



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 106950840 A

(43)申请公布日 2017.07.14

(21)申请号 201710331248.X

(22)申请日 2017.05.11

(71)申请人 山东理工大学

地址 255000 山东省淄博市张店区新村西路266号

(72)发明人 彭克 徐丙垠 赵曰浩 张新慧
戚日常

(74)专利代理机构 济南诚智商标专利事务所有
限公司 37105

代理人 赵玉珍

(51)Int.Cl.

G05B 13/04(2006.01)

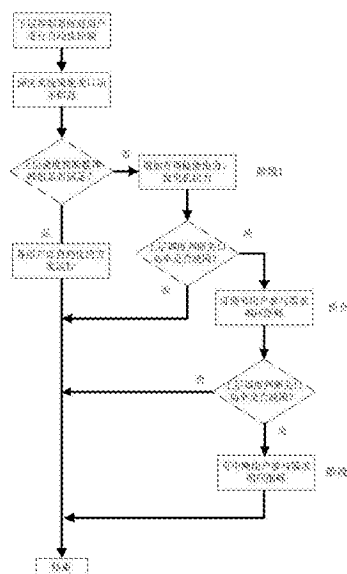
权利要求书3页 说明书8页 附图3页

(54)发明名称

面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法

(57)摘要

本发明面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,该方法将能源系统分为上层控制系统和下层控制系统,所述的方法包括以下步骤:1)下层控制系统对用户进行自趋优化控制;2)上层控制系统采集关口的功率信息,判断能源系统整体峰值是否满足实际需求;3)上层园区增加直调储能出力和发电机出力;4)上层控制系统再次判断关口功率是否越限;5)上层控制系统对下层可调节用户下发指令,互动用户对自身负荷进行合理调整;6)上层控制系统继续判断关口功率是否越限;7)上层园控制系统对下层可中断用户下发指令,互动用户对自身负荷进行合理中断。本发明解决多种能源相互耦合、协调互补困难的问题,削峰填谷,实现与电网的友好互动。



CN 106950840 A

1. 面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,该方法将能源系统分为上层控制系统和下层控制系统,上层控制系统为园区层,上层控制系统的主体是工业园区,下层控制系统为用户层,用户层的主体为厂区用户,

其特征在于,所述的方法包括以下步骤:

步骤一:针对用户层的典型用户配置,下层控制系统对用户进行自趋优化控制;

步骤二:上层控制系统采集关口的功率信息,判断能源系统整体峰值是否满足实际需求,若满足,保持下层用户按照自趋优化的方案运行;若不满足,进入步骤三;

步骤三:上层园区释放预先保留的电力,增加直调储能出力和发电机出力;

步骤四:上层控制系统再次采集关口的功率信息,判断关口功率是否越限,若不越限,保持下层用户按照步骤三的方案运行,若越限,进入步骤五;

步骤五:上层控制系统对下层可调节用户下发指令,互动用户对自身负荷进行合理调整,根据指令参与调峰,达到功率平衡,实现电网的稳定;

步骤六:上层控制系统继续采集关口的功率信息,判断关口功率是否越限,若不越限,保持下层用户按照步骤五的方案运行,若越限,进入步骤七;

步骤七:上层园控制系统对下层可中断用户下发指令,互动用户对自身负荷进行合理中断,根据指令参与调峰,达到功率平衡,实现电网的稳定。

2. 根据权利要求1所述的面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,其特征在于,所述的步骤一中,用户层的典型用户配置包括以下项目:微燃机、光伏、冰蓄冷、风机、电储能、燃气锅炉、水蓄热、余热蒸汽回收利用。

3. 根据权利要求2所述的面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,其特征在于,所述的步骤一中,下层控制系统对用户进行自趋优化控制的具体过程为:

1) 计算购电总费用 C_{grid} 和购气总费用 C_{gas} ,计算公式如下

$$\begin{cases} C_{grid} = \sum_{t=1}^H (c_{grid}^t P_{grid}^t \Delta t) \\ C_{gas} = c_{gas}^t \sum_{t=1}^H \left(\frac{P_{MT}^t}{\eta_{MT}} + \frac{Q_{GFB}^t}{\eta_{GFB}} \right) \Delta t \end{cases} \quad (1)$$

2) 计算个用户总购能费用 f_1 的最小值,计算公式如下

$$\min f_1 = C_{grid} + C_{gas} \quad (2)$$

其中,式(1)中的 H 为调度周期时段数; P_{grid}^t 为调度时段 $t=1,2,3 \cdots H$ 从配电网的购电量; c_{grid}^t 为 t 时刻的分时电价; c_{gas}^t 为购买燃气的单位热值价格; P_{MT}^t 、 Q_{GFB}^t 分别为 t 时刻微燃机的发电功率和燃气锅炉的产热功率; η_{MT} 、 η_{GFB} 分别为微燃机和燃气锅炉的效率。

4. 根据权利要求3所述的面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,其特征在于,所述的步骤一中,对于用户典型配置中各种设备参数的约束条件如下:

1) 电功率平衡约束

$$P_{grid} + P_{MT} + P_{PV} + P_{WT} + P_{BS,D} = L_E + P_{A/C} + P_{HP} + P_{DMME}^{ice} + P_{DMME}^{cooling} + P_{BS,C} \quad (3)$$

2) 烟气平衡约束

$$Q_{MT, smoke} P_{MT} = Q_{HRSG, smoke} + Q_{HX, smoke} \quad (4)$$

3) 蒸汽功率平衡约束

$$\eta_{HRSG, smoke} Q_{HRSG, smoke}^{out} + Q_{GFB, steam} = Q_{TS} + Q_{HX, steam} \quad (5)$$

4) 热功率平衡约束

$$Q_{HRSG, heat}^{out} + Q_{GFB, heat} + Q_{RA, D} = Q_{HL} + Q_{RA, C} \quad (6)$$

5) 冷功率平衡约束

$$Q_{DMME}^{cooling} + Q_{IS, D} + Q_{A/C} = Q_{CL} + Q_{DMME}^{ice} \quad (7)$$

6) 各设备运行的电、热功率约束

$$\begin{cases} P_{\min} \leq P \leq P_{\max} \\ Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

