



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 105240916 A

(43) 申请公布日 2016. 01. 13

(21) 申请号 201510750392. 8

H02S 40/44(2014. 01)

(22) 申请日 2015. 11. 05

(71) 申请人 中国建筑西南设计研究院有限公司

地址 610031 四川省成都市金牛区星辉西路
8号

(72) 发明人 戎向阳 冯雅 司鹏飞 刘希臣
侯余波 杨正武

(74) 专利代理机构 成都九鼎天元知识产权代理
有限公司 51214

代理人 刘凯

(51) Int. Cl.

F24D 15/00(2006. 01)

F24J 2/00(2014. 01)

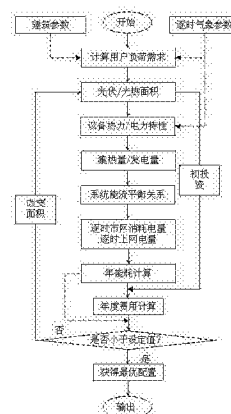
权利要求书3页 说明书10页 附图2页

(54) 发明名称

一种适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法

(57) 摘要

本发明公开了一种适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法,所述主动式太阳能系统包括太阳能光热单元和太阳能光伏单元,所述太阳能光热单元通过太阳能集热与空气源热泵辅助热源为建筑冬季供暖提供热源,所述太阳能光伏单元通过光伏发电为建筑用电器、空气源热泵以及输送水泵提供电源,所述太阳能光热单元和太阳能光伏单元均设置于建筑屋面。本发明针对高原寒冷地区的资源、气候以及建筑特征,提出了一种适宜的建筑主动式太阳能利用系统,并利用系统耦合关系与能流平衡约束条件,以经济性与节能性为基础,建立了系统的优化求解模型,为高原寒冷地区建筑采用多种太阳能技术的综合应用提供了支持,使太阳能复合系统的应用得到了推广。



1. 一种适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法,所述主动式太阳能系统包括太阳能光热单元和太阳能光伏单元,所述太阳能光热单元通过太阳能集热与空气源热泵辅助热源为建筑冬季供暖提供热源,所述太阳能光伏单元通过光伏发电为建筑用电器、空气源热泵以及输送水泵提供电源,所述太阳能光热单元和太阳能光伏单元均设置于建筑屋面,其特征在于:所述主动式太阳能系统优化方法包括以下步骤:

a)、将建筑看作一个开口系统,该系统中全年建筑的电力与热力需求量是恒定的,外界与系统发生的商品能源交换的通道仅为电力并网点;在满足建筑用热与用电的需求前提下,外界全年向其输入的商品能源,即市网消耗电量与发电上网电量差值越少,则从能源利用角度评价,太阳能综合利用系统越优;在满足建筑用热与用电的需求前提下,全年计算费用越少,则从经济性角度评价,太阳能综合利用系统越优;

b)、以上述要求建立优化模型,具体为:

①系统逐时电量平衡关系:

$$Q_f(h, A_{d,w}) - Q_q(h) - Q_g(h, A_{r,w}) = Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})$$

式中, $Q_f(h, A_{d,w})$ 为光伏设备逐时发电量, kWh; $Q_q(h)$ 为除采暖设备以外的其他设备逐时用电量, kWh; $Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})$ 为正值时代表逐时上网电量, 负值时代表逐时消耗城市电网电量, kWh; $Q_g(h, A_{r,w})$ 为供暖系统逐时消耗电量, kWh; $A_{d,w}$ 为光伏发电设备占用屋顶面积, m^2 ; $A_{r,w}$ 为光热设备用屋顶面积, m^2 ;

②系统逐时热量平衡关系:

第 h 时刻集热器直接供热量可表示为:

$$Q_{j,g}(h) = \begin{cases} Q_j(h), & Q_j(h) > Q_g(h) \\ Q_g(h), & Q_j(h) \leq Q_g(h) \end{cases}$$

第 h 时刻水箱余热量的热平衡方程可表示为:

$$Q_y(h) = \begin{cases} Q_y(h-1) + \hat{Q}(h) - Q_{g,q}(h), & Q_y(h-1) \geq Q_{g,q}(h) \\ 0, & Q_y(h-1) < Q_{g,q}(h) \end{cases}$$

第 h 时刻由太阳能集热直接供热后不足的热量可表示为(不足热需求将由蓄热量与辅助热源供热):

$$Q_{g,q}(h) = \begin{cases} Q_j(h) - Q_g(h), & Q_j(h) - Q_g(h) < 0 \\ 0, & Q_j(h) - Q_g(h) \geq 0 \end{cases}$$

第 h 时刻水箱即时蓄热量可表示为:

$$\hat{Q}(h) = \begin{cases} Q_j(h) - Q_g(h), & Q_j(h) - Q_g(h) > 0 \\ 0, & Q_j(h) - Q_g(h) \leq 0 \end{cases}$$

