调铭牌参数,构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系;

1-4. 计算得到的所述房间所需制冷量及电功率, 根据用户对舒适度的要求设定所述房间内的温度变化范围。

3. 如权利要求2所述的方法, 其特征在于, 所述步骤1-1包括:

a. 计算得到任意时刻房间瞬时的热量集合;

b. 获取房间瞬时得热量中储存于围护结构中的蓄热量;

c. 计算得到房间与外界进行空气交换的新风负荷;

d. 根据所述瞬时得热量散失在室内空气中的热量及能量守恒定律, 制定空调房间能量关系, 进而得到所述热力学模型为:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dT_{in}}{dt} = \alpha(T_o - T_{in}) + \gamma - \mu Q \\ \alpha = \frac{\sum K_i F_i^{out} + n_k V C \rho + 1.01G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \\ \gamma = \frac{\sum A_i C_{s,i} C_{n,i} D_{jmax,i} C_{cl,i} + \varphi n q + n_1 n_2 n_3 n_4 \sum P_e + n_5 \sum P_l + 38.5G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \\ \mu = \frac{1}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \end{array} \right. \quad (1)$$

式(1)中, K_i 表示房间第*i*面墙的传热系数, 单位为 $W/m^2 \cdot ^\circ C$; F_i^{out} 表示房间第*i*面墙的传热面积, 单位为 m^2 ; T_o 为室外温度, 单位为 $^\circ C$; T_{in} 室内温度, 单位为 $^\circ C$; n_k 表示房间换气次数, 单位为次/h; $C=0.28J/kg \cdot ^\circ C$, 表示空气定压重量比热; V 房间空间制冷体积, 单位为 m^3 ; G 表示新风量, 单位为 g/s ; $\rho=1.29kg/m^3$, 表示空气密度; S_i 表示第*i*内墙面蓄热系数, 单位为 $W/m^2 \cdot ^\circ C$; F_i^{in} 表示第*i*面内墙面积, 单位为 m^2 ; A_i 表示*i*面墙的窗户面积, 单位为 m^2 ; $C_{s,i}$ 表示窗玻璃遮挡系数; $C_{n,i}$ 表示窗内遮阳设施的遮阳系数; $D_{jmax,i}$ 太阳辐射得热因素的最大值, 单位为 W/m^2 ; $C_{cl,i}$ 表示窗外冷负荷系数; φ 表示集群系数; n 表示房间内总人数; q 表示每个人的全散热热量, 单位为 W ; n_1 表示设备利用系数, 且 $0 \leq n_1 \leq 1$; n_2 表示负荷系数, 且 $0 \leq n_2 \leq 1$; n_3 表示同时使用系数, 且 $0 \leq n_3 \leq 1$; n_4 表示热能转化系数; $\sum P_e$ 表示设备总的额定功率, 单位为 W ; n_5 表示照明设备的同时使用系数; $\sum P_l$ 表示照明装置的总功率, 单位为 W ; Q 为中央空调制冷功率, 单位为 kW 。

4. 如权利要求3所述的方法, 其特征在于, 所述步骤a中的所述热量集合包括: 通过房间围护结构传入的热量、通过玻璃窗直接进入的太阳辐射热量、人体散热量、通过门窗从室外渗透空气带入的热量、空调终端散热量及照明设备的散热量。

5. 如权利要求3所述的方法, 其特征在于, 所述步骤1-2包括:

当制冷量保持不变的时候, 根据式(1)可得房间内温度 T_{in} 随时间 t 的变化关系为:

$$T_{in} = (T_{in}(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha}) e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha} \quad (2)$$

式(2)中, $T_{in}(0)$ 为初始室内温度, 单位为 $^\circ C$;

当空调处于关闭的状态时, 根据式(1)可得房间内温度 T_i 随时间的变化关系为:

$$T_{in} = (T_{in}(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha}) e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha} \quad (3)。$$

6. 如权利要求5所述的方法,其特征在于,所述步骤1-3包括:

根据空调铭牌参数,构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系为:

$$P=aQ^3+bQ^2+cQ+d \quad (4)$$

式(4)中,P为制冷机电功率,单位为W;a,b,c,d为拟合系数。

7. 如权利要求2所述的方法,其特征在于,所述步骤2包括:

2-1. 根据已设定的所述房间内的温度变化范围,用轮控的方式调控所述中央空调下的各空调终端;

2-2. 获取一个调控周期内的所述空调终端处于打开和关闭的时间、及各所述空调终端的占空比;

2-3. 根据所述空调终端的占空比集合,求得所述智能楼宇对应的最大可削减负荷值;

2-4. 根据所述最大可削减负荷值制定所述智能楼宇的潜力评估报告,为智能楼宇参与电力市场提供负荷削减量依据。

8. 如权利要求7所述的方法,其特征在于,所述步骤2-1包括:

e. 当房间内温度值超出所述温度变化范围且所述空调终端处于工作状态时,进入步骤f;

f. 所述中央空调控制所述房间内的所述空调终端开启并向所述空调终端供应固定功率的制冷量,直到室内温度下降至所述温度变化范围中的最小温度值时,进入步骤g;

g. 关闭所述空调终端,直到室内温度上升至所述温度变化范围中的最大温度值时,返回步骤f。

一种智能楼宇用电调控方法

技术领域

[0001] 本发明涉及智能楼宇参与电力市场的应用技术领域,具体涉及一种智能楼宇用电调控方法。

背景技术

[0002] 国内夏季空调负荷比重较高,智能楼宇的中央空调用电量较大,通过合理的控制手段可以实现负荷调整,参与系统的调峰等辅助服务,是一种重要的需求响应资源。单个智能楼宇中央空调的削负荷量较少,故需要通过专业的负荷资源整合商-负荷聚合商参与电力市场。负荷聚合商不仅能够代表中小型负荷资源参与电力市场,而且能够借助于智能电网的高级测量体系对负荷进行实时测量与控制,实现资源的高效利用和经济效益的最大化。

