



## (12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107423915 B

(45)授权公告日 2020.09.08

(21)申请号 201710664114.X

G06F 119/08(2020.01)

(22)申请日 2017.08.07

## (56)对比文件

CN 105761022 A, 2016.07.13

CN 105135623 A, 2015.12.09

CN 106524353 A, 2017.03.22

CN 104896660 A, 2015.09.09

Molina A etc. Implementation and assessment of physically based electrical load models: application to direct load control residential programmes.《IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution》.2003,第150卷(第1期),

崔永军 等.新能源电采暖电力负荷建模.

《电器与能效管理技术》.2016,(第18期),

Ning Lu etc. An evaluation of the HVAC load potential for providing load balancing service.《IEEE Transactions on Smart Grid》.2012,第3卷(第3期),

审查员 刘艳华

权利要求书1页 说明书4页 附图3页

(51)Int.Cl.

G06Q 10/06(2012.01)

G06Q 50/06(2012.01)

G06Q 50/26(2012.01)

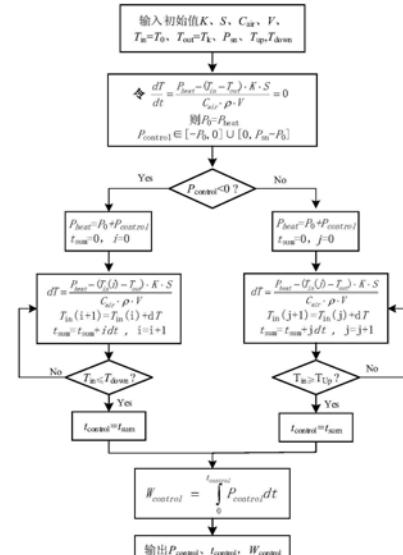
G06F 30/20(2020.01)

## (54)发明名称

基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力评估方法

## (57)摘要

本发明是一种基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力的评估方法,其特点是,首先定义了表征负荷可调节能力的三个量化指标包括可实施的调节功率 $P_{control}$ ,维持给定调节功率所能够持续的时间 $t_{control}$ ,以及进行功率调节时段所能够调控的电量 $W_{control}$ 。通过户用电采暖热动态模型,并引入某一时段数值天气预报的温度参数,评估出该时段在满足人体舒适的温度区间下的户用电采暖的负荷可调节能力,为实现电采暖用户参与电网负荷调节提供重要参考依据。具有科学合理,适用性强,效果佳等优点。



1. 一种基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力的评估方法，其特征是，首先定义表征负荷可调节能力的指标，通过电采暖热动态模型，引入某一时段数值天气预报的温度参数，评估出在满足人体舒适的温度区间下的户用电采暖的负荷可调节能力，具体包括以下内容：

1) 负荷可调节能力指标及其定义

$P_{control}$ 为所实施的调节功率， $t_{control}$ 为维持调节功率值 $P_{control}$ 所能够持续的时间， $W_{control}$ 为进行功率调节时段所能够调控的电量；

2) 户用电采暖暂态热平衡关系模型

电采暖暂态热平衡关系数学模型表示为式(1)

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P_{heat}(t) - (T_{in}(t) - T_{out}(t)) \cdot K \cdot S}{c_{air} \cdot \rho_{air} \cdot V} \quad (1)$$

式(1)中： $P_{heat}$ 为供热功率， $V$ 为建筑物内空间体积， $S$ 为建筑物外表面积， $K$ 为建筑物外表面综合导热系数， $c_{air}$ 为空气比热容， $\rho_{air}$ 为空气密度， $\frac{dT}{dt}$ 为室内温度变化率， $T_{in}$ 为室内温度， $T_{out}$ 为室外温度；

3) 进行负荷调节能力评估

(1) 给定用户的建筑物外表面积 $S$ 、建筑物内空间体积 $V$ 、建筑物外表面综合导热系数 $K$ 、空气比热容 $c_{air}$ 、空气密度 $\rho_{air}$ 和户用电采暖配置的最大供热功率 $P_{sn}$ ，确定室内温度调整范围为 $[T_{down}, T_{up}]$ ；