第 h 时刻辅助热源供热量可表示为:

$$\hat{Q}_{j\epsilon}(h) = \begin{cases} Q_{g,q}(h) - Q_y(h-1), & Q_y(h) = 0 \\ 0, & Q_y(h) \neq 0 \end{cases}$$

式中: $Q_j(h)$ 为第 h 时刻集热器集热量,

$$Q_j(h) = \int_{h-1}^h \frac{3600\eta_h^+ \cdot A \cdot I(h)}{1000}, \text{ kJ};$$

θ 为集热器安装倾角, $^\circ$;

$I(h)$ 为第 h 时刻倾斜面的太阳辐照强度, W/m^2 ;

$Q_f(h)$ 为第 h 时刻供暖所需热量, kJ ;

③全年上网电量:

$$Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w}) = \sum_{h=0}^{h=8765} \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \end{cases}$$

式中, $Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年上网电量, kWh ;

④全年市网消耗电量:

$$Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) = \sum_{h=0}^{h=8765} \begin{cases} |Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})|, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \end{cases}$$

式中, $Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年城市电网消耗电量, kWh ;

⑤全年能耗量 (以电量来算):

$$Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w}) = Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) - Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})$$

式中, $Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年能耗量 (以电量来算), kWh ;

⑥屋顶面积有限约束:

$$A_{d,w} + A_{r,w} \leq A_w$$

式中, A_w 为屋顶面积, m^2 ;

⑦运行费用:

运行费用可用下式表示:

$$P(A_{d,w}, A_{r,w}) = P_w(A_{d,w}, A_{r,w}) + \sum_{h=0}^{h=8765} \left\{ \left[Q_f(h, A_{d,w}) - \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \leq 0 \end{cases} \right] \times 0.42 + \right. \\ \left. \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \cdot (\text{标杆电价} + 0.42), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \leq 0 \end{cases} - \left[|Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})| \cdot (\text{市网电价}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \right] \right. \\ \left. \begin{cases} 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \leq 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \geq 0 \end{cases} \right\}$$

式中, $P(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为年运行费用, 元; $P_w(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为年维护费用, 即光伏系统与供暖系统, 元;

⑧年计算费用:

年计算费用公式如下式:

$$Z(A_{d,w}, A_{r,w}) = \theta_g K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w}) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w})$$

式中, Z 为年计算费用, 元/a; K 为初投资, 元; i 为利率/收益率, %; n 为生产期, 这里

取集热器的寿命,年 ;P 为运行费用 ; θ_g 为资金回收系数 ;

c)、确定目标函数 :

①从节能最优角度考虑,目标函数为 :

$$S = \min [Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w})] = \min [Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) - Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})]$$

②从经济最优角度考虑,目标函数为 :

$$S = \min [Z(A_{d,w}, A_{r,w})] = \min \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w}) \right]。$$

2. 根据权利要求 1 所述的适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法,其特征在于:通过所述优化模型,利用 MATLAB 软件编制求解程序进行求解,具体为:

a)、根据建筑参数及逐时气象参数,计算用户负荷需求;

b)、确定初始太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积;

c)、结合逐时气象参数以及设备热力和电力特性,得出集热量和发电量,形成系统能流平衡关系;

d)、根据逐时市网消耗电量及逐时上网电量,计算建筑年能耗,并根据年能耗计算出建筑年度费用;

e)、判断建筑年度费用是否小于设定值,若年度费用小于设定值,则获得太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积的最有配置,并输出,若年度费用大于设定值,则返回步骤 b),重新确定太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积。

一种适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及建筑工程技术领域,特别涉及一种适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法。

背景技术

[0002] 随着青藏高原建筑规模的快速增长,传统建筑能源供应短缺、生态环境脆弱成为制约高原地区发展的突出因素。青藏高原地区太阳能资源及其丰富,具有大规模开发利用太阳能的资源潜力。因此,如何高效、高质的利用该地区丰富的太阳能资源,建设低能耗的建筑将成为高原城镇建设的重要发展方向。

[0003] 近年来,太阳能技术得到了快速发展,同时太阳能利用设备价格呈现逐年下降的趋势,导致太阳能光热、光电等单项技术在高原建筑中得到了广泛的应用。随着主动太阳能产品的不断发展,太阳能热水和主动太阳能采暖技术在建筑中应用逐渐成为研究重点。

[0004] 目前针对高原寒冷地区资源与气候特征,研究适宜高原地区的太阳能光热与太阳能光伏等多技术复合的综合利用系统形式尚未见到报道。如何高效、灵活且有针对性的向建筑提供更多能量成为太阳能利用研究的难点。由于复合多种太阳能技术的热电耦合系统的复杂性及相应设计方法的缺失,导致目前高原地区多限于某种单一太阳能技术的应用,严重阻碍了太阳能复合系统的推广应用。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于:针对上述存在的问题,提供一种适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统的优化方法。

[0006] 本发明技术的技术方案是这样实现的:一种适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法,所述主动式太阳能系统包括太阳能光热单元和太阳能光伏单元,所述太阳能光热单元通过太阳能集热与空气源热泵辅助热源为建筑冬季供暖提供热源,所述太阳能光伏单元通过光伏发电为建筑用电器、空气源热泵以及输送水泵提供电源,所述太阳能光热单元和太阳能光伏单元均设置于建筑屋面,其特征在于:所述主动式太阳能系统优化方法包括以下步骤:

[0007] a)、将建筑看作一个开口系统,该系统中全年建筑的电力与热力需求量是恒定的,外界与系统发生的商品能源交换的通道仅为电力并网点;在满足建筑用热与用电的需求前提下,外界全年向其输入的商品能源,即市网消耗电量与发电上网电量差值越少,则从能源利用角度评价,太阳能综合利用系统越优;在满足建筑用热与用电的需求前提下,全年计算费用越少,则从经济性角度评价,太阳能综合利用系统越优;

[0008] b)、以上述要求建立优化模型,具体为:

[0009] ①系统逐时电量平衡关系:

[0010] $Q_f(h, A_{d,w}) - Q_q(h) - Q_g(h, A_{r,w}) = Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})$

[0011] 式中, $Q_f(h, A_{d,w})$ 为光伏设备逐时发电量, kWh; $Q_q(h)$ 为除采暖设备以外的其他设备逐时用电量, kWh; $Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})$ 为正值时代表逐时上网电量, 负值时代表逐时消耗城市电网电量, kWh; $Q_g(h, A_{r,w})$ 为供暖系统逐时消耗电量, kWh; $A_{d,w}$ 为光伏发电设备占用屋顶面积, m^2 ; $A_{r,w}$ 为光热设备用屋顶面积, m^2 ;

[0012] ②系统逐时热量平衡关系:

[0013] 第 h 时刻集热器直接供热量可表示为:

$$[0014] \quad Q_{j,g}(h) = \begin{cases} Q_j(h), & Q_j(h) > Q_g(h) \\ Q_g(h), & Q_j(h) \leq Q_g(h) \end{cases}$$

[0015] 第 h 时刻水箱余热量的热平衡方程可表示为:

[0016]

$$Q_y(h) = \begin{cases} Q_y(h-1) + \hat{Q}(h) - Q_{g,q}(h), & Q_y(h-1) \geq Q_{g,q}(h) \\ 0, & Q_y(h-1) < Q_{g,q}(h) \end{cases}$$

[0017] 第 h 时刻由太阳能集热直接供热后不足的热量可表示为 (不足热需求将由蓄热量与辅助热源供热):

$$[0018] \quad Q_{g,q}(h) = \begin{cases} Q_j(h) - Q_f(h), & Q_j(h) - Q_f(h) < 0 \\ 0, & Q_j(h) - Q_f(h) \geq 0 \end{cases}$$

[0019] 第 h 时刻水箱即时蓄热量可表示为:

[0020]

$$\hat{Q}(h) = \begin{cases} Q_j(h) - Q_f(h), & Q_j(h) - Q_f(h) > 0 \\ 0, & Q_j(h) - Q_f(h) \leq 0 \end{cases}$$

[0021] 第 h 时刻辅助热源供热量可表示为:

[0022]

$$\hat{Q}_{\text{fu}}(h) = \begin{cases} Q_{g,q}(h) - Q_y(h-1), & Q_y(h) = 0 \\ 0, & Q_y(h) \neq 0 \end{cases}$$

[0023] 式中: $Q_j(h)$ 为第 h 时刻集热器集热量,

$$[0024] \quad Q_j(h) = \int_{h-1}^h \frac{3600\eta_h^+ \cdot A \cdot I(h)}{1000}, \text{ kJ};$$

[0025] θ 为集热器安装倾角, $^\circ$;

[0026] $I(h)$ 为第 h 时刻倾斜面的太阳辐照强度, W/m^2 ;

[0027] $Q_f(h)$ 为第 h 时刻供暖所需热量, kJ;

[0028] ③全年上网电量:

$$[0029] \quad Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w}) = \sum_{h=0}^{h=8765} \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \end{cases}$$

[0030] 式中, $Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年上网电量, kWh ;

[0031] ④全年市网消耗电量 :

$$[0032] \quad Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) = \sum_{h=0}^{h=8765} \begin{cases} |Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})|, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \end{cases}$$

[0033] 式中, $Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年城市电网消耗电量, kWh ;

[0034] ⑤全年能耗量 (以电量来算) :

$$[0035] \quad Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w}) = Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) - Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})$$

[0036] 式中, $Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年能耗量 (以电量来算), kWh ;

[0037] ⑥屋顶面积有限约束 :

$$[0038] \quad A_{d,w} + A_{r,w} \leq A_w$$

[0039] 式中, A_w 为屋顶面积, m^2 ;

[0040] ⑦运行费用 :

[0041] 运行费用可用下式表示 :

[0042]

$$P(A_{d,w}, A_{r,w}) = P_w(A_{d,w}, A_{r,w}) + \sum_{h=0}^{h=8765} \left\{ \begin{aligned} & \left[Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) - \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \leq 0 \end{cases} \right] \times 0.42 + \\ & \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \cdot (\text{标杆电价} + 0.42), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \leq 0 \end{cases} - \begin{cases} |Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})| \cdot (\text{市网电价}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \right\}$$