7) 对蓄电池,应同时满足如下充、放电功率约束、储能量约束、以及充放电前后储能量的等式约束:

蓄电池的充电约束:

$$0 \leq P_{BS, C} \leq Cap_{BS} \gamma_{BS, C} \quad (9)$$

蓄电池的放电约束:

$$0 \leq P_{BS, D} \leq Cap_{BS} \gamma_{BS, D} \quad (10)$$

蓄电池电量约束:

$$W_{BS, \min} \leq W_{BS} \leq W_{BS, \max} \quad (11)$$

蓄电池充放电前后的储电量:

$$W_{BS}^{t+1} = W_{BS}^t (1 - \sigma_{BS}) + (P_{BS, C} \eta_{BS, C} - \frac{P_{BS, D}}{\eta_{BS, D}}) \Delta t \quad (12)$$

式(3)-(12)中: P_{PV} 为光伏的功率、 P_{WT} 为风机的功率、 $P_{BS, C}$ 、 $P_{BS, D}$ 分为电储能的充、放电功率、 $P_{A/C}$ 为基载主机的电功率、 L_E 为电负荷功率、 P_{HP} 为热泵的电功率、 P_{DMME}^{ice} 、 $P_{DMME}^{cooling}$ 分为双工况主机制冰、制冷的电功率、 $Q_{MT, smoke}$ 为微燃机的热电比、 $Q_{HRSG, smoke}$ 、 $Q_{HX, smoke}$ 分为余热锅炉回收装置、烟气换热器吸收的烟气的热功率、 $Q_{GFB, steam}$ 为燃气锅炉产蒸汽的热功率、 $Q_{HRSG, heat}^{out}$ 为余热锅炉输出的热功率、 $Q_{GFB, heat}$ 为燃气锅炉输出的热功率、 Q_{TS} 、 Q_{HL} 分别为蒸汽负荷、热负荷、 $Q_{HX, steam}$ 分为蒸汽换热器的热功率、 $Q_{RA, D}$ 、 $Q_{RA, C}$ 分别为蓄热装置输出和输入的热功率、 $Q_{DMME}^{cooling}$ 、 Q_{DMME}^{ice} 分别为双工况主机工作在制冷、制冰工况输出的冷功率、 $Q_{IS, D}$ 为融冰制冷功率、 $Q_{A/C}$ 为基载主机的制冷功率、 Q_{CL} 为冷负荷、 Cap_{BS} 为蓄电池的容量、 $\gamma_{BS, C}$ 、 $\gamma_{BS, D}$ 分别为最大充电倍率、为最大放电倍率、 $W_{BS, \min}$ 、 $W_{BS, \max}$ 分别为蓄电池的最大、最小储电量、 W_{BS}^t 、 W_{BS}^{t+1} 分别为充、放电前后电量、 σ_{BS} 为自放电率、 $\eta_{BS, C}$ 、 $\eta_{BS, D}$ 分别为充放电效率、 Δt 为调度周期。

5. 根据权利要求1所述的面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,其特征在于,所述的步骤五和步骤七中,上层控制系统对用户进行调整或中断的过程中,通过预先签订的补偿协议,对用户实行调节补偿和中断补偿。

6. 根据权利要求5所述的面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,其特征在于,对于调节补偿和中断补偿,补偿标准的计算过程如下:

1) 计算第*i*个用户的实施成本

$$C_{DR,i} = \sum_{t=1}^T \alpha_{DR,i} \Delta L_{DR,i} \quad (13)$$

式中： T 为第*i*个用户参与互动的的时间； $\alpha_{DR,i}$ 为对第*i*个用户削减负荷所获得的单位削减量电价补偿； $\Delta L_{DR,i}$ 为第*i*个用户减少的峰荷；

2) 计算园区能源提供商净利润 f_2 最大值

$$\max f_2 = E_{\text{selling}} - C_{\text{source}} - C_{DR,i} \quad (14)$$

式中： f_2 为园区能源提供商净利润， E_{selling} 为园区综合能源提供商向用户供冷、供热、供电所获得的收入， C_{source} 为综合能源提供商的购能成本， $C_{DR,i}$ 为综合能源提供商向第*i*个用户支付的电价补偿，其中：

$$E_{\text{selling}} = E_{\text{elc}} + E_{\text{heat}} + E_{\text{cooling}} \quad (15)$$

$$C_{\text{source}} = C_{\text{grid}} + C_{\text{gas}} \quad (16)$$

式中 E_{elc} 为综合能源提供商获得的售电收入、 E_{heat} 为综合能源提供商获得的售热收入、 E_{cooling} 为综合能源提供商获得的售冷收入。

7. 根据权利要求1所述的面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法，其特征在于，在方法实施过程中，园区关口最大负荷功率 P_g 满足以下约束条件：

$$P_g \leq P_{\text{line}}^{\max} \quad (17)$$

式中： P_g 为园区关口负荷功率； P_{line}^{\max} 为园区关口负荷功率上限值。

8. 根据权利要求1所述的面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法，其特征在于，在步骤五中，上层控制系统所辖的直调设备需同时满足园区内以下平衡的约束条件：电功率平衡、热功率平衡、烟气平衡、蒸汽功率平衡、冷功率平衡、蓄电池平衡、蓄热装置平衡、冰蓄冷装置平衡。

面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及电力系统领域,具体涉及一种面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法。

背景技术

[0002] 能源是国民经济发展的重要物质基础,在国民经济中处于极其重要的战略地位,人们的生产、生活都离不开能源。随着经济和社会的发展,能源短缺问题越来越严峻,常规的化石能源日益供应不足,同时过度使用化石能源所带来一系列环境污染问题,严重威胁着人类的生存和发展。