[0003] 随着《关于进一步深化电力体制改革的若干意见》的出台,中国电力市场改革日益深化,日前市场和实时市场运行机制将越来越成熟,为实现负荷侧资源的高效利用和相关企业经济效益的提高提供了一个有利契机。

发明内容

[0004] 有鉴于此,本发明提供一种智能楼宇用电调控方法,为负荷聚合商参与日前电力市场进行投标提供依据;在电力公司层面和负荷聚合商层面根据节能效果最大化进行优化调度,在充分挖掘智能楼宇需求响应潜力的同时保障了相关调度部门和用户的节能效果,进而保证了智能楼宇用电稳定而可靠的运行。

[0005] 本发明的目的是通过以下技术方案实现的:

[0006] 一种智能楼宇用电调控方法,所述方法基于三方互动的方式对智能楼宇用电进行调控,所述三方包括电力公司、负荷聚合商及所述智能楼宇;

[0007] 所述方法包括如下步骤:

[0008] 步骤1.根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备及中央空调所属建筑物的热力学模型,并构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系;

[0009] 步骤2.基于轮控的方式调控所述中央空调下的各空调终端,求得所述智能楼宇对应的最大可削减负荷值;

[0010] 步骤3.在日前电力市场中,建立基于所述电力公司、负荷聚合商及智能楼宇三方互动的调度框架。

[0011] 优选的,所述步骤1包括:

[0012] 1-1.根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备及中央空调所属建筑物的热力学模型;

[0013] 1-2.根据所述热力学模型,获取所述建筑物的房间内温度随时间的变化关系;

[0014] 1-3.根据空调铭牌参数,构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系;

[0015] 1-4.计算得到的所述房间所需制冷量及电功率,根据用户对舒适度的要求设定所

述房间内的温度变化范围。

[0016] 优选的,所述步骤1-1包括:

[0017] a. 计算得到任意时刻房间瞬时的热量集合;

[0018] b. 获取房间瞬时得热量中储存于围护结构中的蓄热量;

[0019] c. 计算得到房间与外界进行空气交换的新风负荷;

[0020] d. 根据所述瞬时得热量散失在室内空气中的热量及能量守恒定律,制定空调房间能量关系,进而得到所述热力学模型为:

$$[0021] \begin{cases} \frac{dT_{in}}{dt} = \alpha(T_o - T_i) + \gamma - \mu Q \\ \alpha = \frac{\sum K_i F_i^{out} + n_k V C \rho + 1.01 G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \\ \gamma = \frac{\sum A_i C_{s,i} C_{n,i} D_{jmax,i} C_{cl,i} + \varphi n q + n_1 n_2 n_3 n_4 \sum P_e + n_5 \sum P_l + 38.5 G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \\ \mu = \frac{1}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \end{cases} \quad (1)$$

[0022] 式(1)中, K_i 表示房间第*i*面墙的传热系数,单位为 $W/m^2 \cdot ^\circ C$; F_i^{out} 表示房间第*i*面墙的传热面积,单位为 m^2 ; T_o 为室外温度,单位为 $^\circ C$; T_i 室内温度,单位为 $^\circ C$; n_k 表示房间换气次数,单位为次/h; $C=0.28J/kg \cdot ^\circ C$,表示空气定压重量比热; V 房间空间制冷体积,单位为 m^3 ; G 表示新风量,单位为 g/s ; $\rho=1.29kg/m^3$,表示空气密度; S_i 表示第*i*内墙面蓄热系数,单位为 $W/m^2 \cdot ^\circ C$; F_i^{in} 表示第*i*面内墙面积,单位为 m^2 ; A_i 表示*i*面墙的窗户面积,单位为 m^2 ; $C_{s,i}$ 表示窗玻璃遮挡系数; $C_{n,i}$ 表示窗内遮阳设施的遮阳系数; $D_{jmax,i}$ 太阳辐射得热因素的最大值,单位为 W/m^2 ; $C_{cl,i}$ 表示窗外冷负荷系数; φ 表示集群系数; n 表示房间内总人数; q 表示每个人的全散热热量,单位为 W ; n_1 表示设备利用系数,且 $0 \leq n_1 \leq 1$; n_2 表示负荷系数,且 $0 \leq n_2 \leq 1$; n_3 表示同时使用系数,且 $0 \leq n_3 \leq 1$; n_4 表示热能转化系数; $\sum P_e$ 表示设备总的额定功率,单位为 W ; n_5 表示照明设备的同时使用系数; $\sum P_l$ 表示照明装置的总功率,单位为 W 。

[0023] 优选的,所述步骤a中的所述热量集合包括:通过房间围护结构传入的热量、通过玻璃窗直接进入的太阳辐射热量、人体散热量、通过门窗从室外渗透空气带入的热量、空调终端散热量及照明设备的散热量。

[0024] 优选的,所述步骤1-2包括:

[0025] 当制冷量保持不变的时候,根据式(1)可得房间内温度 T_i 随时间 t 的变化关系为:

$$[0026] T_i = (T_i(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha}) e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha} \quad (2)$$

[0027] 式(2)中, $T_{in}(0)$ 为初始室内温度,单位为 $^\circ C$;

[0028] 当空调处于关闭的状态时,根据式(1)可得房间内温度 T_i 随时间的变化关系为:

$$[0029] T_i = (T_i(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha}) e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha} \quad (3)。$$

[0030] 优选的,所述步骤1-3包括:

[0031] 根据空调铭牌参数,构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系为:

[0032] $P=aQ^3+bQ^2+cQ+d$ (4)

[0033] 式(4)中,P为制冷机电功率,单位为W;a,b,c,d为拟合系数。

[0034] 优选的,所述步骤2包括:

[0035] 2-1.根据已设定的所述房间内的温度变化范围,用轮控的方式调控所述中央空调下的各空调终端;

[0036] 2-2.获取一个调控周期内的所述空调终端处于打开和关闭的时间、及各所述空调终端的占空比;