[0043] 式中, $P(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为年运行费用, 元 ; $P_w(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为年维护费用, 即光伏系统与供暖系统, 元 ;

[0044] ⑧年计算费用 :

[0045] 年计算费用公式如下式 :

[0046]

$$Z(A_{d,w}, A_{r,w}) = \theta_g K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w}) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w})$$

[0047] 式中, Z 为年计算费用, 元 / a ; K 为初投资, 元 ; i 为利率 / 收益率, % ; n 为生产期, 这里取集热器的寿命, 年 ; P 为运行费用 ; θ_g 为资金回收系数 ;

[0048] c)、确定目标函数 :

[0049] ①从节能最优角度考虑, 目标函数为 :

$$[0050] \quad S = \min[Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w})] = \min[Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) - Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})]$$

[0051] ②从经济最优角度考虑, 目标函数为 :

$$[0052] \quad S = \min[Z(A_{d,w}, A_{r,w})] = \min \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w}) \right]$$

[0053] 本发明所述的适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法, 通过所述优化模型, 利用 MATLAB 软件编制求解程序进行求解, 具体为 :

[0054] a)、根据建筑参数及逐时气象参数, 计算用户负荷需求 ;

[0055] b)、确定初始太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积 ;

[0056] c)、结合逐时气象参数以及设备热力和电力特性,得出集热量和发电量,形成系统能流平衡关系;

[0057] d)、根据逐时市网消耗电量及逐时上网电量,计算建筑年能耗,并根据年能耗计算出建筑年度费用;

[0058] e)、判断建筑年度费用是否小于设定值,若年度费用小于设定值,则获得太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积的最有配置,并输出,若年度费用大于设定值,则返回步骤 b),重新确定太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积。

[0059] 本发明针对高原寒冷地区的资源、气候以及建筑特征,提出了一种适宜的建筑主动式太阳能利用系统,并利用系统耦合关系与能流平衡约束条件,以经济性与节能性为基础,建立了系统的优化求解模型,为高原寒冷地区建筑采用多种太阳能技术的综合应用提供了支持,使太阳能复合系统的应用得到了推广。

附图说明

[0060] 图 1 是本发明中主动式太阳能系统的应用示意图。

[0061] 图 2 是本发明利用软件的求解流程图。

[0062] 图中标记:1 为太阳能光热单元,2 为太阳能光伏单元,3 为空气源热泵,4 为供暖设备,5 为建筑用电器,6 为热网母线,7 为逆变器,8 为电网母线。

具体实施方式

[0063] 下面结合附图,对本发明作详细的说明。

[0064] 为了使本发明的目的、技术方案及优点更加清楚明白,以下结合附图及实施例,对本发明技术进行进一步详细说明。应当理解,此处所描述的具体实施例仅仅用以解释本发明,并不用于限定发明。

[0065] 实施例:一种适用于高原寒冷地区建筑的主动式太阳能系统优化方法,如图 1 所示,所述主动式太阳能系统包括太阳能光热单元 1 和太阳能光伏单元 2,所述太阳能光热单元 1 和太阳能光伏单元 2 均设置于建筑屋面,该系统利用太阳能光热作为主要供暖热源,采用电动空气源热泵作为采暖辅助热源,同时其采用了光伏发电系统,可以将光伏产生的电能输送至电网,缓解电力供应紧张局面;所述太阳能光热单元 1 通过太阳能集热与空气源热泵 3 辅助热源为建筑冬季供暖设备 4 提供热源,所述太阳能光热单元和空气源热泵通过热网母线 6 与供暖设备连接,所述太阳能光伏单元 2 通过光伏发电为建筑用电器 5、空气源热泵 3 以及输送水泵提供电源,当发电量高于整个建筑电力需求时,多余电力通过逆变器 7 输送至电网母线 8,当发电量低于整个建筑电力需求时,由市电网提供不足部分。

[0066] 在该系统中,热力和电力存在较强的耦合关系,太阳能集热面积的大小将影响辅助热源的电负荷,进而影响光伏系统电量平衡关系和太阳能光伏电池的安装面积,而太阳能光伏面积的变化也会反过来影响太阳能光热系统集热量与蓄热特征;二者的相互作用既体现在太阳能热/电转换以及蓄热/蓄电过程上,又体现在建筑全年用能过程方面,同时对综合利用系统的经济性方面也造成重要影响。建筑用能、建筑产能与建筑蓄能三者之间的耦合关系,再加上气象参数的动态变化,最终形成复杂的多变量动态耦合过程。

[0067] 所述主动式太阳能系统优化方法包括以下步骤:

[0068] a)、将建筑看作一个开口系统,该系统中全年建筑的电力与热力需求量是恒定的,外界与系统发生的商品能源交换的通道仅为电力并网点;在满足建筑用热与用电的需求前提下,外界全年向其输入的商品能源,即市网消耗电量与发电上网电量差值越少,则从能源利用角度评价,太阳能综合利用系统越优;在满足建筑用热与用电的需求前提下,全年计算费用越少,则从经济性角度评价,太阳能综合利用系统越优。