[0003] 在传统的能源系统中,冷/热/电/气往往相互独立设计、规划、运行和控制,不同的供能、用能系统主体不能进行整体上的协调、配合和优化,导致能源整体利用率不高。面对日益严重的资源和环境问题,综合能源系统能够实现对多种能源的综合管理与协调互补,提高能源综合利用效率,面向电网削峰需求实现与电网的友好互动。传统集中式的EMS难以满足综合能源系统协同互补的要求,而目前针对综合能源系统的控制方法比较少且存在缺陷,无法满足目前的实际需求。

[0004] 目前比较先进的综合能源系统技术方案如下:

[0005] 1、东南大学黄学良等提出的《一种为能源互联网服务的源/网/荷/储协调管理系统及方法》考虑到未来能源互联网的大量数据,发明了一种分为3层结构的控制系统,分别为需求层、状态层、控制层。需求层汇集源/网/荷/储的控制参数、状态定义等基础数据与控制目标的信息;状态层实时采集源/网/荷/储的运行状态参数;控制层实现系统功率平衡。在此发明中,通过对能源互联网中源/网/荷/储协调控制与优化管理,在控制层实现供需平衡,维持电能质量、需求侧管理等目标,实现电能的优化配置,达到源/网/荷/储协调管理的目的。

[0006] 2、南京飞腾电子科技有限公司李文俊等提出的《一种区域能量综合协调管控系统》,该系统包括区域运行监测子系统、分布式电源预测子系统、负荷集群响应预测分析子系统、故障快速处理子系统、能耗分析及管理子系统、电动汽车优化调度子系统以及区域多级能源综合协调控制子系统。其在多源信息融合的基础上,实现了对区域内电源、电网、用户负荷综合运行监控,多种分布式能源的预测、分析以及调度,实现了对电网的故障快速诊断及处理,实现了对用户的负荷预测、能耗分析、节能管理以及电动汽车的智能调度,并通过综合协调电源、电网、用户负荷之间能量交互,实现了区域能量的合理分配、多元互补。

[0007] 3、北京国电通网络技术有限公司田卫华等人发明了《一种园区型冷热能源混合应用的能源网络调控方法及系统》,该发明包括远程能源监控中心、能源协调控制器和至少一个就地能源控制器;其中,能源协调控制器负责采集每个所述就地能源控制器能源设备运行数据,将数据通过网络上传至所述的远程能源监控中心;所述的远程能源监控中心根据采集的负荷侧影响能源需求的环境因子信息机能源系统数据信息给出配比和调控策略,将

通过所述能源协调控制器发送给相应的所述就地能源控制器。从而实现多种能源系统互补供给,提高能源利用率。

[0008] 然而,上述的三种方案中,均没有强调削峰填谷,也没有改善电网的负荷曲线,没有强调对电网的互动友好。

发明内容

[0009] 为了解决上述问题,本发明提供了一种面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法利用各个能源系统之间在时空上的耦合机制,实现对多种能源的综合管理与协调互补,进而满足电网削峰需求。

[0010] 本发明采用以下技术方案:

[0011] 面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,该方法将能源系统分为上层控制系统和下层控制系统,上层控制系统为园区层,上层控制系统的主体是工业园区,下层控制系统为用户层,用户层的主体为厂区用户,

[0012] 所述的方法包括以下步骤:

[0013] 步骤一:针对用户层的典型用户配置,下层控制系统对用户进行自趋优化控制;

[0014] 步骤二:上层控制系统采集关口的功率信息,判断能源系统整体峰值是否满足实际需求,若满足,保持下层用户按照自趋优化的方案运行;若不满足,进入步骤三;

[0015] 步骤三:上层园区释放预先保留的电力,增加直调储能出力和发电机出力;

[0016] 步骤四:上层控制系统再次采集关口的功率信息,判断关口功率是否越限,若不越限,保持下层用户按照步骤三的方案运行,若越限,进入步骤五;

[0017] 步骤五:上层控制系统对下层可调节用户下发指令,互动用户对自身负荷进行合理调整,根据指令参与调峰,达到功率平衡,实现电网的稳定;

[0018] 步骤六:上层控制系统继续采集关口的功率信息,判断关口功率是否越限,若不越限,保持下层用户按照步骤五的方案运行,若越限,进入步骤七;

[0019] 步骤七:上层园控制系统对下层可中断用户下发指令,互动用户对自身负荷进行合理中断,根据指令参与调峰,达到功率平衡,实现电网的稳定。

[0020] 进一步的,所述的步骤一中,用户层的典型用户配置包括以下项目:微燃机、光伏、冰蓄冷、风机、电储能、燃气锅炉、水蓄热、余热蒸汽回收利用。

[0021] 进一步的,所述的步骤一中,下层控制系统对用户进行自趋优化控制的具体过程为:

[0022] 1) 计算购电总费用 C_{grid} 和购气总费用 C_{gas} ,计算公式如下

$$[0023] \begin{cases} C_{grid} = \sum_{t=1}^H (c_{grid}^t P_{grid}^t \Delta t) \\ C_{gas} = c_{gas}^t \sum_{t=1}^H \left(\frac{P_{MT}^t}{\eta_{MT}} + \frac{Q_{GFB}^t}{\eta_{GFB}} \right) \Delta t \end{cases} \quad (1)$$

[0024] 2) 计算个用户总购能费用 f_1 的最小值,计算公式如下

$$[0025] \min f_1 = C_{grid} + C_{gas} \quad (2)$$

[0026] 其中,式(1)中的H为调度周期时段数; P_{grid}^t 为调度时段 $t=1,2,3\cdots H$ 从配电网的购电量; c_{grid}^t 为t时刻的分时电价; c_{gas}^t 为购买燃气的单位热值价格; P_{MT}^t 、 Q_{GFB}^t 分别为t时刻微燃机的发电功率和燃气锅炉的产热功率; η_{MT} 、 η_{GFB} 分为微燃机和燃气锅炉的效率。

[0027] 进一步的,所述的步骤一中,对于用户典型配置中各个参数的约束条件如下:

[0028] 1) 电功率平衡约束

[0029]

$$P_{grid} + P_{MT} + P_{PV} + P_{WT} + P_{BS,D} = LE + P_{A/C} + P_{HP} + P_{DMME}^{ice} + P_{DMME}^{cooling} + P_{BS,C} \quad (3)$$

