

文章编号: 1671-6612 (2020) 06-686-04

乡村排屋太阳能热泵冷热暖联供系统设计

贾少刚¹ 魏翠琴² 问朋朋² 高志宏²

(1.中国船级社质量认证公司青岛分公司 青岛 266071;

2.湖州职业技术学院 湖州 313000)

【摘要】 开发利用新能源和高效节能技术是解决建筑物高能耗的重要途径,以安吉县乡村排屋为研究对象,进行了热负荷计算并优化设计了双水箱并联式太阳能热泵冷热暖联供系统,该系统可满足建筑物的冬季供暖、夏季制冷和生活热水需求,并对其运行工况进行了分析,对系统中的关键部件进行了选型,可为同类设备的设计与应用提供参考。

【关键词】 新能源; 热负荷; 太阳能; 热泵; 运行工况

中图分类号 TK512 文献标识码 A

Design of Solar-assisted Heat Pump with Supplying Combined Cooling Heating and Hot Water for Village Row House

Jia Shaogang¹ Wei Cuiqin² Wen Pengpeng² Gao Zhihong²

(1.China Classification Society Certification Company Qingdao branch, Qigndao, 266071;

2.Huzhou Vocational & Technical College, Huzhou, 313000)

【Abstract】 The utilization of new energy and excellent energy saving technology is the significant way to solve the problem of the high energy consumption on buildings. In this paper, the heat load of building is calculated with the village row house in Anji County as the research object, solar-assisted heat pump (SAHP) with double water tanks is designed optimally for supplying combined cooling heating and hot water. The SAHP can meet the needs of heating in winter, cooling in summer and domestic hot water, and its operation conditions are analyzed, the key components of SAHP are selected, which can provide reference for the design and application of SAHP.

【Keywords】 new energy; heat load; solar energy; heat pump; operation conditions

作者(通讯作者)简介: 贾少刚(1984-),男,硕士,工程师, E-mail: jsg.lq@163.com

收稿日期: 2020-04-16

0 引言

能源与环境是当今突出的两大问题,目前我国建筑能耗(采暖、制冷及热水等)约占全社会总能耗的30%^[1],随着发展这一比例会继续上升。建筑能耗直接或间接地消耗了大量一次能源,因此开发利用新能源和节能技术来降低建筑能耗越来越受到重视,作为清洁能源的太阳能和高效节能的热泵技术得到了极大的关注和应用^[2,3],目前国内学者

对太阳能热泵技术展开了积极的研究^[4-9]。

浙江湖州地区冬季气温最低可达-5℃左右,安吉县因地处山区冬季气温更低,因此乡村住宅冬季供暖是亟需解决的问题。鉴于严峻的环保形式和政策要求,利用太阳能热泵技术用于冬季供暖是合理可行的选择,因此以安吉县某乡村排屋作为研究对象来设计太阳能热泵冷热暖联供系统。

1 房屋冬季热负荷需求计算

1.1 房屋冬季围护结构热负荷计算

该乡村排屋的 1 层为杂物收储室, 2~4 层为居住区域, 其四周墙体是由标准红砖垒砌的 24 墙, 墙体厚度为 240mm, 楼层的长为 10.54m, 楼层的宽为 7.6m, 二层至四层高 9.3m, 房顶为钢筋混凝土板与青瓦, 厚度 200mm, 2~4 层的建筑面积共计 210m²。

采用《GB 50736-2012 民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》中的节能型住宅采暖热负荷 45W/m² 进行房屋围护结构热负荷的计算, 该房屋冬季围护结构的热负荷为 9450W。因房间并不是全部使用, 以此将房屋面积按照 210m²、130m²、65m² 这 3 种典型的使用情况进行房屋围护结构日均耗热量的计算, 如表 1 所示。

由表 1 可知, 若供暖面积为 210m², 围护结构的每天耗热量 Q_{D1} 为 817MJ; 若供暖面积为 130m², 每天耗热量 Q_{D2} 为 506MJ; 若供暖面积为 65m², 每天耗热量 Q_{D3} 为 253MJ。

表 1 房屋冬季围护结构日均耗热量

月份	热负荷 Q_F/W	210m ² 供暖	130m ² 供暖	65m ² 供暖
		日耗热量 Q_{D1}/MJ	日耗热量 Q_{D2}/MJ	日耗热量 Q_{D3}/MJ
12~2	9450	817	506	253