[0069] b)、以上述要求建立优化模型,具体为:

[0070] ①系统逐时电量平衡关系:

$$[0071] \quad Q_f(h, A_{d,w}) - Q_q(h) - Q_g(h, A_{r,w}) = Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})$$

[0072] 式中, $Q_f(h, A_{d,w})$ 为光伏设备逐时发电量, kWh; $Q_q(h)$ 为除采暖设备以外的其他设备逐时用电量, kWh; $Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})$ 为正值时代表逐时上网电量, 负值时代表逐时消耗城市电网电量, kWh; $Q_g(h, A_{r,w})$ 为供暖系统逐时消耗电量, kWh; $A_{d,w}$ 为光伏发电设备占用屋顶面积, m^2 ; $A_{r,w}$ 为光热设备用屋顶面积, m^2 。

[0073] ②系统逐时热量平衡关系:

[0074] 第 h 时刻集热器直接供热量可表示为:

$$[0075] \quad Q_{j,g}(h) = \begin{cases} Q_j(h), & Q_j(h) > Q_r(h) \\ Q_r(h), & Q_j(h) \leq Q_r(h) \end{cases}$$

[0076] 第 h 时刻水箱余热量的热平衡方程可表示为:

[0077]

$$Q_y(h) = \begin{cases} Q_y(h-1) + \hat{Q}(h) - Q_{g,q}(h), & Q_y(h-1) \geq Q_{g,q}(h) \\ 0, & Q_y(h-1) < Q_{g,q}(h) \end{cases}$$

[0078] 第 h 时刻由太阳能集热直接供热后不足的热量可表示为 (不足热需求将由蓄热量与辅助热源供热):

$$[0079] \quad Q_{g,q}(h) = \begin{cases} Q_j(h) - Q_r(h), & Q_j(h) - Q_r(h) < 0 \\ 0, & Q_j(h) - Q_r(h) \geq 0 \end{cases}$$

[0080] 第 h 时刻水箱即时蓄热量可表示为:

[0081]

$$\hat{Q}(h) = \begin{cases} Q_j(h) - Q_r(h), & Q_j(h) - Q_r(h) > 0 \\ 0, & Q_j(h) - Q_r(h) \leq 0 \end{cases}$$

[0082] 第 h 时刻辅助热源供热量可表示为:

[0083]

$$\hat{Q}_E(h) = \begin{cases} Q_{g,q}(h) - Q_y(h-1), & Q_y(h) = 0 \\ 0, & Q_y(h) \neq 0 \end{cases}$$

[0084] 式中: $Q_j(h)$ 为第 h 时刻集热器集热量,

[0085] $Q_f(h) = \int_{h-1}^h \frac{3600\eta_h^+ \cdot A \cdot I(h)}{1000}, \text{ kJ};$

[0086] θ 为集热器安装倾角, $^\circ$;

[0087] $I(h)$ 为第 h 时刻倾斜面的太阳辐照强度, W/m^2 ;

[0088] $Q_f(h)$ 为第 h 时刻供暖所需热量, kJ 。

[0089] ③全年上网电量:

[0090] $Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w}) = \sum_{h=0}^{h=8765} \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \end{cases}$

[0091] 式中, $Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年上网电量, kWh 。

[0092] ④全年市网消耗电量:

[0093] $Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) = \sum_{h=0}^{h=8765} \begin{cases} |Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})|, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \end{cases}$

[0094] 式中, $Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年城市电网消耗电量, kWh 。

[0095] ⑤全年能耗量 (以电量来算):

[0096] $Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w}) = Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) - Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})$

[0097] 式中, $Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为全年能耗量 (以电量来算), kWh 。

[0098] ⑥屋顶面积有限约束:

[0099] $A_{d,w} + A_{r,w} \leq A_w$

[0100] 式中, A_w 为屋顶面积, m^2 。

[0101] ⑦运行费用:

[0102] 运行费用可用下式表示:

[0103]

$$P(A_{d,w}, A_{r,w}) = P_w(A_{d,w}, A_{r,w}) + \sum_{h=0}^{h=8765} \left\{ \left[Q_f(h, A_{d,w}) - \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \leq 0 \end{cases} \right] \times 0.42 + \begin{cases} Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \cdot (\text{标杆电价} + 0.42), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) > 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \leq 0 \end{cases} - \left[|Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w})| \cdot (\text{市网电价}), & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) < 0 \\ 0, & Q_s(h, A_{d,w}, A_{r,w}) \geq 0 \right] \right\}$$

[0104] 式中, $P(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为年运行费用, 元; $P_w(A_{d,w}, A_{r,w})$ 为年维护费用, 即光伏系统与供暖系统, 元。

[0105] ⑧年计算费用:

[0106] 年计算费用公式如下式:

[0107]

$$Z(A_{d,w}, A_{r,w}) = \theta_g K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w}) = \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w})$$