[0030] 2) 烟气平衡约束

$$\alpha_{MT,smoke} P_{MT} = Q_{HRSG,smoke} + Q_{HX,smoke} \quad (4)$$

[0032] 3) 蒸汽功率平衡约束

[0033]

$$\eta_{HRSG,smoke} Q_{HRSG,smoke}^{out} + Q_{GFB,steam} = Q_{TS} + Q_{HX,steam} \quad (5)$$

[0034] 4) 热功率平衡约束

$$Q_{HRSG,heat}^{out} + Q_{GFB,heat} + Q_{RA,D} = Q_{HL} + Q_{RA,C} \quad (6)$$

[0036] 5) 冷功率平衡约束

[0037]

$$Q_{DMME}^{cooling} + Q_{IS,D} + Q_{A/C} = Q_{CL} + Q_{DMME}^{ice} \quad (7)$$

[0038] 6) 各设备运行的电、热功率约束

$$\begin{cases} P_{\min} \leq P \leq P_{\max} \\ Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

[0040] 7) 对蓄电池,应同时满足如下充、放电功率约束、储能能量约束、以及充放电前后储能能量的等式约束:

[0041] 蓄电池的充电约束:

$$0 \leq P_{BS,C} \leq Cap_{BS} \gamma_{BS,C} \quad (9)$$

[0043] 蓄电池的放电约束:

$$0 \leq P_{BS,D} \leq Cap_{BS} \gamma_{BS,D} \quad (10)$$

[0045] 蓄电池电量约束:

$$W_{BS,\min} \leq W_{BS} \leq W_{BS,\max} \quad (11)$$

[0047] 蓄电池充放电前后的储能电量:

$$W_{BS}^{t+1} = W_{BS}^t (1 - \sigma_{BS}) + (P_{BS,C} \eta_{BS,C} - \frac{P_{BS,D}}{\eta_{BS,D}}) \Delta t \quad (12)$$

[0049] 式(3)-(12)中: P_{PV} 为光伏的功率、 P_{WT} 为风机的功率、 $P_{BS,C}$ 、 $P_{BS,D}$ 分为电储能的充、放电功率、 $P_{A/C}$ 为基载主机的电功率、 LE 为电负荷功率、 P_{HP} 为热泵的电功率、 P_{DMME}^{ice} 、 $P_{DMME}^{cooling}$ 分为双工况主机制冰、制冷的电功率、 $\alpha_{MT,smoke}$ 为微燃机的热电比、 $Q_{HRSG,smoke}$ 、 $Q_{HX,smoke}$ 分为余热锅炉回收装置、烟气换热器吸收的烟气的热功率、 $Q_{GFB,steam}$ 为燃气锅炉产蒸汽的热功率、 $Q_{HRSG,heat}^{out}$ 为余热锅炉输出的热功率、 $Q_{GFB,heat}$ 为燃气锅炉输出的热功率、 Q_{TS} 、 Q_{HL} 分别为蒸汽负

荷、热负荷、 $Q_{HX, steam}$ 分别为蒸汽换热器的热功率、 $Q_{RA, D}$ 、 $Q_{RA, C}$ 分别为蓄热装置输出和输入的热功率、 $Q_{DMME}^{cooling}$ 、 Q_{DMME}^{ice} 分别为双工况主机工作在制冷、制冰工况输出的冷功率、 $Q_{IS, D}$ 为融冰制冷功率、 $Q_{A/C}$ 为基载主机的制冷功率、 Q_{CL} 为冷负荷、 Cap_{BS} 为蓄电池的容量、 $\gamma_{BS, C}$ 、 $\gamma_{BS, D}$ 分别为最大充电倍率、为最大放电倍率、 $W_{BS, min}$ 、 $W_{BS, max}$ 分别为蓄电池的最大、最小储电量、 W_{BS}^t 、 W_{BS}^{t+1} 分别为充、放电前后电量、 σ_{BS} 为自放电率、 $\eta_{BS, C}$ 、 $\eta_{BS, D}$ 分别为充放电效率、 Δt 为调度周期。

[0050] 进一步的,所述的步骤五和步骤七中,上层控制系统对用户进行调整或中断的过程中,通过预先签订的补偿协议,对用户实行调节补偿和中断补偿。

[0051] 进一步的,对于调节补偿和中断补偿,补偿标准的计算过程如下:

[0052] 1) 计算第*i*个用户的实施成本

$$[0053] \quad C_{DR, i} = \sum_{t=1}^T \alpha_{DR, i} \Delta L_{DR, i} \quad (13)$$

[0054] 式中: T 为第*i*个用户参与互动的时间; $\alpha_{DR, i}$ 为对第*i*个用户削减负荷所获得的单位削减量电价补偿; $\Delta L_{DR, i}$ 为第*i*个用户减少的峰荷;

[0055] 2) 计算园区能源提供商净利润最大值

$$[0056] \quad \max f_2 = E_{selling} - C_{source} - C_{IDR, i} \quad (14)$$

[0057] 式中: f_2 为园区能源提供商净利润, $E_{selling}$ 为园区综合能源提供商向用户供冷、供热、供电所获得的收入, C_{source} 为综合能源提供商的购能成本, $C_{IDR, i}$ 为综合能源提供商向第*i*个用户支付的电价补偿,其中:

$$[0058] \quad E_{selling} = E_{elec} + E_{heat} + E_{cooling} \quad (15)$$

$$[0059] \quad C_{source} = C_{grid} + C_{gas} \quad (16)$$

[0060] 式中 E_{elec} 为综合能源提供商获得的售电收入、 E_{heat} 为综合能源提供商获得的售热收入、 $E_{cooling}$ 为综合能源提供商获得的售冷收入。

[0061] 进一步的,园区关口最大负荷功率 P_g 满足以下约束条件:

$$[0062] \quad P_g \leq P_{line}^{max} \quad (17)$$

[0063] 式中: P_g 为园区关口负荷功率; P_{line}^{max} 为园区关口负荷功率上限值。

[0064] 进一步的,上层控制系统所辖的直调设备需同时满足园区内以下平衡的约束条件:电功率平衡、热功率平衡、烟气平衡、蒸汽功率平衡、冷功率平衡、蓄电池平衡、蓄热装置平衡、冰蓄冷装置平衡。