(2) 取定室内温度 $T_{in}$ 为进行负荷调节能力评估时的初始温度 $T_0$ ，选取室外温度 $T_{out}$ 为数值天气预报所对应时段的温度 $T_k$ ；

(3) 将步骤3)的(1)和(2)所获取的数据代入户用电采暖暂态热平衡关系模型式(1)，令室内温度变化率为0，确定出维持当前室内温度的功率值 $P_0$ ；

(4) 评估出户用电采暖可实施的调节功率 $P_{control}$ 范围，功率向上调节范围为 $[0, P_{sn} - P_0]$ ，功率向下调节范围为 $[-P_0, 0]$ ；

(5) 评估出维持给定调节功率所能够持续的时间 $t_{control}$ ，依据步骤3)的(4)所确定的具体调控功率 $P_{control}$ ，通过电采暖热动态模型进行仿真计算，若 $P_{control} > 0$ ，对应为温度上升过程，当室内温度 $T_{in}$ 上升至 $T_{up}$ 时截止，若 $P_{control} < 0$ ，对应为温度下降过程，当室内温度 $T_{in}$ 下降至 $T_{down}$ 时截止，进而得到进行功率调节时温度能持续维持在热舒适性区间的时间即为 $t_{control}$ ；

(6) 评估出进行功率调节时段所能够调控的电量 $W_{control}$ ，依据步骤3)的(4)所确定的具体调控功率 $P_{control}$ 及步骤3)的(5)所得到的时间 $t_{control}$ ，通过能量计算式(2)，

$$W_{control} = \int_0^{t_{control}} P_{control}(t) dt \quad (2)$$

得出进行功率调节过程中实现的调控电量 $W_{control}$ 。

## 基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力评估方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及负荷调节能力的领域,具体涉及一种基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力评估方法。

### 背景技术

[0002] 在有条件的地区逐渐推进户用电采暖规模化应用,促进了电能供给的低碳化,同时,由于采暖建筑墙体热惰性(蓄热和导热)和内环境的热惯性(温度变化的滞后性),在满足温度舒适性要求下,建筑室内温度调控范围变化引起建筑供能的变化,具有用能需求弹性。在户用电采暖负荷体量和规模可观时,利用“电采暖”负荷用能需求的弹性来提升电网调节能力大有可为。有效获取未来某一时段内户用电采暖的负荷可调节能力是实现其参与电网调节的重要前提。在此背景下,本发明提出了一种基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力的评估方法。

### 发明内容

[0003] 本发明的目的是,提出一种科学合理,适用性强,效果佳的基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力的评估方法。

[0004] 实现本发明目的采用的技术方案是,一种基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力的评估方法,其特征是,首先定义表征负荷可调节能力的指标,通过电采暖热动态模型,引入某一时段数值天气预报的温度参数,评估出在满足人体舒适的温度区间下的户用电采暖的负荷可调节能力,具体包括以下内容:

[0005] 1) 负荷可调节能力指标及其定义

[0006]  $P_{control}$ 为所实施的调节功率,  $t_{control}$ 为维持调节功率值 $P_{control}$ 所能够持续的时间,  $W_{control}$ 为进行功率调节时段所能够调控的电量;

[0007] 2) 户用电采暖暂态热平衡关系模型

[0008] 电采暖暂态热平衡关系数学模型表示为式(1)

$$\frac{dT}{dt} = \frac{P_{heat}(t) - (T_{in}(t) - T_{out}(t)) \cdot K \cdot S}{c_{air} \cdot \rho_{air} \cdot V} \quad (1)$$