[0108] 式中, Z 为年计算费用, 元/a; K 为初投资, 元; i 为利率/收益率, %; n 为生产期, 这里取集热器的寿命, 年; P 为运行费用; θ_g 为资金回收系数。

[0109] c)、确定目标函数:

[0110] ①从节能最优角度考虑,目标函数为:

$$[0111] \quad S = \min[Q_{n,h}(A_{d,w}, A_{r,w})] = \min[Q_{s,x}(A_{d,w}, A_{r,w}) - Q_{s,w}(A_{d,w}, A_{r,w})]$$

[0112] ②从经济最优角度考虑,目标函数为:

$$[0113] \quad S' = \min[Z(A_{d,w}, A_{r,w})] = \min\left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} K(A_{d,w}, A_{r,w}) + P(A_{d,w}, A_{r,w})\right].$$

[0114] 通过所述优化模型,根据如图 2 所示的求解流程,利用 MATLAB 软件编制求解程序进行求解,具体为:

[0115] a)、根据建筑参数及逐时气象参数,计算用户负荷需求;

[0116] b)、确定初始太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积;

[0117] c)、结合逐时气象参数以及设备热力和电力特性,得出集热量和发电量,形成系统能流平衡关系;

[0118] d)、根据逐时市网消耗电量及逐时上网电量,计算建筑年能耗,并根据年能耗计算出建筑年度费用;

[0119] e)、判断建筑年度费用是否小于设定值,若年度费用小于设定值,则获得太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积的最有配置,并输出,若年度费用大于设定值,则返回步骤 b),重新确定太阳能光热单元和太阳能光伏单元分别占建筑屋面的面积。

[0120] 具体案例:以拉萨(海拔 3650m)为例,全年累计太阳辐射量高达 7.2 GJ/m^2 ,是中国太阳辐射量最高的城市。经现场调研分析可知,拉萨传统建筑大多数是 3-4 层的多层建筑,为满足日照和太阳能被动供暖的要求,房屋间距较大。建筑将主要使用房间如办公室、客房、客厅、卧室等都布置在南向,而将次要房间如库房、卫生间等布置在北向。大量公共建筑只有南向房间,北向则是走廊。主要空间多为南向且有大量开窗,南向房间的外墙窗的墙面积比往往大于 0.4,北向房间开窗较小且多为双层玻璃窗。

[0121] 本案例选取西藏自治区建设厅办公建筑作为研究对象,楼层数为三层,建筑层高为 3m,建筑面积约为 2946 m^2 ,屋顶可利用面积约为 800 m^2 。建筑围护结构体系参考该地区常用的围护结构构造作法。

[0122] 1. 负荷模拟

[0123] 建筑无稳定的热水负荷需求,同时由于建筑进深较小及夏季室外空气温度较低,夏季不需要利用机械制冷设备进行供冷,故仅需对建筑用电负荷和供暖负荷进行模拟计算。

[0124] 1.1 用电负荷

[0125] 室内照明与相关用电设备的用电负荷,按建筑的运行规律设定小时变化系数,并区分工作日与休息日。考虑到复合系统优化过程中供暖系统耗电量为变量,因此该部分给出的建筑电力负荷预测不包括供暖系统用电负荷。

[0126] 1.2 采暖负荷

[0127] 利用 DesignBuilding 负荷模拟软件,对拉萨地区典型办公建筑进行了供暖负荷模拟计算。照明开关时间、人员逐时在室率、电器设备逐时使用率、空气调节和采暖房间的温度、照明功率密度、人员密度、设备功率密度及时刻表按照公共建筑节能设计标注,并结合实际工程情况确定。拉萨供暖期为 11 月 15 日至次年 3 月 15 日。

[0128] 模拟计算得到的全年供暖与电力负荷参数如表 1 所示。由于办公建筑仅白天使

用,故其采用间歇供暖模式,供暖负荷仅出现在白天;由于白天当地太阳能极其丰富,通过窗户等被动设置直接获得的太阳能热量较大,导致建筑整个供暖季节累计热负荷指标远远低于该地区同类型办公建筑热负荷指标。

[0129] 表 1 全年供暖与电力负荷参数

[0130]

	峰值负 荷/kW	全年总 负荷/kWh
供暖	53.67	59218
电力	82.0	205242

[0131] 2. 求解边界条件

[0132] 2.1 太阳能设备性能

[0133] 考虑到高原气候条件以及平板集热器具有更好的承压能力等因素,所选择的太阳能平板集热器效率可表示为:

[0134] $\eta = 0.7595 - 5.7375(T_i - T_a)/I_T$

[0135] 式中, η 为集热器的集热效率; I_T 为集热器单位面积上接收的太阳辐射, W/m^2 ; T_i 为集热器流体进口温度, $^{\circ}C$; T_a 为周围环境空气温度, $^{\circ}C$ 。

[0136] 本研究选取了某品牌的太阳能光伏电池作为研究对象,其性能参数如表 2 所示。

[0137] 表 2 光伏电池性能参数

[0138]

