



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113865112 B

(45) 授权公告日 2022.10.11

(21) 申请号 202111282982.4

F24H 15/156 (2022.01)

(22) 申请日 2021.11.01

F24H 15/168 (2022.01)

F24H 15/414 (2022.01)

(65) 同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 113865112 A

(43) 申请公布日 2021.12.31

(73) 专利权人 国网吉林省电力有限公司经济技术研究院

地址 130000 吉林省长春市朝阳区人民大街4799号

(72) 发明人 李欣 周琳 张圆美 鲁宇 余新 刘鹏 齐士伟

(74) 专利代理机构 北京天盾知识产权代理有限公司 11421

专利代理师 张彩珍

(51) Int.Cl.

F24H 9/20 (2022.01)

(56) 对比文件

CN 104482654 A, 2015.04.01

CN 102208882 A, 2011.10.05

JP 2018054189 A, 2018.04.05

CN 105783247 A, 2016.07.20

CN 101251297 A, 2008.08.27

CN 2709859 Y, 2005.07.13

CN 103388908 A, 2013.11.13

CN 203533859 U, 2014.04.09

CN 2391131 Y, 2000.08.09

曾峥. 储水式电热水器热水输出率测试的影响因素及不确定度.《日用电器》.2010, (第09期), 第42-44页.

审查员 赵珏榛

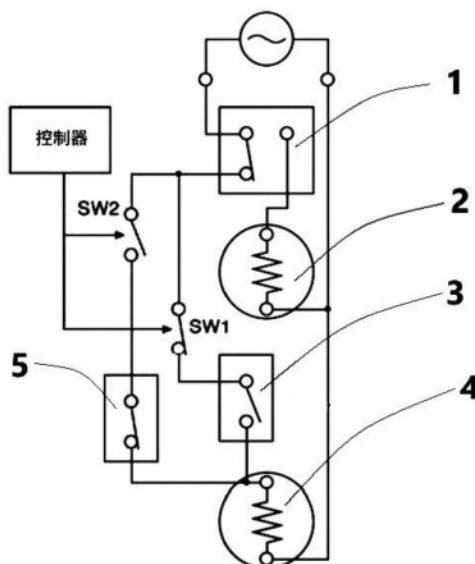
权利要求书2页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

可调节功耗的电热水器、系统及控制方法

(57) 摘要

本发明涉及一种可调节功耗的电热水器、电热水器系统及其控制方法,包括上部恒温器、上部加热元件第一下部恒温器、下部加热元件,所述上部恒温器和第一下部恒温器之间设有常闭开关,常闭开关处于断开状态时,所述第一下部恒温器、下部加热元件停止工作;包括第二下部恒温器,所述第二下部恒温器接所述下部加热元件,所述上部恒温器和所述第二下部恒温器之间设有常开开关,常开开关处于闭合状态时,所述第二下部恒温器可控制所述下部加热元件加热。本发明能够对聚合电热水器进行直接负载控制,有效调节总功耗。



1. 一种可调节功耗的电热水器, 包括上部恒温器、上部加热元件第一下部恒温器、下部加热元件, 其特征在于: 所述上部恒温器和第一下部恒温器之间设有常闭开关 (SW1), 常闭开关 (SW1) 处于断开状态时, 所述第一下部恒温器、下部加热元件停止工作;

包括第二下部恒温器, 所述第二下部恒温器接所述下部加热元件, 所述上部恒温器和所述第二下部恒温器之间设有常开开关 (SW2), 常开开关 (SW2) 处于闭合状态时, 所述第二下部恒温器可控制所述下部加热元件加热;

所述第二下部恒温器的断开温度阈值高于所述第一下部恒温器的断开温度阈值;

中央控制器和多个所述可调节功耗的电热水器构成一种可调节功耗的电热水器系统, 所述中央控制器与各电热水器控制器通讯连接;

所述可调节功耗的电热水器系统的控制方法, 包括如下步骤:

步骤1: 各电热水器控制器向中央控制器上传电热水器状态参数;

步骤2: 基于各电热水器状态参数, 计算电热水器系统当前总功耗 P_{tot} 和下一时刻总功耗 P_{woc} ;

步骤3: 获得电热水器系统总功耗目标 P_{tar} ;

步骤4: 总功耗目标 P_{tar} 大于总功耗 P_{woc} 时, 闭合部分电热水器的常开开关 (SW2), 增加功耗; 总功耗目标 P_{tar} 小于总功耗 P_{woc} 时, 断开部分电热水器的常闭开关 (SW1), 减少功耗。