[0037] 2-3.根据所述空调终端的占空比集合,求得所述智能楼宇对应的最大可削减负荷值;

[0038] 2-4.根据所述最大可削减负荷值制定所述智能楼宇的潜力评估报告,为智能楼宇参与电力市场提供负荷削减量依据。

[0039] 优选的,所述步骤2-1包括:

[0040] e.当房间内温度值超出所述温度变化范围且所述空调终端处于工作状态时,进入步骤f;

[0041] f.所述中央空调控制所述房间内的所述空调终端开启并向所述空调终端供应固定功率的制冷量,直到室内温度下降至所述温度变化范围中的最小温度值时,进入步骤g;

[0042] g.关闭所述空调终端,直到室内温度上升至所述温度变化范围中的最大温度值时,返回步骤f。

[0043] 优选的,所述步骤3包括:

[0044] 在日前电力市场中,建立基于所述电力公司、负荷聚合商及智能楼宇三方互动的调度框架,且所述调度框架包括电力公司层面、负荷聚合商层面及智能楼宇层面;

[0045] 其中,在所述电力公司层面,所述电力公司根据各个所述负荷聚合商的投标情况,以第二日削减时段的总花费最小为目标函数制定次日调度计划,实现负荷削减量指标在各个所述负荷聚合商之间的优化分配;

[0046] 在所述负荷聚合商层面,所述负荷聚合商对中央空调实施轮控技术,优化中央空调的运行占空比;

[0047] 若次日所述负荷聚合商的实际削减量少于所述调度计划,则所述负荷聚合商按减少的负荷削减量支付相应欠款至所述电力公司;

[0048] 若次日所述负荷聚合商的实际削减量大于所述调度计划,则所述电力公司按照所述调度计划支付欠款至所述负荷聚合商;

[0049] 在所述智能楼宇层面,若次日所述负荷聚合商的实际削减量大于所述调度计划,所述智能楼宇收取所述负荷聚合商支付的调度费用。

[0050] 优选的,所述电力公司的目标函数为:

$$[0051] \begin{cases} \min F_{\text{cost}} = \sum_{t=1}^N \sum_{k=1}^M p(k,t)Q(k,t) \\ 0 \leq Q(k,t) \leq Q_{\text{max}}(k,t) \\ \sum_{k=1}^M Q(k,t) \geq Q_f(t) \end{cases} \quad (5)$$

[0052] 式(5)中, $p(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在时段 t 的报价,单位为元/MW; $Q(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在 t 时段的实际负荷削减量,单位为MW; $Q_{\max}(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在 t 时段的投标量,单位为MW; $Q_f(t)$ 表示 t 时段电力公司需要削减的负荷量,单位为MW; N 表示调度时段; M 表示负荷聚合商的数量。

[0053] 从上述的技术方案可以看出,本发明提供了一种智能楼宇用电调控方法,根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备及中央空调所属建筑物的热力学模型,并构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系;基于轮控的方式调控中央空调下的各空调终端,求得智能楼宇对应的最大可削减负荷值;在日前电力市场中,建立基于电力公司、负荷聚合商及智能楼宇三方互动的调度框架。本发明提出的方法为负荷聚合商参与日前电力市场进行投标提供依据;在电力公司层面和负荷聚合商层面根据节能效果最大化进行优化调度,在充分挖掘智能楼宇需求响应潜力的同时保障了相关调度部门和用户的节能效果,进而保证了智能楼宇用电稳定而可靠的运行。

[0054] 与最接近的现有技术比,本发明提供的技术方案具有以下优异效果:

[0055] 1、本发明所提供的技术方案中,对智能楼宇的典型用电设备-中央空调进行了热力学建模和电气建模,并通过轮控技术手段对其进行控制,提出了空调负荷削减量的潜力评估方法,为负荷聚合商参与日前电力市场进行投标提供依据;在电力公司层面和负荷聚合商层面根据节能效益最大化进行优化调度。

[0056] 2、本发明所提供的技术方案,在充分挖掘智能楼宇需求响应潜力的同时保障了相关调度部门和用户的节能效果,进而保证了智能楼宇用电稳定而可靠的运行。

[0057] 3、本发明提供的技术方案,应用广泛,具有显著的社会效益和经济效益。

附图说明

[0058] 图1是本发明的一种智能楼宇用电调控方法的流程图;

[0059] 图2是本发明的具体应用例中的方法总流程图;

[0060] 图3是本发明的具体应用例中的中央空调所属建筑物能量守恒示意图;

[0061] 图4是本发明的具体应用例中的日前市场调度框架图。

具体实施方式

[0062] 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。

[0063] 如图1所示,本发明提供一种智能楼宇用电调控方法,基于三方互动的方式对智能楼宇用电进行调控,三方包括电力公司、负荷聚合商及智能楼宇;

[0064] 包括如下步骤:

[0065] 步骤1.根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备及中央空调所属建筑物的热力学模型,并构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系;

[0066] 步骤2.基于轮控的方式调控中央空调下的各空调终端,求得智能楼宇对应的最大可削减负荷值;

[0067] 步骤3.在日前电力市场中,建立基于电力公司、负荷聚合商及智能楼宇三方互动的调度框架。

[0068] 其中,步骤1包括:

[0069] 1-1.根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备及中央空调所属建筑物的热力学模型;

[0070] 1-2.根据热力学模型,获取建筑物的房间内温度随时间的变化关系;

[0071] 1-3.根据空调铭牌参数,构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系;

[0072] 1-4.计算得到的房间所需制冷量及电功率,根据用户对舒适度的要求设定房间内的温度变化范围。

[0073] 其中,步骤1-1包括:

[0074] a.计算得到任意时刻房间瞬时的热量集合;

[0075] b.获取房间瞬时得热量中储存于围护结构中的蓄热量;

[0076] c.计算得到房间与外界进行空气交换的新风负荷;