[0010] 式(1)中: $P_{heat}$ 为供热功率,  $V$ 为建筑物内空间体积,  $S$ 建筑物外表面积,  $K$ 为建筑物

外表面综合导热系数,  $c_{air}$ 为空气比热容,  $\rho_{air}$ 为空气密度,  $\frac{dT}{dt}$ 为室内温度变化率,  $T_{in}$ 为室

内温度,  $T_{out}$ 为室外温度;

[0011] 3) 进行负荷调节评估

[0012] (1) 给定用户的建筑物外表面积 $S$ 、建筑物内空间体积 $V$ 、建筑物外表面综合导热系数 $K$ 、空气比热容 $c_{air}$ 、空气密度 $\rho$ 和户用电采暖配置的最大供热功率 $P_{sn}$ ,确定室内温度调整范围为 $[T_{down}, T_{up}]$ ;

[0013] (2) 取定室内温度 $T_{in}$ 为进行负荷调节能力评估时的初始温度 $T_0$ ,选取室外温度 $T_{out}$

为数值天气预报所对应时段的温度 $T_k$ ；

[0014] (3) 将步骤3) 的(1)和(2)所获取的数据代入户用电采暖暂态热平衡关系模型式(1),令室内温度变化率为0,确定出维持当前室内温度的功率值 $P_0$ ;

[0015] (4) 评估出户用电采暖可实施的调节功率 $P_{control}$ 范围,功率向上调节范围为[0, $P_{sn}-P_0$ ],功率向下调节范围为[- $P_0$ ,0];

[0016] (5) 评估出维持给定调节功率所能够持续的时间 $t_{control}$ ,依据步骤3)的(4)所确定的具体调控功率 $P_{control}$ ,通过电采暖热动态模型进行仿真计算,若 $P_{control}>0$ ,对应为温度上升过程,当室内温度 $T_{in}$ 上升至 $T_{up}$ 时截止,若 $P_{control}<0$ ,对应为温度下降过程,当室内温度 $T_{in}$ 下降至 $T_{down}$ 时截止,进而得到进行功率调节时温度能持续维持在热舒适性区间的时间即为 $t_{control}$ ;

[0017] (6) 评估出进行功率调节时段所能够调控的电量 $W_{control}$ ,依据步骤3)的(4)所确定的具体调控功率 $P_{control}$ 及步骤3)的(5)所得到的时间 $t_{control}$ ,通过能量计算式(2),

$$[0018] W_{control} = \int_0^{t_{control}} P_{control}(t) dt \quad (2)$$

[0019] 得出进行功率调节过程中实现的调控电量 $W_{control}$ 。

[0020] 本发明的基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力的评估方法,首先定义表征负荷可调节能力的指标,通过电采暖热动态模型,引入某一段数值天气预报的温度参数,评估出在满足人体舒适的温度区间下的户用电采暖的负荷可调节能力,具有科学合理,适用性强,效果佳等优点。

## 附图说明

[0021] 图1为基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力评估方法流程图;

[0022] 图2为功率调控过程室内温度随时间变化趋势图;

[0023] 图3为进行功率调节持续时段调控电量图;

[0024] 图4为不同功率调控下室内温度随时间变化趋势图。

## 具体实施方式

[0025] 下面将结合附图对本发明的基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力评估方法的实施方式作进一步地详细描述。

[0026] 参照图1,本发明的一种基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力的评估方法,首先定义表征负荷可调节能力的指标,通过电采暖热动态模型,引入某一段数值天气预报的温度参数,评估出在满足人体舒适的温度区间下的户用电采暖的负荷可调节能力,具体包括以下内容:

[0027] 1) 负荷可调节能力指标及其定义

[0028]  $P_{control}$ 为所实施的调节功率, $t_{control}$ 为维持调节功率值 $P_{control}$ 所能够持续的时间, $W_{control}$ 为进行功率调节时段所能够调控的电量;