2. 根据权利要求1所述的可调节功耗的电热水器, 其特征在于, 所述常闭开关 (SW1)、常开开关 (SW2) 接电热水器控制器。

3. 一种可调节功耗的电热水器系统, 其特征在于, 包括多个权利要求1或2所述的电热水器, 包括中央控制器, 所述中央控制器与各电热水器控制器通讯连接。

4. 一种权利要求3所述电热水器系统的控制方法, 其特征在于, 包括如下步骤:

步骤1: 各电热水器控制器向中央控制器上传电热水器状态参数;

步骤2: 基于各电热水器状态参数, 计算电热水器系统当前总功耗 P_{tot} 和下一时刻总功耗 P_{woc} ;

步骤3: 获得电热水器系统总功耗目标 P_{tar} ;

步骤4: 总功耗目标 P_{tar} 大于总功耗 P_{woc} 时, 闭合部分电热水器的常开开关 (SW2), 增加功耗; 总功耗目标 P_{tar} 小于总功耗 P_{woc} 时, 断开部分电热水器的常闭开关 (SW1), 减少功耗。

5. 根据权利要求4所述的控制方法, 其特征在于: 步骤3中, 计算电热水器系统下一时刻可以调节增加的最大功耗 P_{ur} 和可以调节减少的最大功耗 P_{dr} 。

6. 根据权利要求5所述的控制方法, 其特征在于: 当总功耗目标 P_{tar} 与总功耗 P_{woc} 的功耗差 ΔP_{tar} , 处于完全可调节范围内时, 步骤4中, 对部分电热水器进行调节, 直至达到电热水器系统的总功耗目标 P_{tar} 。

7. 根据权利要求4所述的控制方法, 其特征在于: 步骤1中, 电热水器控制器向中央控制器上传电热水器状态参数包括 c_1 、 c_2 、 t_{after} , c_1 表示第一下部恒温器的开关状态参数, c_2 表示上部恒温器的开关状态参数, t_{after} 表示上一次中央控制器发出开关指令的时刻, 距当前时刻的时长。

8. 根据权利要求4所述的控制方法, 其特征在于: 步骤2中, 电热水器系统下一时刻总功耗 P_{woc} 通过如下公式获得,

$$P_{woc}(t+\Delta t) = P_{tot}(t) + P_{rate} \left\{ \begin{array}{l} N(c_2=2) - N(c_2=3) \\ + N(c_1=2) - N(c_1=3) - N(c_1=5) \end{array} \right\}$$

其中 $P_{tot}(t)$ 是在 t 时刻的电热水器系统总功耗, P_{rate} 为加热元件的额定功率, $N(A)$ 是满足条件 A 的电热水器的数量;

$c_2=2$ 表示上一时刻上部恒温器开关断开,下一时刻上部恒温器开关闭合;

$c_2=3$ 表示上一时刻上部恒温器开关闭合,下一时刻上部恒温器开关断开;

$c_1=2$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关断开,下一时刻第一下部恒温器开关可能闭合;

$c_1=3$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关闭合,下一时刻第一下部恒温器开关断开,且下一时刻上部恒温器开关处于断开状态;

$c_1=5$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关闭合,下一时刻第一下部恒温器开关断开,且下一时刻上部恒温器开关处于闭合状态。

9. 根据权利要求5所述的控制方法,其特征在于:下一时刻可以调节增加的最大功耗 P_{ur} 和可以调节减少的最大功耗 P_{dr} 通过如下公式获得,

$$P_{ur}(t+\Delta t) = P_{rate} N(c_1=0, t_{after} > 5 \text{ min})$$

$$P_{dr}(t+\Delta t) = -P_{rate} \{ N(c_1=0, t_{after} > 5 \text{ min}) + N(c_1=2, t_{after} > 5 \text{ min}) \}$$

P_{rate} 为加热元件的额定功率, $N(A)$ 是满足条件 A 的电热水器的数量, t_{after} 表示上一次中央控制器发出开关指令的时刻,距当前时刻的时长;

$c_1=0$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关断开,下一时刻第一下部恒温器开关仍可能断开;

$c_1=2$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关断开,下一时刻第一下部恒温器开关可能闭合。

可调节功耗的电热水器、系统及控制方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种可调节功耗的电热水器、系统及控制方法。