电气参数 (标准测试条件)	YL250
输出功率 (W_p)	250
功率公差 (%)	0/+5
最大功率点的工作电压 V_m (V)	30.4
最大功率点的工作电流 I_m (A)	8.24
开路电压 V_{oc} (V)	38.4
短路电流 I_{sc} (A)	8.79
组件效率 (%)	15.3

[0139] 光伏系统年衰减性能基本上是分两个阶段的线性曲线,在 0 ~ 10 年阶段总衰减 $\leq 10\%$; 11 ~ 25 年阶段总衰减 $\leq 20\%$,即保证 25 年后组件功率仍有标称功率的 80%。光伏发电整体的系统效率取 75%。

[0140] 2.2 经济性边界条件

[0141] 拉萨商业用电电价 0.8521 元/kWh,脱硫标杆电价 0.38 元/kWh,收益率本研究取 8%,集热器的寿命为 15 年,光伏电池板寿命为 25 年。光伏发电计价与补贴价格见表 3。

[0142] 表 3 光伏发电计价与补贴价格

[0143]

自用电收益 (元/kWh)	富余上网电量补贴 (元/kWh)
商业用电电价 + 0.42	脱硫标杆电价 + 0.42

[0144] 3. 计算结果与分析

[0145] 3.1 基于节能性的主动式太阳能系统优化结果

[0146] 建筑全年耗电量最低的太阳能综合利用方案是屋顶面积全部采用太阳能光伏,即从建筑节能最大化的角度考虑,建筑屋面应优先采用太阳能光伏与空气源热泵复合的能源供应系统。

[0147] 经详细分析后可知,造成上述结论的主要原因是:

[0148] a、全年使用时间段的差异。

[0149] 太阳能光伏系统为全年使用设备,而太阳能光热采暖系统仅在采暖季节使用,光伏系统发电的时间为 12 个月,而光热采暖系统产生有用能的时间段为 4-5 个月,二者相差 2-3 倍。

[0150] b、全天使用时间段的差异。

[0151] 由于太阳能光热采暖系统集热效率不仅受辐照强度的影响,还与室外环境空气干球温度有关,较低的室外空气温度与较弱的太阳辐射强度时段,集热器表面对流换热造成的散热损失大于集热器表面与太阳的辐射得热量,所以在温度与太阳辐射强度较低的日出和日落时段,虽然集热器表面可以接收到太阳辐照能,但并不能加热集热器中的热水,这导致光热系统一天有效集热时间相对于太阳辐照时间缩短了 2 个小时以上,尤其在一些阴雪天气时段更是如此。而光伏系统发电即使在一些温度与辐照强度较低的日出与日落时段,仍然可以产生有用的电力。

[0152] c、蓄能与用能系统的差异。

[0153] 太阳能光伏系统可利用城市电网作为蓄能系统,其蓄能容量可认为接近无限大,是理想的蓄能系统,即可认为光伏发电系统所产生的电能除去系统内部损耗外,全部可加以利用;而太阳能光热采暖系统受蓄热水箱容积的限制,在供暖负荷需求小的供暖初期和供暖末期,由于蓄热量大于水箱蓄热能力,导致蓄热水箱水温高于设计值,一方面使得集热系统回水水温升高,集热板对流换热量增加,将降低集热板的集热效率,减少系统集热量;另一方面使得蓄热水箱散热损失增加,降低了整个系统的用能效率。

[0154] 同时,受供暖系统用能端的限制,在供暖末期所接收的有效太阳辐照能量并不能完全被利用,存在部分废热量,进一步降低了系统节能性。换句话说,光伏发电可利用城市电网的调度能力,将富裕的上网电量用于其他用电负荷;而光热系统产生的热水,只能在本建筑中应用,因此在供暖末期由于热量不能被本建筑用尽,同时也不能“调度”到其他场所来有效利用,故存在部分不能完全被利用的废热量。

[0155] d、能源品味的差异

[0156] 如前所述,晶硅组件的太阳能光伏系统光电转换效率为 15% 左右;虽然低于太阳能光热系统的集热效率的 35-40%,但是太阳能光伏系统产生的电能相对于太阳能光热采暖系统产生的 55℃ 左右的热水具有能源品味较高的特点。利用 1kWh 的电能驱动空气源热泵可以产生约 2-3kWh 的 55℃ 左右热水,这从另一个角度显示了光伏系统的节能性。

[0157] 3.2 基于经济性的主动式太阳能系统优化结果

[0158] 在对拉萨典型建筑光热/光电面积对年计算费用的影响中考虑了政府的光伏补贴及相应的税收。年计算费用最低的太阳能综合利用方案是屋顶全部采用太阳能光伏,即从建筑经济性角度考虑,建筑屋面应优先采用太阳能光伏与空气源热泵复合的能源供应系统。

[0159] 经详细分析后可知,造成上述结论的主要原因除了节能性原因外还存在下述因素:

[0160] a、光伏发电财政补贴政策优于太阳能光热利用。

[0161] 根据国家可再生能源相关政策,对采用太阳能采暖与太阳能光伏的建筑,按照可再生能源利用面积给予一次性补贴,但太阳能光伏建筑除了初投资获得补贴外,后期发电自用与发电上网均可以获得大量补贴,详见表 3,这导致太阳能光伏系统的经济性得以明显提升。

[0162] b、光伏发电系统的使用寿命高于太阳能光热采暖系统。

[0163] 虽然单位面积太阳能光伏发电系统的造价高于太阳能光热采暖系统,但由于太阳能光伏系统的寿命为 25 年,而太阳能光热采暖系统的寿命仅为 15 年,考虑资金的时间因素后,缩小了二者初投资的差距,提高了太阳能光伏发电系统的经济性。

[0164] 3.3 建筑节能评价。

[0165] 由最优化系统的全年性能评估结果,上网电量占光伏系统发电量的比例约在 16% -29% 之间变化,其中在供暖季节该比值较小,非供暖季节该比值较大,全年上网电量占光伏系统发电量的比例的平均值为 23.0%。这一方面是因为供暖季节光伏发电能力低于非供暖季节,另一方面供暖季节由于存在供暖系统用电量,整个建筑的用电需求也高于非供暖季节。

[0166] 光伏系统发电自用部分占建筑总用电量的比例在 42% -76% 之间,其中非供暖季节光伏系统发电自用部分占建筑用电量的比例高于供暖季节,建筑全年耗电量的 59.2% 由光伏发电系统供给。这表明若与采用常规电力和空气源热泵形式的建筑相比,该主动式太阳能建筑全年实际消耗电力减少了约 60%。

[0167] 光伏发电全年上网电量与建筑全年消耗市网电量的比值约为 45%,若以全年为一个周期进行评价,扣除上网电量后,建筑全年合计消耗电量为实际市网耗电量的 55%,即若考虑主动式太阳能建筑对市网的贡献,则该主动式建筑全年节能率约为 78%。

[0168] 以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

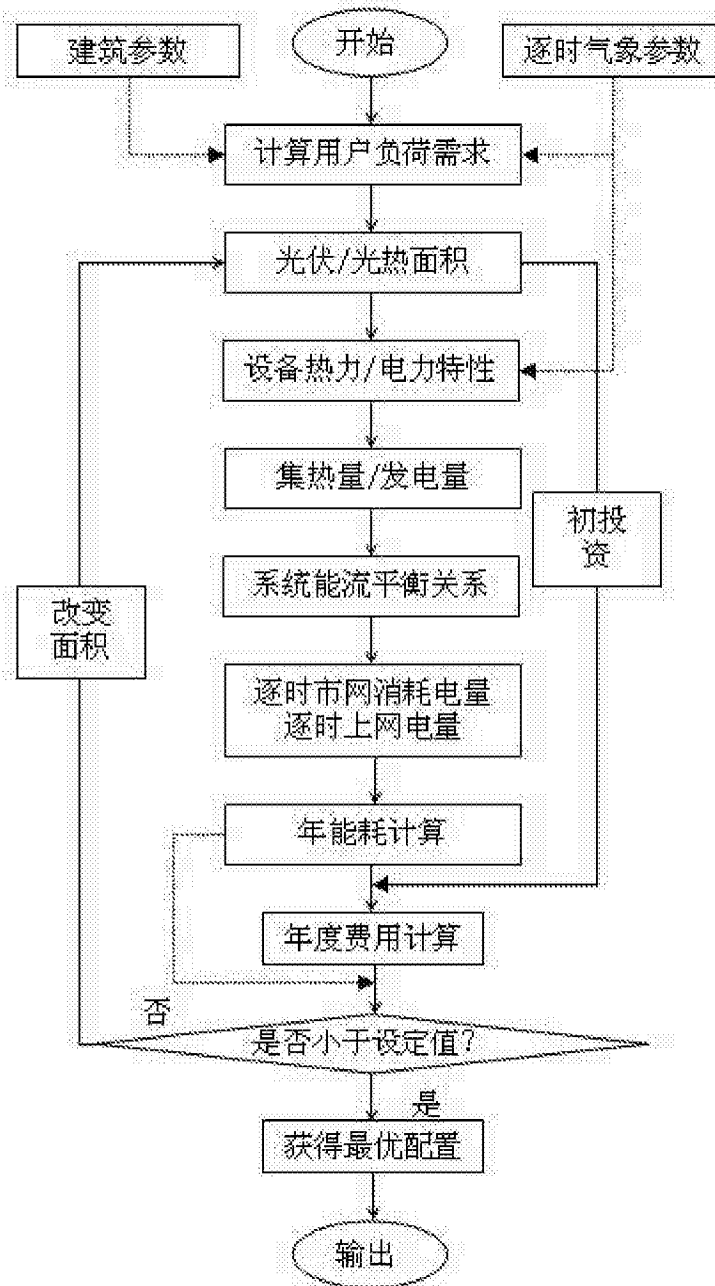


图 2