[0029] 2) 户用电采暖暂态热平衡关系模型

[0030] 电采暖暂态热平衡关系数学模型表示为式(1)

$$[0031] \frac{dT}{dt} = \frac{P_{heat}(t) - (T_{in}(t) - T_{out}(t)) \cdot K \cdot S}{c_{air} \cdot \rho_{air} \cdot V} \quad (1)$$

[0032] 式(1)中:P<sub>heat</sub>为供热功率,V为建筑物内空间体积,S为建筑物外表面积,K为建筑物外表综合导热系数,c<sub>air</sub>为空气比热容,ρ<sub>air</sub>为空气密度,  $\frac{dT}{dt}$ 为室内温度变化率,T<sub>in</sub>为室内温度,T<sub>out</sub>为室外温度;

[0033] 3)进行负荷调节能力评估

[0034] (1)给定用户的建筑物外表面积S、建筑物内空间体积V、建筑物外表综合导热系数K、空气比热容C<sub>air</sub>、空气密度ρ和户用电采暖配置的最大供热功率P<sub>sn</sub>,确定室内温度调整范围为[T<sub>down</sub>,T<sub>up</sub>];

[0035] (2)取定室内温度T<sub>in</sub>为进行负荷调节能力评估时的初始温度T<sub>0</sub>,选取室外温度T<sub>out</sub>为数值天气预报所对应时段的温度T<sub>k</sub>;

[0036] (3)将步骤3)的(1)和(2)所获取的数据代入户用电采暖暂态热平衡关系模型式(1),令室内温度变化率为0,确定出维持当前室内温度的功率值P<sub>0</sub>;

[0037] (4)评估出户用电采暖可实施的调节功率P<sub>control</sub>范围,功率向上调节范围为[0,P<sub>sn</sub>-P<sub>0</sub>],功率向下调节范围为[-P<sub>0</sub>,0];

[0038] (5)评估出维持给定调节功率所能够持续的时间t<sub>control</sub>,参照图2,依据步骤3)的(4)所确定的具体调控功率P<sub>control</sub>,通过电采暖热动态模型进行仿真计算,若P<sub>control</sub>>0,对应为温度上升过程,当室内温度T<sub>in</sub>上升至T<sub>up</sub>时截止,若P<sub>control</sub><0,对应为温度下降过程,当室内温度T<sub>in</sub>下降至T<sub>down</sub>时截止,进而得到进行功率调节时温度能持续维持在热舒适性区间的时间即为t<sub>control</sub>;

[0039] (6)评估出进行功率调节时段所能够调控的电量W<sub>control</sub>,参照图3,依据步骤3)的(4)所确定的具体调控功率P<sub>control</sub>及步骤3)的(5)所得到的时间t<sub>control</sub>,通过能量计算式(2),

$$[0040] W_{control} = \int_0^{t_{control}} P_{control}(t) dt \quad (2)$$

[0041] 得出进行功率调节过程中实现的调控电量W<sub>control</sub>。

[0042] 实施例:

[0043] 以某配置的最大供热功率P<sub>sn</sub>为7.2kW(折合60W/m<sup>2</sup>)的120m<sup>2</sup>家庭用户为例进行电采暖负荷调节能力评估示例。

[0044] (1)中所涉及的建筑物参数如表1,考虑到人体热舒适性温度范围为18~22℃,本算例中室内温度调整范围[T<sub>down</sub>,T<sub>up</sub>]取定[18℃,22℃]。

[0045] (2)中所取定的初始温度T<sub>0</sub>=20℃,所选取室外温度T<sub>out</sub>为数值天气预报所对应时段的温度T<sub>k</sub>=-15℃。

[0046] (3)将相关参数代入电采暖暂态热平衡关系模型,令室内温度变化率  $\frac{dT}{dt}=0$ ,确定出维持当前室内温度的功率值P<sub>0</sub>=4.1kW。

[0047] (4)确定出户用电采暖可实施的调节功率P<sub>control</sub>范围,功率向上调节范围为[0,

3.1kW],功率向下调节范围为[-4.1kW,0];