背景技术

[0002] 综合能源系统 (IES) 涉及多种能源形式,其核心是实现能源的经济高效利用。抽水蓄能电站、电池、飞轮、分布式发电资源和需求侧管理 (DSM) 是灵活的能源选择,可以提供所需的快速响应辅助服务。需求侧管理中有两种控制方式:直接负载控制和间接负载控制。在直接负载控制中,负载的功耗由公用事业公司或系统运营商直接控制。精确调整需求很容易,但是当减载时间长于恒温控制设备能够滑行的时间段时,很难为最终用户保持可接受的舒适度。相比之下,在间接负载控制中,负载的功耗由客户手动控制或由电器自动控制,并考虑了电力系统的实时电价和频率偏差等信息。例如,根据实时电价对恒温控制设备的设定点控制对最终用户的影响小于减载。然而,外部参数(例如电费)的变化量与电力消耗之间的关系非常复杂。不仅关系是非线性的,而且在启动控制后,由于负载分集的缺乏,功耗可能会出现振荡。因此,在使用恒温控制设备的需求侧管理的示范项目和实际应用中经常采用直接负载控制。

[0003] 恒温控制设备 (TCA) 包括住宅供暖、通风和空调系统;电热水器;冰箱。适用于调节应用的恒温控制设备 (TCA) 是:1) 始终处于运行状态,因为在任何时候都需要调节;2) 高容量,以使用很少的设备获得可观的响应。由于电热水器 (EWH) 存储热能,因此可以转移短(或超)供应期间的消耗,而不是简单地减少(或增加)。如何对聚合电热水器 (EWH) 进行直接负载控制,有效调节总功耗,是亟待解决的技术问题。

发明内容

[0004] 本发明的发明目的在于提供一种可调节功耗的电热水器、系统及控制方法,能够对聚合电热水器进行直接负载控制,有效调节总功耗。

[0005] 基于同一发明构思,本发明具有三个独立的技术方案:

[0006] 1、一种可调节功耗的电热水器,包括上部恒温器、上部加热元件第一下部恒温器、下部加热元件,所述上部恒温器和第一下部恒温器之间设有常闭开关 (SW1),常闭开关 (SW1) 处于断开状态时,所述第一下部恒温器、下部加热元件停止工作;包括第二下部恒温器,所述第二下部恒温器接所述下部加热元件,所述上部恒温器和所述第二下部恒温器之间设有常开开关 (SW2),常开开关 (SW2) 处于闭合状态时,所述第二下部恒温器可控制所述下部加热元件加热。

[0007] 进一步地,所述第二下部恒温器的断开温度阈值高于所述第一下部恒温器的断开温度阈值。

[0008] 进一步地,所述常闭开关 (SW1)、常开开关 (SW2) 接电热水器控制器。

[0009] 2、一种可调节功耗的电热水器系统,包括多个上述的电热水器,包括中央控制器,所述中央控制器与各电热水器控制器通讯连接。

[0010] 3、一种电热水器系统的控制方法,包括如下步骤:

[0011] 步骤1:各电热水器控制器向中央控制器上传电热水器状态参数;

[0012] 步骤2:基于各电热水器状态参数,计算电热水器系统当前总功耗 P_{tot} 和下一时刻总功耗 P_{woc} ;

[0013] 步骤3:获得电热水器系统总功耗目标 P_{tar} ;

[0014] 步骤4:总功耗目标 P_{tar} 大于总功耗 P_{woc} 时,闭合部分电热水器的常开开关(SW2),增加功耗;总功耗目标 P_{tar} 小于总功耗 P_{woc} 时,断开部分电热水器的常闭开关(SW1),减少功耗。

[0015] 进一步地,步骤3中,计算电热水器系统下一时刻可以调节增加的最大功耗 P_{ur} 和可以调节减少的最大功耗 P_{dr} 。

[0016] 进一步地,当总功耗目标 P_{tar} 与总功耗 P_{woc} 的功耗差 ΔP_{tar} ,处于完全可调节范围内时,步骤4中,对部分电热水器进行调节,直至达到电热水器系统的总功耗目标 P_{tar} 。

[0017] 进一步地,步骤1中,电热水器控制器向中央控制器上传电热水器状态参数包括 c_1 、 c_2 、 t_{after} , c_1 表示第一下部恒温器的开关状态参数, c_2 表示上部恒温器的开关状态参数, t_{after} 表示上一次中央控制器发出开关指令的时刻,距当前时刻的时长。