1.2 生活新水加热所需热量计算

参考文献[10,11]表明, 每天的生活用水需要量约为 300L, 则在一定初始水温情况下将新水加热至 55℃ 所需要的热量 Q_{nw} 由式 (1) 计算, 新水初温取冬季期间环境温度的平均值 5℃ 即可, 则每天加热新水所需的热量为 62.5MJ。

$$Q_{nw} = \rho_0 \times C_{p0} \times V_0 \times (T_e - T_b) \quad (1)$$

式 (1) 中, ρ_0 为水的密度, 998.2kg/m³; C_{p0} 为水的定压比热容, 4.18×10³J/(kg·℃); V_0 为新水的体积, m³; T_e 为新水终温, 55℃; T_b 为新水初温, 5℃。

2 太阳能热泵系统设计与运行工况分析

2.1 系统结构设计

并联式太阳能热泵系统的组成简洁且运行方

式灵活, 太阳能与热泵可相互独立工作, 互为补充, 两者既可分别单独运行, 也可一起联合运行, 其对原有太阳能和热泵装置无需做很大改动即可组合使用, 系统稳定性高, 适合应用于向小型住宅供暖供水。因此结合乡村排屋的供暖、生活热水和制冷的需求, 设计了双水箱并联式太阳能热泵冷采暖联供系统, 其结构如下图 1 所示。

此系统中的太阳能采用闭式循环, 集热介质可采用丙二醇等特殊流体, 冬季起到防冻作用, 集热介质由太阳能循环泵驱动循环往复加热水箱 1 或者水箱 2 中的水。热泵为冷暖两用型空气源热泵, 采用喷气增焓型热泵以提高热泵的冬季制热能力。水箱 1 是生活热水供应水箱, 以太阳能加热为主, 辅助以热泵和电加热。水箱 2 是供暖供冷水箱, 由空气源热泵对水箱中的水进行加热或制冷, 再把水箱中的热水或者冷水送往房间地暖盘管或者风机盘管起到供暖或者制冷作用。

2.2 系统运行工况分析

结合建筑物的需求, 该太阳能热泵冷采暖联供系统的运行工况分析如下:

(1) 太阳能运行工况: 太阳能集热器进出口温差 ≥5℃ 启动太阳能循环泵; 太阳能集热器进出口温差 ≤3℃ 停止太阳能循环泵; 太阳能优先加热水箱 1 中的水, 当水箱 1 中的水达到上限值 55℃ 后, 关闭水箱 1 中换热器阀门, 让太阳能加热水箱 2 中的水; 当水箱 1 中水温低于 40℃ 时, 继续由太阳能加热水箱 1 中的水; 夜间或者阴雨天太阳能无法运行时由热泵来加热水箱 1 中的水, 保证其水温正常。

(2) 热泵制热工况: 冬季热泵加热水箱 2 中的水用以供暖, 当水箱 2 中水温达到上限 60℃ 时, 热泵停止运行; 当水箱 2 的水温达到下限 45℃ 时, 热泵开启运行; 任何季节情况下夜间或者阴雨天无太阳能时采用热泵来加热来水箱 1 中的水。

(3) 夏季热泵制冷工况: 夏季热泵对水箱 2 中的水制冷用以向房间供冷, 当水箱 2 水温达到下限 5℃ 时, 热泵停止运行; 当水箱 2 水温上升到上限 15℃ 时, 热泵开启运行。

(4) 房间供暖工况: 根据房间温度或者人为设置是否开启循环泵运行; 冬季房间温度设定为 18℃~22℃, 达到上限时关闭循环泵, 达到下限时开启循环泵; 人为设置时可一直开启循环泵。