[0048] (5) 和 (6), 分别取定具体的  $P_{control}$  值  $\pm 10\% P_{sn}$ 、 $\pm 20\% P_{sn}$ 、 $\pm 30\% P_{sn}$  进行仿真, 得到的不同功率调控下室内温度随时间变化趋势如图4所示。依据温度调控方向, 将对应的功率区分为正向调控和负向调控, 其中正向调控具体的  $P_{control}$  及相对应的  $t_{control}$ ,  $W_{control}$  输出结果见表2, 负向调控结果见表3。

[0049] 表1建筑物参数表

参数名称		单位	数据
外表面积	$S$	$m^2$	234.4
体积	$V$	$m^3$	312
导热系数	$K$	$W \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$	0.5
空气比热容	$C_{air}$	$kJ \cdot kg^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$	1.007
空气密度	$\rho$	$kg \cdot m^{-3}$	1.2

[0050] 表2电采暖负荷正向调节能力统计表

$P_{control}$ (kW)	$t_{control}(S)$	$W_{control}$ (kW·h)
$10\% P_{sn} = 0.720$	1267	0.2534
$20\% P_{sn} = 1.440$	572	0.2288
$30\% P_{sn} = 2.160$	370	0.2220
$P_{sn} - P_0 = 3.10$	254	0.2186

[0051] 表3电采暖负荷负向调节能力统计表

$P_{control}$ (kW)	$t_{control}(S)$	$W_{control}$ (kW·h)
$-10\% P_{sn} = -0.720$	1266	0.2532
$-20\% P_{sn} = -1.440$	571	0.2284
$-30\% P_{sn} = -2.160$	369	0.2214
$-P_0 = -4.10$	189	0.1846

[0056] 依据给定的评估算例, 从图4、表2、表3中可以看出, 电采暖向上、向下调节的最大功率为最大额定功率的43%、57%; 在取定的调节功率最大时, 持续可调节的时间至少可持续3min, 若调控功率相对较小的情况下, 持续的时间更长; 与进行功率调节相比情况下, 在短时间内可调控的电量能达到18%。可见大规模户用电采暖的负荷参入电网的负荷调节, 其潜力巨大。