[0018] 进一步地,步骤2中,电热水器系统下一时刻总功耗 P_{woc} 通过如下公式获得,

$$[0019] \quad P_{\text{woc}}(t+\Delta t) = P_{\text{tot}}(t) + P_{\text{rate}} \left\{ \begin{array}{l} N(c_2=2) - N(c_2=3) \\ + N(c_1=2) - N(c_1=3) - N(c_1=5) \end{array} \right\}$$

[0020] 其中 $P_{\text{tot}}(t)$ 是在 t 时刻的电热水器系统总功耗, P_{rate} 为加热元件的额定功率, $N(A)$ 是满足条件A的电热水器的数量;

[0021] $c_2=2$ 表示上一时刻上部恒温器开关断开,下一时刻上部恒温器开关闭合;

[0022] $c_2=3$ 表示上一时刻上部恒温器开关闭合,下一时刻上部恒温器开关断开;

[0023] $c_1=2$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关断开,下一时刻第一下部恒温器开关可能闭合;

[0024] $c_1=3$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关闭合,下一时刻第一下部恒温器开关断开,且下一时刻上部恒温器开关处于断开状态。

[0025] $c_1=5$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关闭合,下一时刻第一下部恒温器开关断开,且下一时刻上部恒温器开关处于闭合状态。

[0026] 进一步地,下一时刻可以调节增加的最大功耗 P_{ur} 和可以调节减少的最大功耗 P_{dr} 通过如下公式获得,

$$[0027] \quad P_{\text{ur}}(t+\Delta t) = p_{\text{rate}} N(c_1=0, t_{\text{after}} > 5\text{min})$$

$$[0028] \quad P_{\text{dr}}(t+\Delta t) = -p_{\text{rate}} \{N(c_1=0, t_{\text{after}} > 5\text{min.}) + N(c_1=2, t_{\text{after}} > 5\text{min.})\}$$

[0029] P_{rate} 为加热元件的额定功率, $N(A)$ 是满足条件A的电热水器的数量, t_{after} 表示上一次中央控制器发出开关指令的时刻,距当前时刻的时长;

[0030] $c_1=0$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关断开,下一时刻第一下部恒温器开关仍可能断开;

[0031] $c_1=2$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关断开,下一时刻第一下部恒温器开关可能闭合。

[0032] 本发明具有的有益效果:

[0033] 本发明所述上部恒温器和第一下部恒温器之间设有常闭开关(SW1),常闭开关(SW1)处于断开状态时,所述第一下部恒温器、下部加热元件停止工作;包括第二下部恒温器,所述第二下部恒温器接所述下部加热元件,所述上部恒温器和所述第二下部恒温器之间设有常开开关(SW2),常开开关(SW2)处于闭合状态时,所述第二下部恒温器可控制所述下部加热元件加热;所述第二下部恒温器的断开温度阈值高于所述第一下部恒温器的断开温度阈值。本发明通过增设常闭开关(SW1)、常开开关(SW2)和第二下部恒温器,使得当需降低聚合电热水器的总功耗时,断开部分电热水器的常闭开关(SW1),当需增加聚合电热水器的总功耗时,闭合部分电热水器的常开开关(SW2),对聚合电热水器进行直接负载控制,有效调节总功耗,进而可以为电网容纳可再生能源,获得经济效益和社会效益。

附图说明

[0034] 图1是本发明电热水器的电路原理图;

[0035] 图2是现有电热水器的配置和温度曲线示意图;

[0036] 图3是现有电热水器热水使用量示意图。

具体实施方式

[0037] 下面结合附图所示的各实施方式对本发明进行详细说明,但应当说明的是,这些实施方式并非对本发明的限制,本领域普通技术人员根据这些实施方式所作的功能、方法、或者结构上的等效变换或替代,均属于本发明的保护范围之内。

[0038] 电热水器(EWH)分为热力学模型和热水消耗模型。

[0039] (1)热力学模型

[0040] 传统的电热水器有两对加热元件和恒温器。任何时候只能打开一个加热元件。使用热水时,冷水进入水箱底部并留在那里,因为它比热水密度大。因此,水箱中的水在垂直方向上分为三层:低密度热水、高密度冷水和中间的混合层,如图2所示。当热水从水箱中抽出时,混合层从水箱底部移动到顶部。如果冷水层上升到触发下部恒温器的水平,则打开下部加热元件以加热冷水。如果热水不断从水箱中抽出,冷水层可能会上升到触发上部恒温器的水平。然后,打开上部加热元件而关闭下部加热元件,以优先仅加热顶层水。一旦顶层被加热,恒温器将关闭顶部加热元件并打开下部加热元件以从底部加热水。