[0077] d.根据瞬时得热量散失在室内空气的热量及能量守恒定律,制定空调房间能量关系,进而得到热力学模型为:

$$[0078] \begin{cases} \frac{dT_{in}}{dt} = \alpha(T_o - T_i) + \gamma - \mu Q \\ \alpha = \frac{\sum K_i F_i^{out} + n_k V C \rho + 1.01 G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \\ \gamma = \frac{\sum A_i C_{s,i} C_{n,i} D_{jmax,i} C_{cl,i} + \varphi n q + n_1 n_2 n_3 n_4 \sum P_e + n_5 \sum P_l + 38.5 G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \\ \mu = \frac{1}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \end{cases} \quad (1)$$

[0079] 式(1)中, K_i 表示房间第*i*面墙的传热系数,单位为 $W/m^2 \cdot ^\circ C$; F_i^{out} 表示房间第*i*面墙的传热面积,单位为 m^2 ; T_o 为室外温度,单位为 $^\circ C$; T_i 室内温度,单位为 $^\circ C$; n_k 表示房间换气次数,单位为次/h; $C=0.28J/kg \cdot ^\circ C$,表示空气定压重量比热; V 房间空间制冷体积,单位为 m^3 ; G 表示新风量,单位为g/s; $\rho=1.29kg/m^3$,表示空气密度; S_i 表示第*i*内墙面蓄热系数,单位为 $W/m^2 \cdot ^\circ C$; F_i^{in} 表示第*i*面内墙面积,单位为 m^2 ; A_i 表示*i*面墙的窗户面积,单位为 m^2 ; $C_{s,i}$ 表示窗玻璃遮挡系数; $C_{n,i}$ 表示窗内遮阳设施的遮阳系数; $D_{jmax,i}$ 太阳辐射得热因素的最大值,单位为 W/m^2 ; $C_{cl,i}$ 表示窗外冷负荷系数; φ 表示集群系数; n 表示房间内总人数; q 表示每个人的全散热热量,单位为W; n_1 表示设备利用系数,且 $0 \leq n_1 \leq 1$; n_2 表示负荷系数,且 $0 \leq n_2 \leq 1$; n_3 表示同时使用系数,且 $0 \leq n_3 \leq 1$; n_4 表示热能转化系数; $\sum P_e$ 表示设备总的额定功率,单位为W; n_5 表示照明设备的同时使用系数; $\sum P_l$ 表示照明装置的总功率,单位为W。

[0080] 其中,步骤a中的热量集合包括:通过房间围护结构传入的热量、通过玻璃窗直接进入的太阳辐射热量、人体散热量、通过门窗从室外渗透空气带入的热量、空调终端散热量及照明设备的散热量。

[0081] 其中,步骤1-2包括:

[0082] 当制冷量保持不变的时候,根据式(1)可得房间内温度 T_i 随时间*t*的变化关系为:

$$[0083] \quad T_i = (T_i(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha})e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha} \quad (2)$$

[0084] 式(2)中, $T_{in}(0)$ 为初始室内温度, 单位为 $^{\circ}\text{C}$;

[0085] 当空调处于关闭的状态时, 根据式(1)可得房间内温度 T_i 随时间的变化关系为:

$$[0086] \quad T_i = (T_i(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha})e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha} \quad (3)。$$

[0087] 其中, 步骤1-3包括:

[0088] 根据空调铭牌参数, 构建中央空调的电功率与制冷量之间函数拟合关系为:

$$[0089] \quad P = aQ^3 + bQ^2 + cQ + d \quad (4)$$

[0090] 式(4)中, P 为制冷机电功率, 单位为 W ; a, b, c, d 为拟合系数。

[0091] 其中, 步骤2包括:

[0092] 2-1. 根据已设定的房间内的温度变化范围, 用轮控的方式调控中央空调下的各空调终端;

[0093] 2-2. 获取一个调控周期内的空调终端处于打开和关闭的时间、及各空调终端的占空比;

[0094] 2-3. 根据空调终端的占空比集合, 求得智能楼宇对应的最大可削减负荷值;

[0095] 2-4. 根据最大可削减负荷值制定智能楼宇的潜力评估报告, 为智能楼宇参与电力市场提供负荷削减量依据。

[0096] 其中, 步骤2-1包括:

[0097] e. 当房间内温度值超出温度变化范围且空调终端处于工作状态时, 进入步骤f;

[0098] f. 中央空调控制房间内的空调终端开启并向空调终端供应固定功率的制冷量, 直到室内温度下降至温度变化范围中的最小温度值时, 进入步骤g;

[0099] g. 关闭空调终端, 直到室内温度上升至温度变化范围中的最大温度值时, 返回步骤f。

[0100] 其中, 步骤3包括:

[0101] 在日前电力市场中, 建立基于电力公司、负荷聚合商及智能楼宇三方互动的调度框架, 且调度框架包括电力公司层面、负荷聚合商层面及智能楼宇层面;

[0102] 其中, 在电力公司层面, 电力公司根据各个负荷聚合商的投标情况, 以第二日削减时段的总花费最小为目标函数制定次日调度计划, 实现负荷削减量指标在各个负荷聚合商之间的优化分配;

[0103] 在负荷聚合商层面, 负荷聚合商对中央空调实施轮控技术, 优化中央空调的运行占空比;

[0104] 若次日负荷聚合商的实际削减量少于调度计划, 则负荷聚合商按减少的负荷削减量支付相应欠款至电力公司;

[0105] 若次日负荷聚合商的实际削减量大于调度计划, 则电力公司按照调度计划支付欠款至负荷聚合商;

[0106] 在智能楼宇层面, 若次日负荷聚合商的实际削减量大于调度计划, 智能楼宇收取负荷聚合商支付的调度费用。

[0107] 其中, 电力公司的目标函数为:

$$[0108] \quad \begin{cases} \min F_{\text{cost}} = \sum_{t=1}^N \sum_{k=1}^M p(k,t)Q(k,t) \\ 0 \leq Q(k,t) \leq Q_{\text{max}}(k,t) \\ \sum_{k=1}^M Q(k,t) \geq Q_f(t) \end{cases} \quad (5)$$