[0057] 以上实例也说明了本发明所述基于数值天气预报的户用电采暖负荷可调节能力评估方法的可行性与有效性。

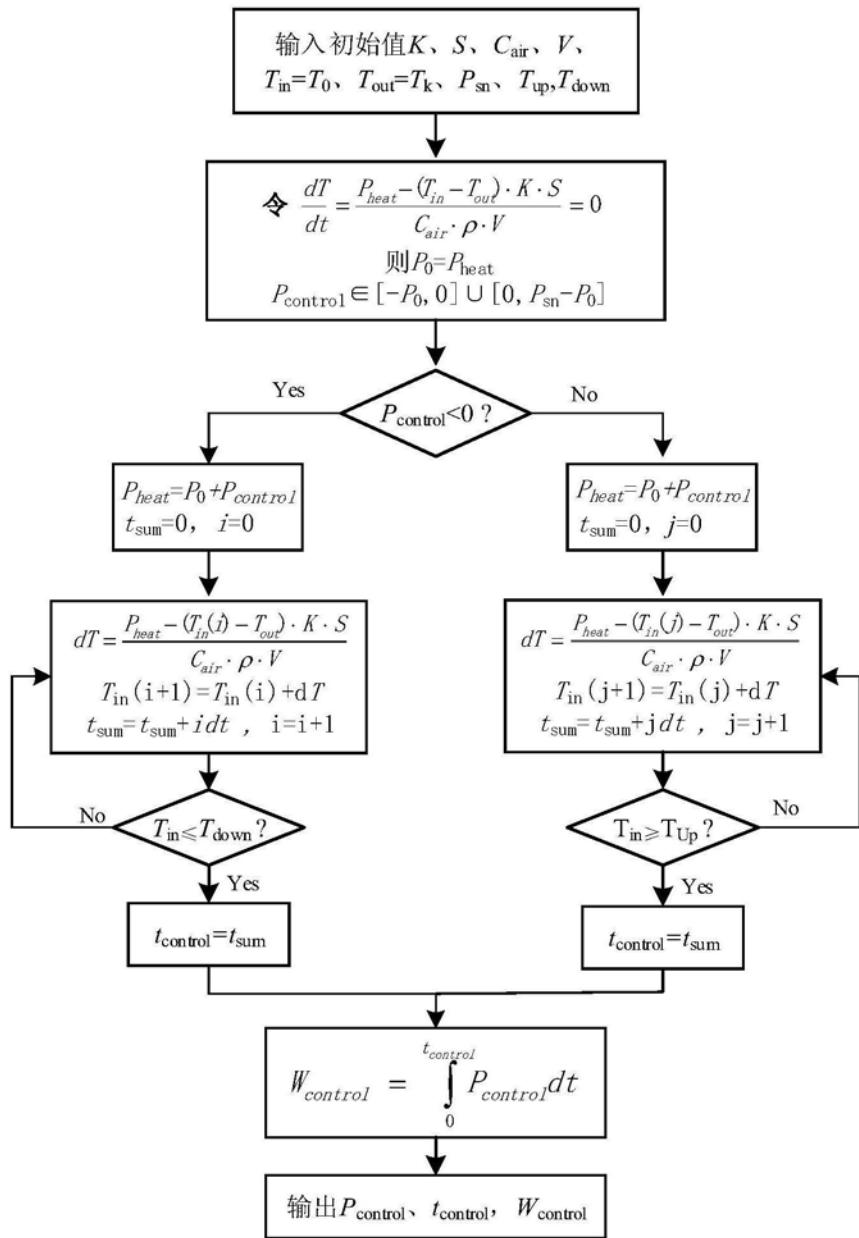


图1