[0041] 根据电热水器的实际生产情况,对其进行热力学建模,以下是前提条件:

[0042] 1)混合层的厚度为零。然后用固定体积对两层进行建模:下层(第1层)的体积为 L_1 ,上层(第2层)的体积为 L_2 。

[0043] 2)一层内,水温均匀。上层温度 T_2 始终高于或等于下层温度 T_1 。

[0044] 3)上部恒温器监测 T_2 和下部恒温器(第一下部恒温器)监测 T_1 。

[0045] 4)上部加热元件仅加热上部水层。

[0046] 5)如果 $T_1 < T_2$,下层元件只加热下层。如果 $T_1 > T_2$,它会加热两层。

[0047] 6)考虑 T_1 到达 T_2 后使用的累积水量 L_{used} 。 $L_{used} < L_1$ 时水从下层流向上层的温度为 T_2 , $L_{used} \geq L_1$ 时为 T_1 。当 T_1 通过加热下层到达 T_2 时, L_{used} 被重置为零。这个假设模拟了混合层的上升。

[0048] 因此,上层和下层的能量平衡方程如下:

$$[0049] \quad cmL_1 \frac{dT_1}{dt} = p_{1e} - p_{a1} - p_{21}$$

$$[0050] \quad cmL_2 \frac{dT_2}{dt} = p_{2e} - p_{a2} + p_{21} - p_{hw}$$

[0051] 其中c和m分别是水的比热容和密度;p是热功率;p的下标表示热量的运动,1表示下层水,2表示上层水,e表示加热元件,a表示周围空气。例如, p_{1e} 是从下层加热元件传递到下层水的热功率, p_{a1} 是下层水向周围空气的热辐射, p_{hw} 是热水消耗量。

[0052] 下部或上部加热元件 p_{ie} ($i=1$ or 2) 输入的功率计算为 $p_{rate} s_i$, 其中 p_{rate} 为加热元件的额定功率, s_i 为恒温器状态。

[0053] 热辐射 p_{ai} ($i=1$ or 2) 计算为:

$$[0054] \quad p_{ai} = cmL_i (T_i - T_a) / \tau$$

[0055] 其中 T_a 是环境温度, τ 是时间常数,设置为120小时。当 $T_i = 120^\circ\text{F}$ 、 $T_a = 60^\circ\text{F}$ 和 $L_i = 80\text{gal}$ (3031) 时, p_{ai} 约为100W。

[0056] (2) 热水消耗模型

[0057] 基于负载调查,建立电热水器热水消耗模型,生成单个电热水器的热水消耗量曲线。根据实际生产情况,以下是前提条件:

[0058] a) 消耗的热水不能通过电加热实时回收;因此,热能从储热水箱中排出。

[0059] b) 每次使用热水消耗单位能量 E_{unit} 时都会打开EWH以补偿能量耗散。这是因为 T_1 或 T_2 低于恒温器的下限阈值,因此,最小加热持续时间是

$$[0060] \quad t_{least} = \frac{E_{unit}}{p_{rate}}$$

[0061] 虽然电热水器的平均负载曲线 p_{ave} 是一条不断变化的曲线,但单个电热水器的负载曲线是一个不规则的脉冲序列,由于开启和关闭而具额定功率的幅值。因此,使用平均负载曲线和0到1之间的随机数x,模拟每个 t_{least} 周期的每个EWH的开/关状态;如果是 $x < p_{ave} / p_{rate}$,则处于开启状态,否则处于关闭状态。

[0062] 然后,热水消耗脉冲被分配给加热器负载的每个脉冲,如图3所示。在图3中, t_{delay} 是从开始消耗热水到开始打开加热元件的时间延迟。对于单个EWH, t_{delay} 的值取决于热水使用开始时的 T_1 和 T_2 。由于 T_1 和 T_2 在这个阶段没有计算, t_{delay} 随机分配。需要注意的是 $t_{delay} < cmL_1 \Delta T_{th} / p_{hw}$, 其中 $cmL_1 \Delta T_{th} / p_{hw}$ 为热水消耗量为 p_{hw} 时所需的消耗时间。因为在 $cmL_1 \Delta T_{th} / p_{hw}$ 内,即使 T_1 在热水使用开始时处于与恒温器的上限阈值相同的最高温度, T_1 也会降低到恒温器的下阈值 T_{1th} 以下。