[0065] 本发明的有益效果是:

[0066] 1、将综合能源系统分为上层园区层与下层用户层,采用分层分布式的协调控制方法,园区层控制系统通过园区内直调资源以及用户响应资源,将园区关口功率控制在允许限制,用户层控制系统通过对用户资源进行合理优化实现自趋优控制。

[0067] 2、该发明针对用户在平常状态下的能源使用状况进行了调整,以用户自身效益作为目标实现自趋优控制,既可以充分整合利用用户的有效资源,提高能源的实际使用效率,而且可以有效降低用户的购能费用,提高用户的收益,同时,剩余可控资源响应园区削峰需求,在此基础上,上层园区控制系统结合园区直调资源以及用户响应资源以总的削峰成本最小为目标进行优化。

[0068] 3、控制策略上采用自下而上的优化方法,采用分阶段的控制策略实现电网削峰,第一阶段利用园区直调资源进行削峰,第二阶段用户可调节负荷参与响应削峰,第三阶段用户可中断负荷参与响应削峰,可以有效针对负荷大小进行逐级的针对性处理,可以减少资源浪费。

附图说明

[0069] 图1是本发明上、下层系统的原理框图;

[0070] 图2是本发明下层系统的典型应用示意图;

[0071] 图3是本发明方法的流程图。

具体实施方式

[0072] 为使本发明要解决的技术问题、技术方案和优点更加清楚,下面将结合附图及具体实施例进行详细描述。本领域技术人员应当知晓,下述具体实施例或具体实施方式,是本发明为进一步解释具体的发明内容而列举的一系列优化的设置方式,而该些设置方式之间均是可以相互结合或者相互关联使用的,除非在本发明明确提出了其中某些或某一具体实施例或实施方式无法与其他的实施例或实施方式进行关联设置或共同使用。同时,下述的具体实施例或实施方式仅作为最优化的设置方式,而不作为限定本发明的保护范围的理解。

[0073] 面向电网削峰的综合能源系统分层分布式协调控制方法,该控制方法分为两层,下层的利益主体为各用户,上层的利益主体为工业园区,对综合能源系统分层分布式协调削峰示意图如下图1所示,下面针对上、下层不同的主体阐述控制方法的原理和思路。

[0074] 下层分布自治控制方法

[0075] 下层控制系统内的各个厂区用户,其控制目标是通过自身可控资源的合理调度,减少购能费用,提高经济效益,达到自趋优运行的目的。图2给出了典型用户配置示意图,包括以下项目:微燃机、光伏、冰蓄冷、风机、电储能、燃气锅炉、水蓄热、余热蒸汽回收利用。下面给出具体的下层控制模型。

[0076] 控制的目标函数为:

$$[0077] \quad \min f_1 = C_{grid} + C_{gas} \quad (1)$$

[0078] 式中: f_1 为各用户总的购能费用, C_{grid} 为各用户总的购电费用。 C_{gas} 为需消耗燃气的用户购买天然气的费用。

[0079] 购电费用、购气费用的计算公式分别如下所示:

$$[0080] \quad \begin{cases} C_{grid} = \sum_{t=1}^H (c_{grid}^t P_{grid}^t \Delta t) \\ C_{gas} = c_{gas}^t \sum_{t=1}^H \left(\frac{P_{MT}^t}{\eta_{MT}} + \frac{Q_{GFB}^t}{\eta_{GFB}} \right) \Delta t \end{cases} \quad (2)$$

[0081] 式中: H 为调度周期时段数; P_{grid}^t 为调度时段 $t=1,2,3 \cdots H$ 从配电网的购电量; c_{grid}^t 为 t 时刻的分时电价; c_{gas}^t 为购买燃气的单位热值价格; P_{MT}^t 、 Q_{GFB}^t 分别为 t 时刻微燃机的发电功率和燃气锅炉的产热功率; η_{MT} 、 η_{GFB} 分别为微燃机和燃气锅炉的效率。

[0082] 对于用户典型配置中各种项目,比如微燃机、光伏、冰蓄冷、风机、电储能、燃气锅

炉、水蓄热、余热蒸汽回收利用等,需要考虑计算过程中存在的一些约束条件,具体内容如下:

[0083] 1) 电功率平衡约束

$$P_{grid} + P_{MT} + P_{PV} + P_{WT} + P_{BS,D} = L_E + P_{A/C} + P_{HP} + P_{DMME}^{ice} + P_{DMME}^{cooling} + P_{BS,C} \quad (3)$$

[0085] 2) 烟气平衡约束

$$\alpha_{MT,smoke} P_{MT} = Q_{HRSG,smoke} + Q_{HX,smoke} \quad (4)$$

[0087] 3) 蒸汽功率平衡约束

$$\eta_{HRSG,smoke} Q_{HRSG,smoke}^{out} + Q_{GFB,steam} = Q_{TS} + Q_{HX,steam} \quad (5)$$

[0089] 4) 热功率平衡约束

$$Q_{HRSG,heat}^{out} + Q_{GFB,heat} + Q_{RA,D} = Q_{HL} + Q_{RA,C} \quad (6)$$

[0091] 5) 冷功率平衡约束

$$Q_{DMME}^{cooling} + Q_{IS,D} + Q_{A/C} = Q_{CL} + Q_{DMME}^{ice} \quad (7)$$

[0093] 6) 各设备运行的电、热功率约束

$$[0094] \begin{cases} P_{\min} \leq P \leq P_{\max} \\ Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max} \end{cases} \quad (8)$$

[0095] 7) 对蓄电池,应同时满足如下充、放电功率约束、储能量约束、以及充放电前后储能量的等式约束:

[0096] 蓄电池的充电约束;

$$[0097] 0 \leq P_{BS,C} \leq Cap_{BS} \gamma_{BS,C} \quad (9)$$

[0098] 蓄电池的放电约束;

$$[0099] 0 \leq P_{BS,D} \leq Cap_{BS} \gamma_{BS,D} \quad (10)$$

[0100] 蓄电池电量约束;

$$[0101] W_{BS,\min} \leq W_{BS} \leq W_{BS,\max} \quad (11)$$

[0102] 蓄电池充放电前后的储电量;

$$[0103] W_{BS}^{t+1} = W_{BS}^t (1 - \sigma_{BS}) + (P_{BS,C} \eta_{BS,C} - \frac{P_{BS,D}}{\eta_{BS,D}}) \Delta t \quad (12)$$

[0104] 式(3)-(12)中: P_{PV} 为光伏的功率、 P_{WT} 为风机的功率、 $P_{BS,C}$ 、 $P_{BS,D}$ 分为电储能的充、放电功率、 $P_{A/C}$ 为基载主机的电功率、 L_E 为电负荷功率、 P_{HP} 为热泵的电功率、 P_{DMME}^{ice} 、 $P_{DMME}^{cooling}$ 分为双工况主机制冰、制冷的电功率、 $\alpha_{MT,smoke}$ 为微燃机的热电比、 $Q_{HRSG,smoke}$ 、 $Q_{HX,smoke}$ 分为余热锅炉回收装置、烟气换热器吸收的烟气的热功率、 $Q_{GFB,steam}$ 为燃气锅炉产蒸汽的热功率、 $Q_{HRSG,heat}^{out}$ 为余热锅炉输出的热功率、 $Q_{GFB,heat}$ 为燃气锅炉输出的热功率、 Q_{TS} 、 Q_{HL} 分别为蒸汽负荷、热负荷、 $Q_{HX,steam}$ 分为蒸汽换热器的热功率、 $Q_{RA,D}$ 、 $Q_{RA,C}$ 分别为蓄热装置输出和输入的热功率、 $Q_{DMME}^{cooling}$ 、 Q_{DMME}^{ice} 分别为双工况主机工作在制冷、制冰工况输出的冷功率、 $Q_{IS,D}$ 为融冰制冷功率、 $Q_{A/C}$ 为基载主机的制冷功率、 Q_{CL} 为冷负荷、 Cap_{BS} 为蓄电池的容量、 $\gamma_{BS,C}$ 、 $\gamma_{BS,D}$ 分别为最大充电倍率、为最大放电倍率、 $W_{BS,\min}$ 、 $W_{BS,\max}$ 分别为蓄电池的最大、最小储电量、 W_{BS}^t 、 W_{BS}^{t+1} 分别为充、放电前后电量、 σ_{BS} 为自放电率、 $\eta_{BS,C}$ 、 $\eta_{BS,D}$ 分别为充放电效率、 Δt 为调度周期, h。

[0105] 蓄热装置、冰蓄冷装置等储能装置的约束条件与蓄电池类似,在此不再赘述。

[0106] 上层集中协调控制策略

[0107] 上层园区控制系统在正常运行状态下其控制目标为保证园区内冷/热/电供需平衡,在园区关口负荷峰值不越限的前提下,实现所辖直调设备的经济运行。在园区关口负荷峰值越限时,通过园区直调设备与下层需求响应进行削峰,分析参加响应的不同互动用户电价补贴,以补偿费用最小为目标(也即园区综合能源提供商净利润最大),合理选择可控资源进行削峰。

[0108] 需求响应(Demand response, DR)能够改善电网的负荷曲线,参加响应的用户能获得一定的电价补偿。如用户侧某些柔性负荷可通过功率调整、有序用电、降压节能(Conservation voltage reduction, VCR)等措施获得一定的可调节能力。在紧急情况下,也可中断部分用户实现削峰。通过事先签订协议,用户参与DR会获得调节补偿和中断补偿,则对第*i*个用户的实施成本可表示为:

$$[0109] \quad C_{DR,i} = \sum_{t=1}^T \alpha_{DR,i} \Delta L_{DR,i} \quad (13)$$

[0110] 式中: T 为第*i*个用户参与互动的时间; $\alpha_{DR,i}$ 为对第*i*个用户削减负荷所获得的单位削减量电价补偿; $\Delta L_{DR,i}$ 为第*i*个用户减少的峰荷。

[0111] 该策略中的目标函数为:

$$[0112] \quad \max f_2 = E_{\text{selling}} - C_{\text{source}} - C_{DR,i} \quad (14)$$

[0113] 式中: f_2 为园区能源提供商净利润, E_{selling} 为园区综合能源提供商向用户供冷、供热、供电所获得的收入, C_{source} 为综合能源提供商的购能成本, $C_{DR,i}$ 为综合能源提供商向第*i*个用户支付的电价补偿,其中:

$$[0114] \quad E_{\text{selling}} = E_{\text{elc}} + E_{\text{heat}} + E_{\text{cooling}} \quad (15)$$

$$[0115] \quad C_{\text{source}} = C_{\text{grid}} + C_{\text{gas}} \quad (16)$$

[0116] 式中 E_{elc} 为综合能源提供商获得的售电收入、 E_{heat} 为综合能源提供商获得的售热收入、 E_{cooling} 为综合能源提供商获得的售冷收入。其中园区的购能费用 C_{source} 计算方法与用户类似,在此不再赘述。

[0117] 除此之外,上层所辖直调设备还需满足园区内电平衡、热平衡、烟气平衡等约束,模型与用户类似,在此不再赘述。

[0118] 无论是上层控制还是下层控制,均需要满足一个约束条件,那就是园区关口最大负荷功率

$$[0119] \quad P_g \leq P_{\text{line}}^{\max} \quad (17)$$

[0120] 式中: P_g 为园区关口负荷功率; P_{line}^{\max} 为园区关口负荷功率上限值。为实现与电网友好互动,园区综合能源提供商须保证园区关口功率不越限。

[0121] 结合以上描述的关于上层控制和下层控制两种控制模型或策略,本发明上下层整体调度的思路如下:

[0122] 上层调度的目标是:在保证园区安全稳定的前提下,实现自身的投资、运行费用最小。当用户负荷出现较大增加时,上层调度增加发电机、直调储能出力,可调节用户进行削峰,保证关口功率不越限。在要求互动用户进行用户减少负荷削峰,需满足对不同互动用户参与需求响应的补偿电价最小。

[0123] 具体情形可分为以下3个阶段：

[0124] 阶段一：用户负荷增加园区关口功率越限时，上层调度需对园区发电机出力、直调储能的充放电、发电机进行合理经济调度进行削峰，并不会对用户的用电行为进行限制（即不会要求用户进行需求响应）；

[0125] 阶段二：用户负荷增加较大，园区发电机、直调储能无法平抑负荷的增加，关口功率越限，影响园区内电网的安全稳定，但通过可调节用户可以平抑负荷波动。上层园区调度对下层可调节用户下发指令，互动用户对自身负荷进行合理调整，根据指令参与调峰，达到功率平衡，实现电网的稳定。

[0126] 阶段三：用户负荷增加很大，园区发电机、直调储能无法平抑负荷的增加，关口功率越限，影响园区内电网的安全稳定，且单纯通过可调节用户可以平抑负荷波动。上层园区调度对下层可中断用户下发指令，互动用户对自身负荷进行合理中断，根据指令参与调峰，达到功率平衡，实现电网的稳定。

[0127] 上下层整体调度的流程图如图3所示，包括以下步骤：

[0128] 步骤一：针对用户层的典型用户配置，下层控制系统对用户进行自趋优化控制；

[0129] 步骤二：上层控制系统采集关口的功率信息，判断能源系统整体峰值是否满足实际需求，若满足，保持下层用户按照自趋优化的方案运行；若不满足，进入步骤三；

[0130] 步骤三：上层园区释放预先保留的电力，增加直调储能出力和发电机出力；

[0131] 步骤四：上层控制系统再次采集关口的功率信息，判断关口功率是否越限，若不越限，保持下层用户按照步骤三的方案运行，若越限，进入步骤五；

[0132] 步骤五：上层控制系统对下层可调节用户下发指令，互动用户对自身负荷进行合理调整，根据指令参与调峰，达到功率平衡，实现电网的稳定；

[0133] 步骤六：上层控制系统继续采集关口的功率信息，判断关口功率是否越限，若不越限，保持下层用户按照步骤五的方案运行，若越限，进入步骤七；

[0134] 步骤七：上层园控制系统对下层可中断用户下发指令，互动用户对自身负荷进行合理中断，根据指令参与调峰，达到功率平衡，实现电网的稳定。

[0135] 应当指出，以上所述具体实施方式可以使本领域的技术人员更全面地理解本发明的具体结构，但不以任何方式限制本发明创造。因此，尽管说明书及附图和实施例对本发明创造已进行了详细的说明，但是，本领域技术人员应当理解，仍然可以对本发明创造进行修改或者等同替换；而一切不脱离本发明创造的精神和范围的技术方案及其改进，其均涵盖在本发明创造专利的保护范围当中。