[0109] 式(5)中, $p(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在时段 t 的报价,单位为元/MW; $Q(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在 t 时段的实际负荷削减量,单位为MW; $Q_{\text{max}}(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在 t 时段的投标量,单位为MW; $Q_f(t)$ 表示 t 时段电力公司需要削减的负荷量,单位为MW; N 表示调度时段; M 表示负荷聚合商的数量。

[0110] 如图2所示,本发明提供一种基于电力公司-负荷聚合商-智能楼宇三方互动的智能楼宇用电调控方法的具体应用例,如下:

[0111] (1)如图3所示,根据能量守恒原则建立智能楼宇主要用电设备-中央空调的所属建筑物热力学模型为:

$$[0112] \quad \frac{dT_{\text{in}}}{dt} = \alpha(T_o - T_i) + \gamma - \mu Q \quad (1)$$

$$[0113] \quad \alpha = \frac{\sum K_i F_i^{\text{out}} + n_k V C \rho + 1.01G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{\text{in}}} \quad (2)$$

$$[0114] \quad \gamma = \frac{\sum A_i C_{s,i} C_{n,i} D_{j\text{max},i} C_{cl,i} + \varphi n q + n_1 n_2 n_3 n_4 \sum P_e + n_5 \sum P_l + 38.5G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{\text{in}}} \quad (3)$$

$$[0115] \quad \mu = \frac{1}{C \rho V + \sum S_i F_i^{\text{in}}} \quad (4)$$

[0116] 式中: K_i 表示房间第 i 面墙的传热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$; F_i^{out} 表示房间第 i 面墙的传热面积, m^2 ; T_o 为室外温度, $^\circ C$; T_i 室内温度, $^\circ C$; n_k 表示房间换气次数,次/h; $C=0.28J/kg \cdot ^\circ C$,表示空气定压重量比热; V 房间空间制冷体积, m^3 ; G 表示新风量, g/s ; $\rho=1.29kg/m^3$,表示空气密度; S_i 表示第 i 内墙面蓄热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$; F_i^{in} 表示第 i 面内墙面积, m^2 ; A_i 表示 i 面墙的窗户面积, m^2 ; $C_{s,i}$ 表示窗玻璃遮挡系数; $C_{n,i}$ 表示窗内遮阳设施的遮阳系数; $D_{j\text{max},i}$ 太阳辐射得热因素的最大值, W/m^2 ; $C_{cl,i}$ 表示窗外冷负荷系数; φ 表示集群系数; n 表示房间内总人数; q 表示每个人的全散热热量, W ; n_1 表示设备利用系数(0~1); n_2 表示负荷系数(0~1); n_3 表示同时使用系数(0~1); n_4 表示热能转化系数; $\sum P_e$ 表示设备总的额定功率, W ; n_5 表示照明设备的同时使用系数; $\sum P_l$ 表示照明装置的总功率, W 。

[0117] 当制冷量保持不变的时候,根据式(1)可得室内温度随时间 t 的变化关系为:

$$[0118] \quad T_i = (T_i(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha}) e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha} \quad (5)$$

[0119] $T_{\text{in}}(0)$ 为初始室内温度, $^\circ C$ 。

[0120] 同理可得,当空调处于关闭的状态时,室内温度随时间的变化关系为:

$$[0121] \quad T_i = (T_i(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha})e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha} \quad (6)$$

[0122] (2) 中央空调内部结构比较复杂,各个部分需要协调工作,其功率之间相互耦合,

[0123] 导致制冷机的制冷量与电功率之间的关系呈非线性,根据空调铭牌参数,可以将制冷机的耗电量与制冷量的非线性关系拟合成三次多项式的形式:

$$[0124] \quad P = aQ^3 + bQ^2 + cQ + d \quad (7)$$

[0125] 式中,P为制冷机电功率,W;a,b,c,d为拟合系数。

[0126] (3) 当室内温度保持在 T_i ,根据式(1)可得房间所需制冷量为

$$[0127] \quad Q_{baseline} = \frac{\alpha(T_o - T_i) + \gamma}{\mu} \quad (8)$$

[0128] 此时,一个房间保持室内设定温度所需电功率为:

$$[0129] \quad P_{baseline} = aQ_{baseline}^3 + bQ_{baseline}^2 + cQ_{baseline} + d \quad (9)$$

[0130] (4) 为了在对空调进行调控的过程中不造成用户的不适感,可以根据用户对舒适度的要求设定室内温度变化范围 $[T_{min}, T_{max}]$ 。本专利对中央空调设备终端采用轮控的控制方法。当用户空调终端处于打开的状态时,中央空调向用户提供固定功率的制冷量,室内温度下降,当室温达到 T_{min} 时,关闭空调终端,室内温度上升,达到 T_{max} 时,空调终端再次打开。根据式(5)(6)可得一个周期内设备终端处于打开和关闭的时间分别为:

$$[0131] \quad t_{on} = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\alpha T_{max} - \alpha T_o - \gamma + \mu Q}{\alpha T_{min} - \alpha T_o - \gamma + \mu Q} \quad (10)$$

$$[0132] \quad t_{off} = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\alpha T_{min} - \alpha T_o - \gamma}{\alpha T_{max} - \alpha T_o - \gamma} \quad (11)$$