[0063] 实施例一:

[0064] 可调节功耗的电热水器

[0065] 如图1所示,包括上部恒温器1、上部加热元件2,第一下部恒温3、下部加热元件4,此为现有技术。所述上部恒温器1和第一下部恒温器3之间设有常闭开关SW1,常闭开关SW1处于断开状态时,所述第一下部恒温器3、下部加热元件4停止工作;包括第二下部恒温器5,所述第二下部恒温器5接所述下部加热元件4,所述上部恒温器1和所述第二下部恒温器5之间设有常开开关SW2,常开开关SW2处于闭合状态时,所述第二下部恒温器5可控制所述下部加热元件加热。所述第二下部恒温器5的断开温度阈值高于所述第一下部恒温器3的断开温

度阈值。所述常闭开关SW1、常开开关SW2接电热水器控制器。

[0066] 实施例二：

[0067] 可调节功耗的电热水器系统

[0068] 包括多个上述的电热水器，包括中央控制器，所述中央控制器与各电热水器控制器通讯连接。

[0069] 在中央控制器的控制下，当需要增加电热水器系统的总功耗时，闭合部分电热水器的常开开关SW2；当需要减少电热水器系统的总功耗是，断开部分电热水器的常闭开关SW1。

[0070] 实施例三：

[0071] 上述可调节功耗的电热水器系统的控制方法

[0072] 包括如下步骤：

[0073] 步骤1：各电热水器控制器向中央控制器上传电热水器状态参数。

[0074] 各电热水器控制器向中央控制器上传电热水器状态参数包括 c_1 、 c_2 、 t_{after} ， c_1 表示第一下部恒温器的开关状态参数， c_2 表示上部恒温器的开关状态参数， t_{after} 表示上一次中央控制器发出开关指令的时刻，距当前时刻的时长。

[0075] c_1 数值所代表的含义如下所示：

[0076]	c_1	上一时刻第一下部恒温器开关状态	下一时刻第一下部恒温器开关状态
	0	0 (表示开关断开, 以下同)	可能是0
	1	1 (表示开关闭合, 以下同)	可能是1
	2	0	可能是1
	3	1	一定是0
	4	0	一定是0
	5	1	一定是0

[0077] c_2 数值所代表的含义如下所示：

[0078]	c_2	上一时刻上部恒温器开关状态	下一时刻上部恒温器开关状态
	0	0 (表示开关断开, 以下同)	0
	1	1 (表示开关闭合, 以下同)	1
	2	0	1
	3	1	0

[0079] 其中， $c_1=4$ 或 $c_1=5$ 同时还表示下一时刻上部恒温器开关处于闭合状态。

[0080] 步骤2：基于各电热水器状态参数，计算电热水器系统当前总功耗 P_{tot} 和下一时刻总功耗 P_{woc} 。

[0081] 电热水器系统下一时刻总功耗 P_{woc} 通过如下公式获得，

$$[0082] \quad P_{\text{woc}}(t + \Delta t) = P_{\text{tot}}(t) + P_{\text{rate}} \left\{ \begin{array}{l} N(c_2 = 2) - N(c_2 = 3) \\ + N(c_1 = 2) - N(c_1 = 3) - N(c_1 = 5) \end{array} \right\}$$

[0083] 其中 $P_{\text{tot}}(t)$ 是在 t 时刻的电热水器系统总功耗， P_{rate} 为加热元件的额定功率， $N(A)$ 是满足条件A的电热水器的数量。

[0084] $c_2=2$ 表示上一时刻上部恒温器开关断开，下一时刻上部恒温器开关闭合；

[0085] $c_2=3$ 表示上一时刻上部恒温器开关闭合,下一时刻上部恒温器开关断开;

[0086] $c_1=2$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关断开,下一时刻第一下部恒温器开关可能闭合;

[0087] $c_1=3$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关闭合,下一时刻第一下部恒温器开关断开,且下一时刻上部恒温器开关处于断开状态。

[0088] $c_1=5$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关闭合,下一时刻第一下部恒温器开关断开,且下一时刻上部恒温器开关处于闭合状态。