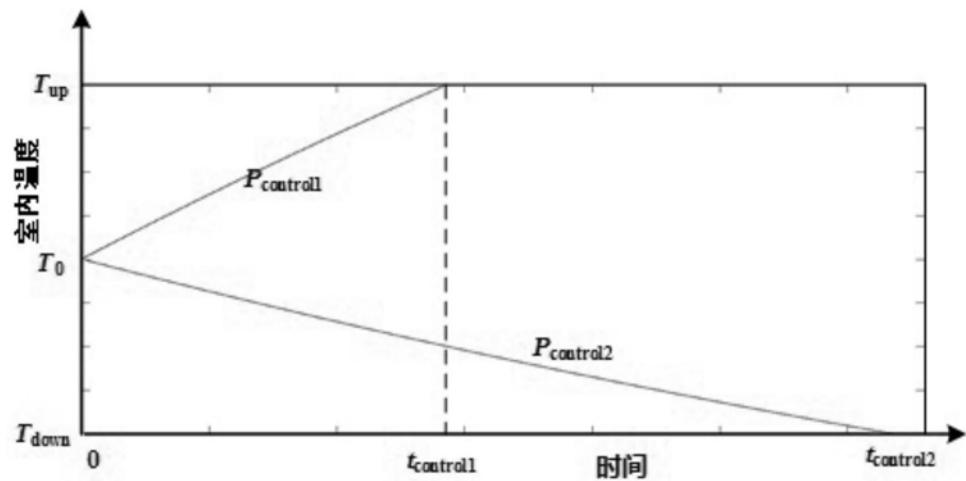


图2

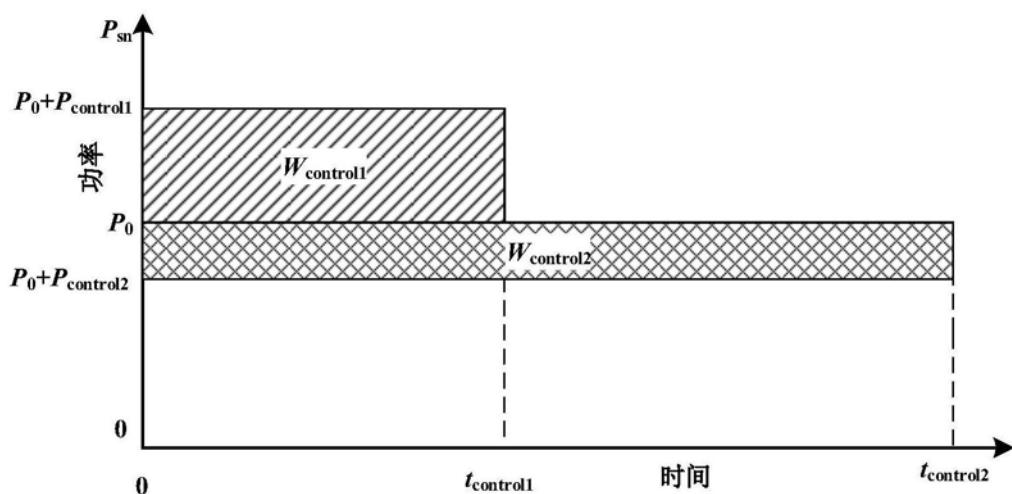


图3

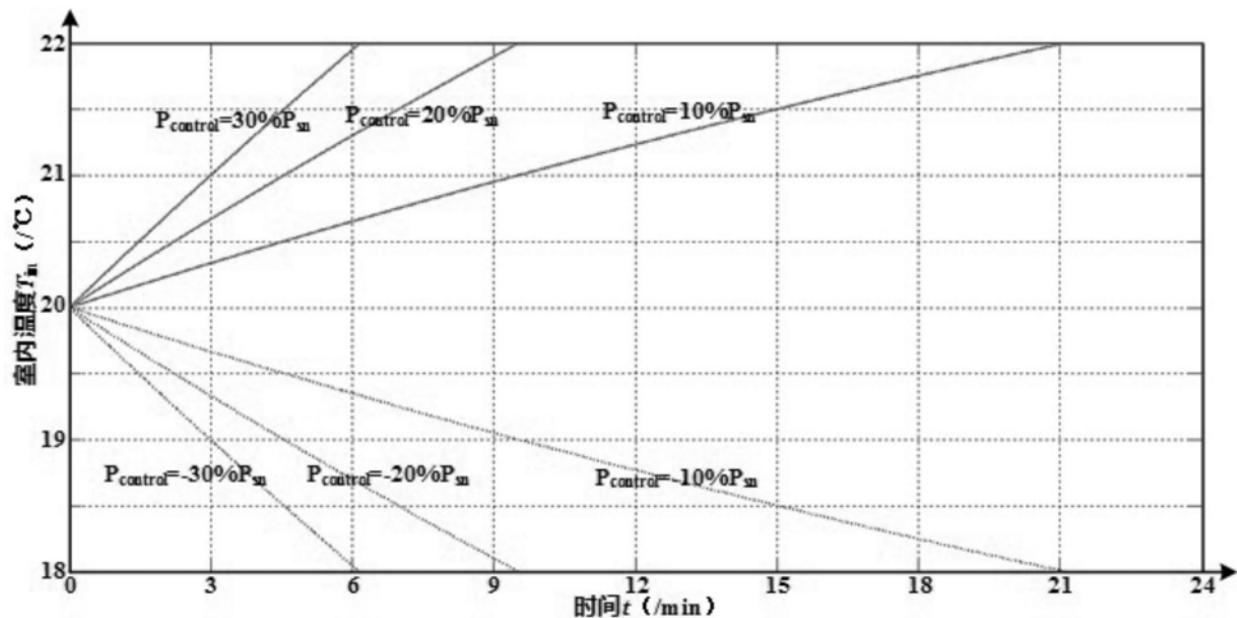


图4