(5) 房间制冷工况: 根据房间温度或者人为

设置是否开启循环泵运行; 夏季房间温度设定为 26℃~30℃, 达到上限时开启循环泵, 达到下限时关闭循环泵; 人为设置时可一直开启循环泵。

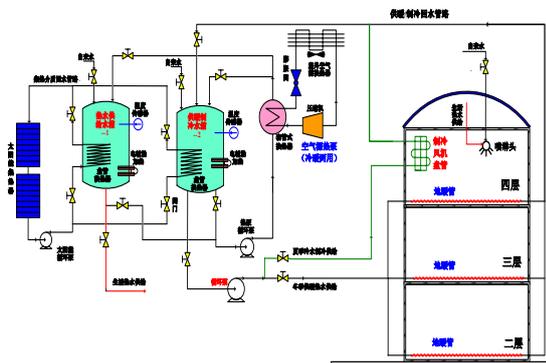


图 1 太阳能热泵系统结构示意图

Fig.1 Structural representation of Solar-assisted Heat Pump device

3 太阳能热泵系统配置选型

根据房屋的冬季热负荷需求, 结合太阳能热泵的结构形式, 对太阳能热泵系统的主要部件进行了配置选型,

表 2 太阳能集热器面积选取计算

Table 2 Area selection of solar collector

供暖面积	供暖日需热量 (MJ)	20%热量	日均辐射总量 (MJ/m ²)	集热效率	所需集热面积 (m ²)
210m ²	817	163	7.3	55%	41
130m ²	505	101	7.3	55%	25
65m ²	253	51	7.3	55%	13

3.2 热泵选型

该房屋冬季供暖的平均热负荷为 9450W, 性能较好的空气源热泵冬季 COP 约为 2.5~3.0 左右, 按照 COP 为 2.75 进行计算, 则热泵压缩机的功率为 3436W, 即选取大约为 5P 的热泵机组可满足供暖需求。

考虑到冬季工况下空气源热泵的能效比较低, 建议选用带有喷气增焓技术的热泵机组。喷气增焓技术可显著提高空气源热泵在冬季寒冷环境下的制热性能, 一般情况下带有喷气增焓的热泵可实现环境温度为-25℃时的较高 COP 的制热运转, 其低温下的制热能力相较没有采用喷气增焓技术的热泵可提高 20%~50%, 大大拓宽了热泵在冬季的应用范围。

3.3 供暖水箱容量选型

供暖水箱的容积决定其蓄热能力大小, 也影响

3.1 太阳能集热器面积选取

一般情况下太阳能供给的热量占冬季供暖总热量的 20%比较适宜, 过高的太阳能热量供给会增加投资成本, 且夏季太阳能会处于无用状态, 装置的经济性会下降, 因此以太阳能供暖热量占比为 20%进行其集热器面积的计算。

湖州地区冬季日均辐射总量为 7.3MJ/m²[12,13], 式 (2) 为提供一定热量所需太阳的计算公式, 计算结果见表 2 所示。考虑到房屋并不总是处于全部使用状态, 故选取典型的供暖面积为 130m²时的工况来选取太阳能集热器的面积, 此时所需的集热器为 25m², 此时太阳能冬季日均可提供 101MJ 的热量, 超过了生活热水所需的热量, 太阳能的面积选取处于较为经济的状态。

$$A_c = Q_u / (I_c \times \eta_c) \quad (2)$$

式 (2) 中, A_c 为集热器面积, m²; Q_u 为温室一天的总耗热量, MJ/d; I_c 为单位面积平均每天总太阳辐射量, MJ/(m²·d); η_c 为真空管式集热器平均集热效率, 55%。

热泵运行时的启停时间间隔, 初步选择水箱容积 V 为 500L, 由式(3)进行计算, 计算时相关条件为: ①按照冬季 1 月份房屋平均热负荷 $Q_F=9450W$ 计算; ②热泵单独运行, 水箱水温达到 60℃后热泵停运, 待水温降至 45℃时再启动。

计算结果为 110min, 即当热泵将供暖水箱中的水加热到 60℃停止运行后再间隔 110min 后需再开启运行, 这是热泵单独运行时的间隔时间, 也是水箱降温 15℃可以持续向 210m² 房屋供暖的时间, 若太阳能同时工作则此时间会更长, 不会造成热泵频繁启动的状况, 500L 的容积选择合理可行。

$$Q_F \times t \times 60 = C_{p,0} \times V \times \rho_0 \times \Delta T \quad (3)$$

式 (3) 中 Q_F 为温室热负荷, 9450W; t 为时间, min; $C_{p,0}$ 为水的定压比热容 V 为水箱容积, 500L; ρ_0 为水的密度; ΔT 为水箱的上下限温差, 15℃。