[0089] 电热水器系统下一时刻可以调节增加的最大功耗 P_{ur} 和可以调节减少的最大功耗 P_{dr} 通过如下公式获得,

[0090] $P_{ur}(t+\Delta t) = p_{rate} N(c_1=0, t_{after}>5min)$

[0091] $P_{dr}(t+\Delta t) = -p_{rate} \{N(c_1=0, t_{after}>5min.) + N(c_1=2, t_{after}>5min.)\}$

[0092] P_{rate} 为加热元件的额定功率, $N(A)$ 是满足条件A的电热水器的数量, t_{after} 表示上一次中央控制器发出开关指令的时刻,距当前时刻的时长。条件 $t_{after}>5min$ 为了避免频繁开启/关闭开关。

[0093] $c_1=0$ 表示上一时刻第一下部恒温器开关断开,下一时刻第一下部恒温器开关仍可能断开。

[0094] 步骤3:获得电热水器系统总功耗目标 P_{tar} 。

[0095] 步骤4:总功耗目标 P_{tar} 大于总功耗 P_{woc} 时,闭合部分电热水器的常开开关SW2,增加功耗;总功耗目标 P_{tar} 小于总功耗 P_{woc} 时,断开部分电热水器的常闭开关SW1,减少功耗。

[0096] 当总功耗目标 P_{tar} 与总功耗 P_{woc} 的功耗差 ΔP_{tar} ,处于完全可调节范围内时,对部分电热水器进行调节,直至达到电热水器系统的总功耗目标 P_{tar} 。所述完全可调节范围是指,当总功耗目标 P_{tar} 大于总功耗 P_{woc} 时,功耗差 ΔP_{tar} 小于电热水器系统可以调节增加的最大功耗 P_{ur} ;当总功耗目标 P_{tar} 小于总功耗 P_{woc} 时,功耗差 ΔP_{tar} 的绝对值小于电热水器系统可以调节减少的最大功耗 P_{dr} 的绝对值。

[0097] 当总功耗目标 P_{tar} 与总功耗 P_{woc} 的功耗差 ΔP_{tar} ,不处于完全可调节范围内时,则对部分电热水器进行调节,尽可能接近总功耗目标 P_{tar} 。

[0098] 上述控制步骤,每1分钟执行一次,实现逐分钟调节。

[0099] 上文所列出的一系列的详细说明仅仅是针对本发明的可行性实施方式的具体说明,它们并非用以限制本发明的保护范围,凡未脱离本发明技艺精神所作的等效实施方式或变更均应包含在本发明的保护范围之内。对于本领域技术人员而言,显然本发明不限于上述示范性实施例的细节,而且在不背离本发明的精神或基本特征的情况下,能够以其他的具体形式实现本发明。因此,无论从哪一点来看,均应将实施例看作是示范性的,而且是非限制性的,本发明的范围由所附权利要求而不是上述说明限定,因此旨在将落在权利要求的等同要件的含义和范围内的所有变化囊括在本发明内。