[0133] 式中:t表示控制周期,s; t_{on} , t_{off} 为设备终端分别处于打开和关闭的时间。

[0134] 此时,该房间设备终端的占空比DR为:

$$[0135] \quad DR = \frac{t_{on}}{t_{on} + t_{off}} \quad (12)$$

[0136] (5) 中央空调不受控状态下,所有参与调控的房间室内温度均设为 T_i ,受控后,根据人体舒适度设定室内温度允许波动范围为 $[T_{min}, T_{max}]$ ($T_i = T_{min}$),在控制方式为轮控的情况下,其占空比集合为 Ω ,此时智能楼宇对应的最大可削减负荷为

$$[0137] \quad \Delta P_{max} = \begin{cases} nP_{baseline}(1-DR), DR \in \Omega \\ nP_{baseline}(1-DR'), DR \notin \Omega, DR' = \min\{x \in \Omega | x > DR\} \end{cases} \quad (13)$$

[0138] 式中:n为空调设备终端数量。

[0139] (6) 如图4所示,在日前市场中,电力公司公布次日负荷削峰时段及削负荷量,负荷聚合商根据所辖智能楼宇数量及其潜力计算情况,向电力公司申报削负荷量和单位削减价格,电力公司以最小化花费为目标函数,制定次日调度计划,电力公司目标函数为:

$$[0140] \quad \min F_{\cos t} = \sum_{t=1}^N \sum_{k=1}^M p(k,t)Q(k,t) \quad (14)$$

[0141] 约束条件为:

$$[0142] \quad 0 \leq Q(k,t) \leq Q_{\max}(k,t) \quad (15)$$

$$[0143] \quad \sum_{k=1}^M Q(k,t) \geq Q_f(t) \quad (16)$$

[0144] 式中: $p(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在时段 t 的报价,元/MW; $Q(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在 t 时段的实际负荷削减量,MW; $Q_{\max}(k,t)$ 表示第 k 个负荷聚合商在 t 时段的投标量,MW; $Q_f(t)$ 表示 t 时段电力公司需要削减的负荷量,MW; N 表示调度时段; M 表示负荷聚合商的数量。

[0145] (7)在实际调度过程中,如果负荷聚合商的实际削减量少于调度计划,需要接受惩罚,减少的负荷削减量按照价格 a 付钱电力公司,若实际削减量大于调度计划,则电力公司按照调度计划付钱给负荷聚合商。故负荷聚合商从电力公司处获得的收入为:

$$[0146] \quad F_1 = \begin{cases} H(k,t)p_c(t) - a(Q(k,t) - H(k,t)), & H(k,t) < Q(k,t) \\ Q(k,t)p_c(t), & H(k,t) \geq Q(k,t) \end{cases} \quad (17)$$

$$[0147] \quad H(k,t) = \sum_{l=1}^W P_{\text{baseline}}(l,t)(1 - DR_l) \quad (18)$$

$$[0148] \quad DR_l \in \Omega_1 \quad (19)$$

[0149] 式中:其中 $P_{\text{baseline}}(l,t)$ 表示负荷聚合商第 l 栋智能楼宇在第 t 个时段的基线负荷值, k W; DR_l 表示第 l 栋智能楼宇的占空比,为决策变量; Ω_1 表示第 l 栋智能楼宇的占空比集合; W 表示智能楼宇数量; $p_c(t)$ 表示 t 时段的出清价格,元/MW; $H(k,t)$ 负荷聚合商 k 在第 t 时段的实际削减量。

[0150] 与此同时,负荷聚合商需要支付智能楼宇一定的调度费用:

$$[0151] \quad F_2 = bH(k,t) \quad (20)$$

[0152] 负荷聚合商的优化调度目标函数为最大化收益:

$$[0153] \quad \max F = F_1 - F_2 \quad (21)$$

[0154] 负荷聚合商通过优化每栋智能楼宇的占空比实现经济效益最大化。

[0155] 步骤(1)中中央空调热力学建模过程如下:

[0156] 任意时刻房间瞬时得热量包括六个部分,其计算公式如下:

$$[0157] \quad Q_{\text{get}} = Q_{\text{body}} + Q_{\text{glass}} + Q_{\text{person}} + Q_{\text{air}} + Q_e + Q_1 \quad (1-1)$$

$$[0158] \quad Q_{\text{body}} = \sum K_i F_i^{\text{out}} (T_o - T_{\text{in}}) \quad (1-2)$$

$$[0159] \quad Q_{\text{glass}} = \sum A_i C_{s,i} C_{n,i} D_{j\max,i} C_{c1,i} \quad (1-3)$$

$$[0160] \quad Q_{\text{person}} = \phi n q \quad (1-4)$$

$$[0161] \quad Q_{\text{air}} = n_k V C_p (T_o - T_{\text{in}}) \quad (1-5)$$

$$[0162] \quad Q_e = n_1 n_2 n_3 n_4 \sum P_e \quad (1-6)$$

$$[0163] \quad Q_1 = n_5 \sum P_1 \quad (1-7)$$

[0164] Q_{body} 为通过房间围护结构传入的热量, W ; K_i 表示房间第 i 面墙的传热系数, $W/m^2 \cdot ^\circ C$;

F_i^{out} 表示房间第*i*面墙的传热面积, m^2 ; T_o 为室外温度, $^{\circ}C$; T_{in} 室内温度, $^{\circ}C$; Q_{glass} 为通过玻璃窗直接进入的太阳辐射热量, W ; A_i 表示*i*面墙的窗户面积, m^2 ; $C_{s,i}$ 表示窗玻璃遮挡系数; $C_{n,i}$ 表示窗内遮阳设施的遮阳系数; $D_{jmax,i}$ 太阳辐射得热因素的最大值, W/m^2 ; $C_{cl,i}$ 表示窗外冷负荷系数; Q_{person} 为人体散热量, W ; φ 表示集群系数; n 表示房间内总人数; q 表示每个人的全散热热量, W ; Q_{air} 为通过门窗从室外渗透空气带入的热量, W ; n_k 表示房间换气次数, 次/h; $C=0.28J/kg^{\circ}C$, 表示空气定压重量比热; V 房间空间制冷体积, m^3 ; $\rho=1.29kg/m^3$, 表示空气密度; Q_e 为设备散热量, W ; n_1 表示设备利用系数(0~1); n_2 表示负荷系数(0~1); n_3 表示同时使用系数(0~1); n_4 表示热能转化系数; ΣP_e 表示设备总的额定功率, W ; Q_l —照明设备的散热量, W ; n_5 表示照明设备的同时使用系数; ΣP_l 表示照明装置的总功率, W 。