综上所述,按照房屋热需求和太阳能热泵系统的结构形式对系统的主要设备进行了选型,设备清单见表 3 所示。

表 3 太阳能热泵系统主要设备选型清单

Table 3 Main equipment selection list of Solar-assisted Heat Pump device

部件名称	规格	数量
太阳能集热器	真空管式; 58mm×1800mm	25m ²
热泵机组	额定输入功率 5P, 带喷气增焓技术;	1 台
供暖供冷水箱	500L, 采用除盐水避免结垢, 减少维护	1 个
生活热水水箱	350L, 自来水即可	1 个
供暖制冷循环泵	扬程: 35m; 额定流量: 80L/min	1 台
太阳能循环泵	扬程: 20m; 额定流量: 50-60L/min	1 台
热泵换热器循环泵	扬程: 15m; 额定流量: 50-60L/min	1 台
太阳能集热介质	丙二醇水溶液, 10kg/桶	若干
室内风机盘管	80W	若干
连接管件及阀门	DN25 镀锌管和阀门	若干

4 结语

以安吉县某乡村排屋为研究对象,设计了双水箱并联式太阳能热泵冷采暖联供系统,分析了系统的运行工况,结合房屋热负荷对系统主要部件进行了计算选型,得到的结论如下:

(1) 双水箱并联式太阳能热泵冷采暖联供系统通过利用太阳能和空气能,可以满足房屋的供暖、生活热水和制冷的需求,其环保效益良好,能较好地解决目前农村地区燃煤供暖的废气污染问题。

(2) 对于建筑面积 210m² 的三层排屋,5P 喷气增焓型热泵和 25m² 的太阳能集热器面积可以满足房屋冬季的供暖和生活热水需求。

(3) 双水箱并联式太阳能热泵系统可以实现太阳能单独运行、热泵单独运行、太阳能热泵联合运行三种形式,可针对不同要求灵活切换系统的运行方式,双水箱的结构设计可尽量多的利用太阳能,提高了系统的经济性。

(4) 任何季节天气条件下利用太阳能或者热泵制取生活热水,相比较电热水器或者燃气热水器制取热水均可实现较好的节能效果。

我国太阳能资源丰富,当前太阳热泵的初投资费用较高限制了它的推广应用,随着太阳能热泵技术的进一步发展和成熟,其应用前景十分广阔,这对于缓解能源危机、减少环境污染和碳排放具有重要意义,可以创造良好的节能环保效益。

参考文献:

- [1] 彭金梅,罗会龙,崔国民,等.热泵技术应用现状及发展动向[J].昆明理工大学学报(自然科学版),2012,37(5):54-59.
- [2] 王伟,南晓红.热泵辅助型太阳能热水装置应用低碳性分析[J].制冷与空调,2012,26(4):349-352.
- [3] 刘鹏,关欣,穆志君,等.太阳能热泵技术在国内的研究与发展[J].化工进展,2009,28(增刊):328-333.
- [4] 王伟,王建颖.银川地区热泵辅助太阳能热水系统设计探讨[J].制冷与空调,2015,29(2):169-173.
- [5] 贾少刚,王丽萍,魏翠琴,等.冷采暖三联供太阳能热泵系统冬季工况下的节能减排分析[J].制冷与空调,2018,32(2):196-200.
- [6] 申振宇,宣永梅.太阳能-空气源热泵采暖热水系统能耗分析[J].制冷与空调,2016,30(5):544-548.
- [7] 陈冰,罗小林,等.温室太阳能与空气源热泵联合加温系统的试验[J].中国农业科技导报,2011,13(1):55-59.
- [8] 贾少刚,王丽萍,魏翠琴,等.双热源冷采暖三联供太阳能热泵系统设计与运行模式分析[J].制冷与空调,2018,32(1):27-30.
- [9] 魏翠琴,王丽萍,贾少刚,等.太阳能热泵应用现状与性能分析[J].制冷与空调,2017,31(2):159-163.
- [10] 于国清,张晓莉,孟凡兵.单户住宅太阳能热泵供热技术与经济分析[J].建筑节能,2007,35(1):55-57.
- [11] 张淑英,刘建华,杨政忠.天津市太阳能热水系统设计参数的取值建议[J].中国给水排水,2012,28(24):60-6
- [12] 张喜亮,邱新法,陈世春,等.南太湖湖州地区太阳总辐射的气候学计算及特征分析[C].第六届长三角气象科

技论坛论文集,2009.

划研究[J].科技通报,2014,30(5):78-85.

[13] 黄艳,蔡敏,严红梅.浙江省太阳能资源分布特征及其区