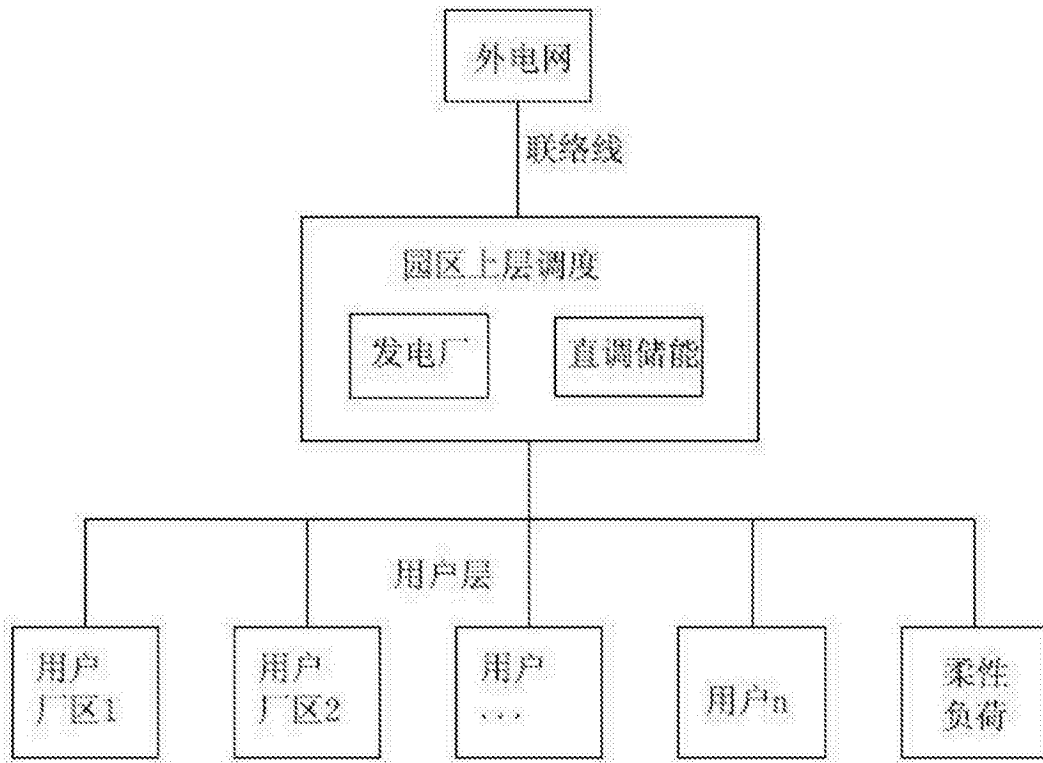


图1

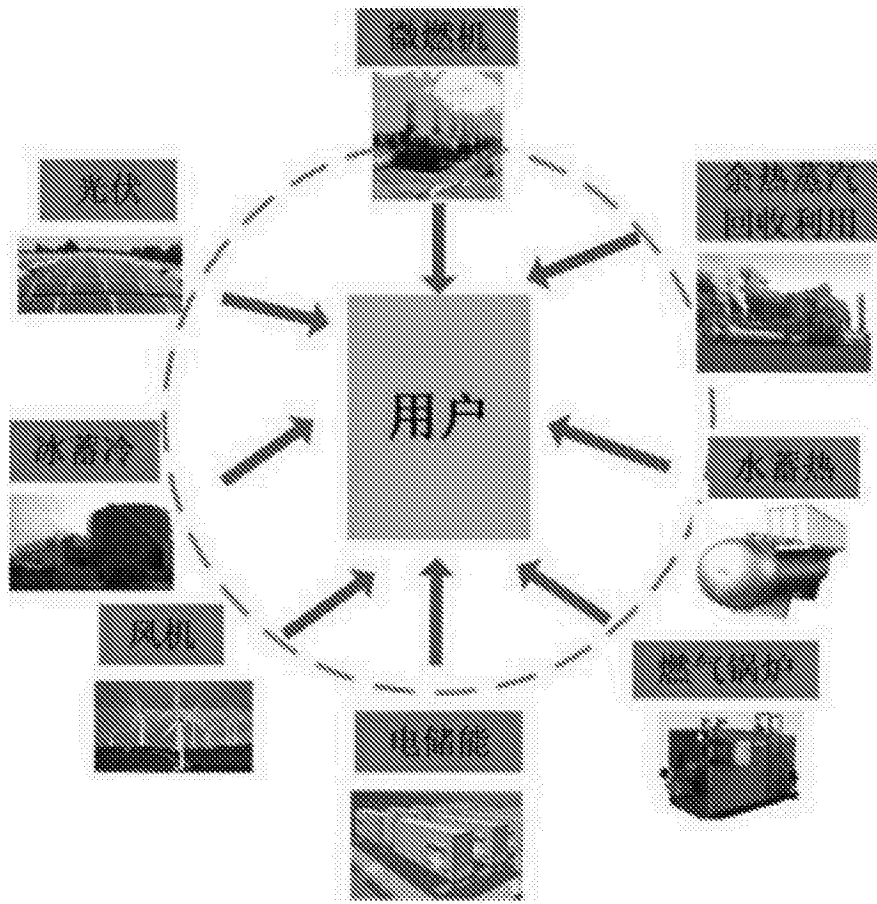


图2

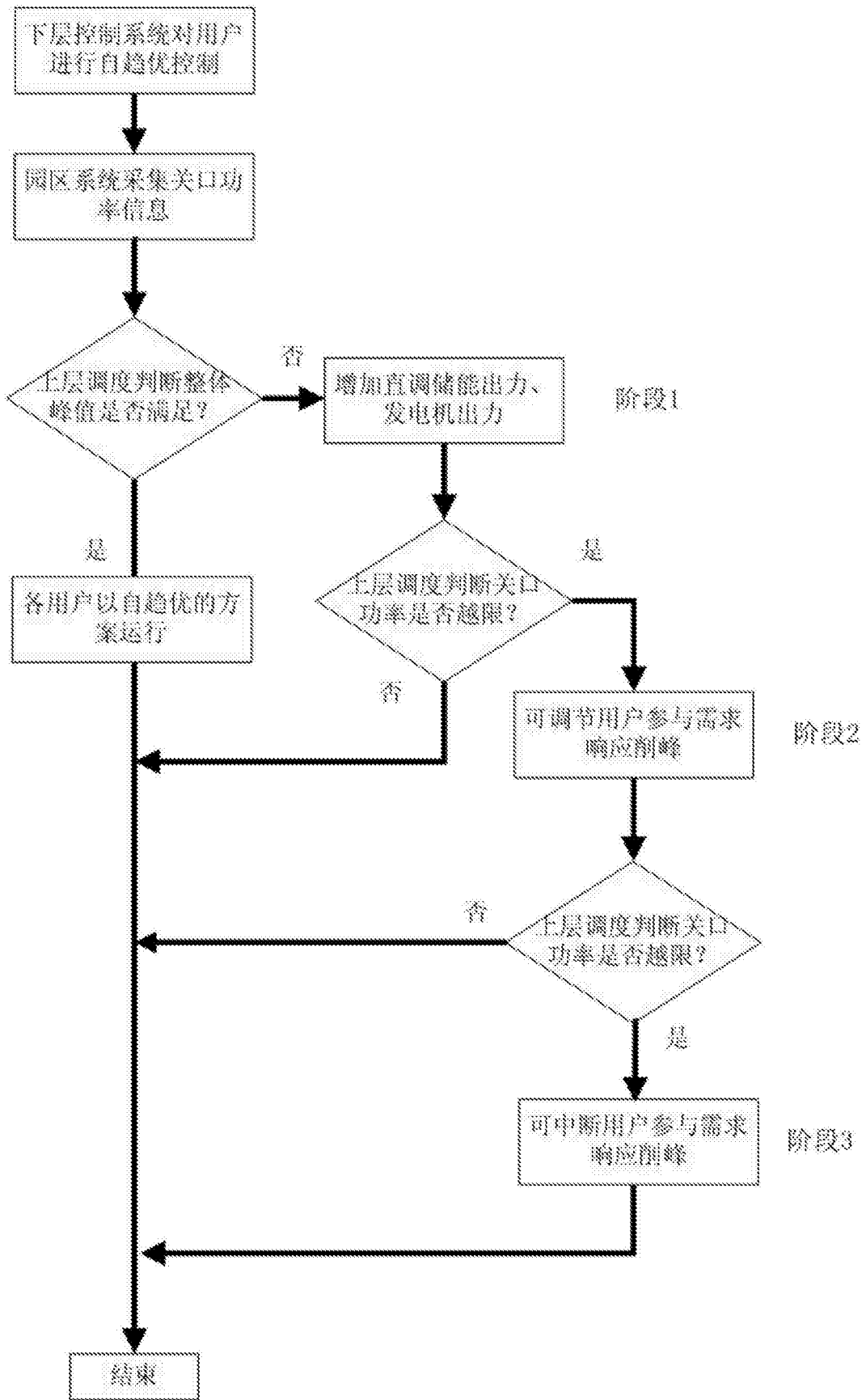


图3