[0165] 房间瞬时得热量有一部分储存于围护结构,其蓄热量 Q_s 为:

$$[0166] \quad Q_s = \Sigma S_i F_i^{in} \quad (1-8)$$

[0167] S_i 表示第*i*内墙面蓄热系数, $W/m^2^{\circ}C$; F_i^{in} 表示第*i*面内墙面积, m^2 。

[0168] 为了保持房间空气的清洁度与舒适度,房间需要与外界进行空气交换,房间的新风负荷 Q_n 为:

$$[0169] \quad Q_n = G(h_{out} - h_{in}) \quad (1-9)$$

[0170] 其中 G 表示新风量, g/s ; h_{out} 表示室外空气焓值, kJ/kg ; h_{in} 表示室内空气焓值, kJ/kg 。

[0171] 经过进一步简化可得:

$$[0172] \quad Q_n \approx 1.01G(T_o - T_{in}) + 38.5G \quad (1-10)$$

[0173] 当空调处于打开的状态时,房间的瞬时得热量除了有一部分存储于围护结构,还有一部分散失在室内空气中,空气中的热量与新风负荷所带来的热量需要空调通过电力做工移除。在时间 dt 内,室内温度升高 dT_{in} ,根据能量守恒定律,空调房间能量关系满足如下等式:

$$[0174] \quad Q_t dT_{in} = Q_{get} dt - Q_s dT_{in} + Q_n dt - Q dt \quad (1-11)$$

[0175] 其中 Q 为中央空调制冷功率, W 。

[0176] 将式(1-1)-(1-10)代入(1-11)得

$$[0177] \quad \frac{dT_{in}}{dt} = \alpha(T_o - T_i) + \gamma - \mu Q \quad (1-12)$$

[0178] 其中:

$$[0179] \quad \alpha = \frac{\sum K_i F_i^{out} + n_k V C \rho + 1.01G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \quad (1-13)$$

$$[0180] \quad \gamma = \frac{\sum A_i C_{s,i} C_{n,i} D_{jmax,i} C_{cl,i} + \varphi n q + n_1 n_2 n_3 n_4 \sum P_e + n_5 \sum P_l + 38.5G}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \quad (1-14)$$

$$[0181] \quad \mu = \frac{1}{C \rho V + \sum S_i F_i^{in}} \quad (1-15)$$

[0182] 解式(1-12)可得,当制冷量保持不变得时候,室内温度随时间 t 的变化关系为:

$$[0183] \quad T_{in} = (T_{in}(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha}) e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma - \mu Q}{\alpha} \quad (1-16)$$

[0184] $T_{in}(0)$ 为初始室内温度, °C。

[0185] 同理可得, 当空调处于关闭的状态时, 室内温度随时间的变化关系为:

$$[0186] \quad T_{in} = (T_{in}(0) - \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha}) e^{-\alpha t} + \frac{\alpha T_o + \gamma}{\alpha} \quad (1-17)$$

[0187] 以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非对其限制, 尽管参照上述实施例对本发明进行了详细的说明, 所属领域的普通技术人员依然可以对本发明的具体实施方式进行修改或者等同替换, 而这些未脱离本发明精神和范围的任何修改或者等同替换, 其均在申请待批的本发明的权利要求保护范围之内。