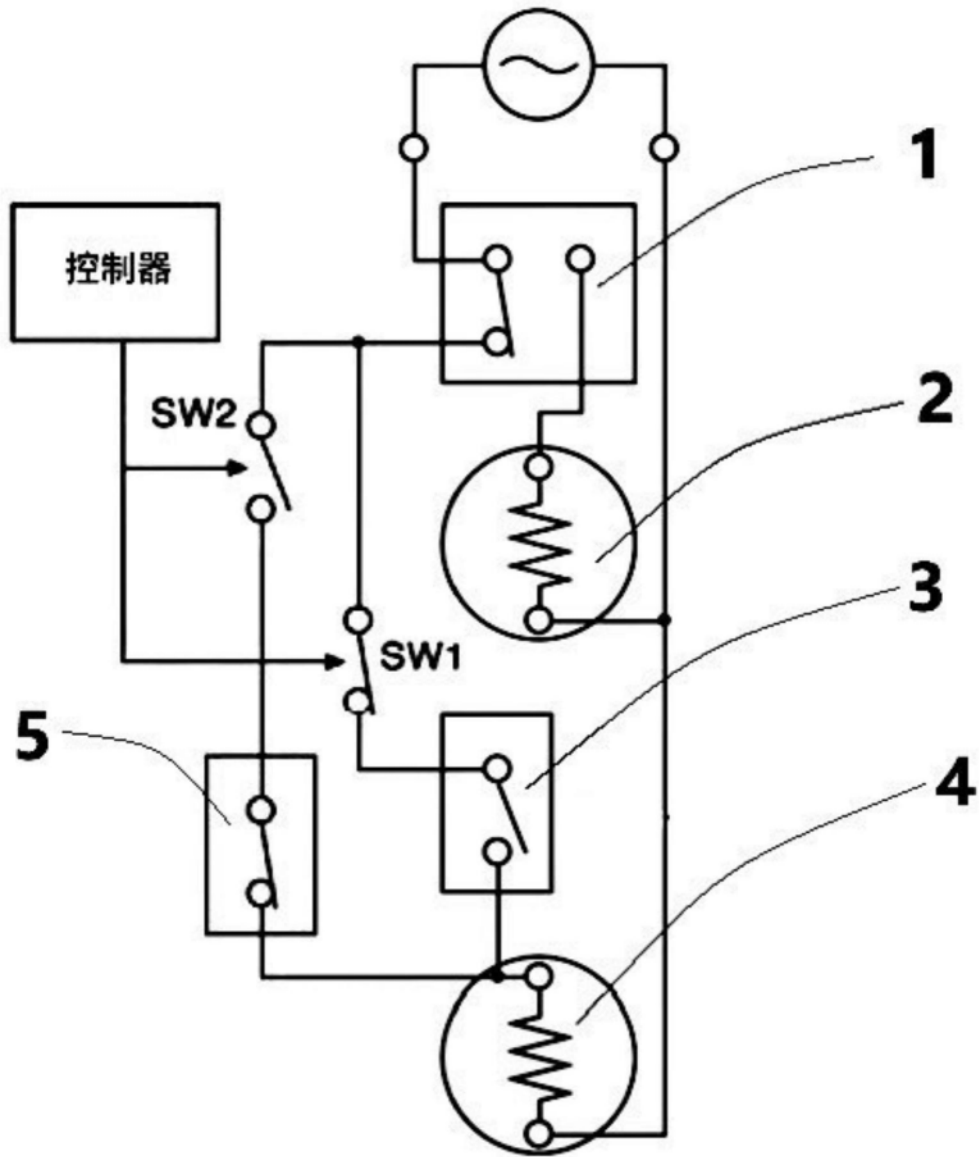


图1

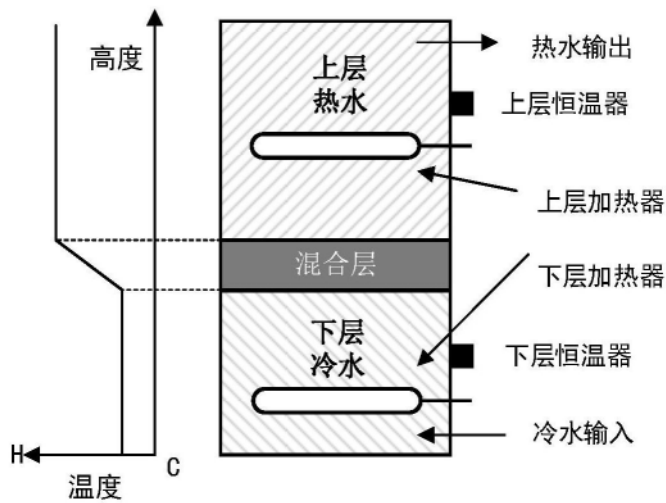


图2

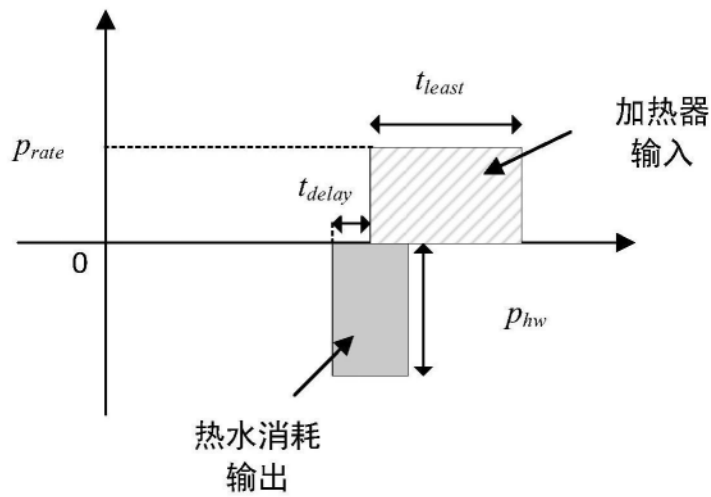


图3