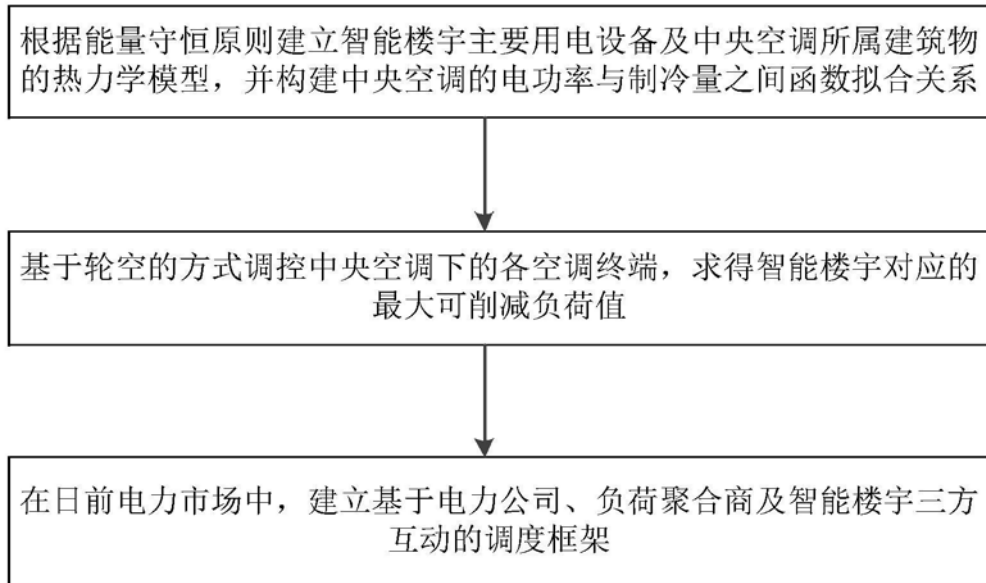


图1

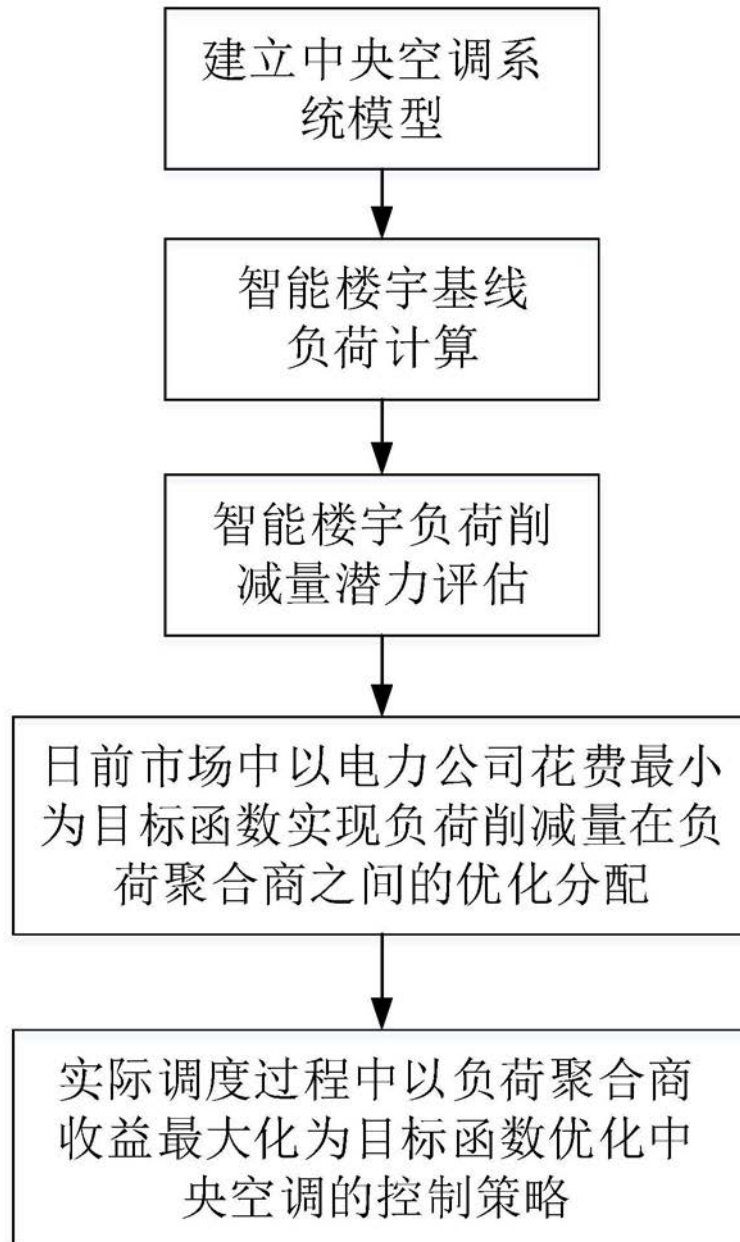


图2

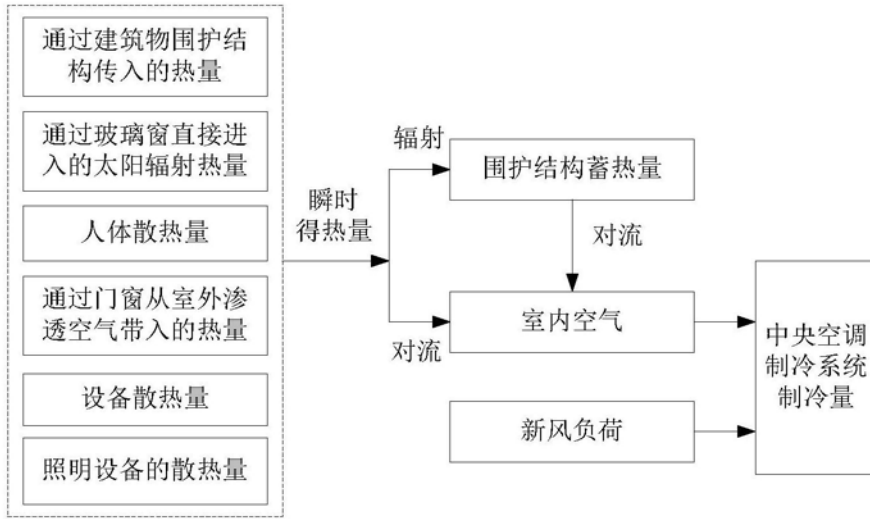


图3

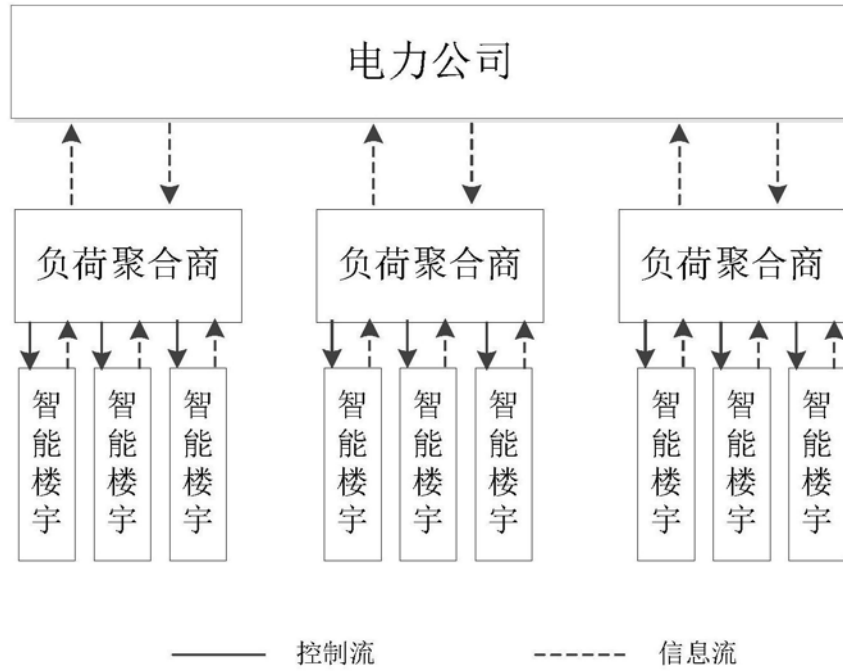


图4